

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta tělesné kultury

VARIABILITA SRDEČNÍ FREKVENCE U FOTBALISTŮ RŮZNÝCH  
VÝKONNOSTNÍCH KATEGORIÍ

Diplomová práce  
(magisterská)

**Autor:** Bc. Zdeněk Kaprál

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

Olomouc 2022

**Jméno a příjmení autora:** Bc. Zdeněk Kaprál

**Název diplomové práce:** Variabilita srdeční frekvence u fotbalistů různých výkonnostních kategorií

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

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

**Rok obhajoby diplomové práce:** 2022

**Abstrakt:**

Cílem práce bylo posouzení aktivity autonomního nervového systému (ANS) mezi fotbalisty 1. a 2. ligy. Experimentální soubor tvořilo celkem 134 fotbalistů, z 1. ligy 94 fotbalistů ve věku 17 až 37 roků, výška  $182 \text{ cm} \pm 8,23$ , hmotnost  $79 \text{ kg} \pm 9,56$ , BMI  $23,85 \pm 1,58 \text{ kg.m}^{-2}$  a ze 2. ligy 49 fotbalistů ve věku 17 až 39 roků, výška  $183 \text{ cm} \pm 7,44$ , hmotnost  $81 \text{ kg} \pm 8,37$ , BMI  $24,19 \pm 1,81 \text{ kg.m}^{-2}$ , kteří podstoupili vstupní antropometrické vyšetření a vyšetření ANS metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SA VSF) během ortostatického manévru (60 sek – 5 min – 5 min).

Hodnotili jsme klidovou srdeční frekvenci (SF) ve stoji a lehu a dále jsme hodnotili pomocí standartních ukazatelů variability srdeční frekvence (VSF), což bylo LF, HF, LF/HF a časového ukazatele RMSSD, jaká je aktivita ANS. Když jsme to porovnali, zjistili jsme že, klidová SF, hodnoty ve stoji  $82 \text{ tep/min} \pm 14$  (1.liga) a  $83 \text{ tep/min} \pm 14$  (2. liga),  $p=0,638$ , ani v lehu  $53 \text{ tep/min} \pm 8$  (1.liga) a  $53 \text{ tep/min} \pm 10$  (2. liga),  $p=0,806$ , se neliší. Ukazatele LF/HF, hodnoty ve stoji  $1,45 \pm 0,9$  (1.liga) a  $1,45 \pm 0,99$  (2. liga),  $p=0,98$ , ani v lehu  $-1,01 \pm 1,22$  (1.liga) a  $-0,87 \pm 1,22$  (2. liga),  $p=0,53$ , se neliší. Ukazatele LnRMSSD, hodnoty ve stoji  $2,97 \text{ ms} \pm 0,69$  (1.liga) a  $2,97 \pm 0,76 \text{ ms}$  (2. liga),  $p=0,99$ , ani v lehu  $4,33 \text{ ms} \pm 0,56$  (1.liga) a  $4,35 \text{ ms} \pm 0,64$  (2. liga),  $p=0,89$ , se neliší. Ukazatele LnHF, hodnoty ve stoji  $4,88 \text{ ms}^2 \pm 1,33$  (1.liga) a  $4,95 \text{ ms}^2 \pm 1,58$  (2. liga),  $p=0,79$ , ani v lehu  $7,23 \text{ ms}^2 \pm 1,10$  (1.liga) a  $7,34 \text{ ms}^2 \pm 1,20$  (2. liga),  $p=0,58$ , se neliší.

Z výsledků vyplývá, že aktivita ANS se mezi dvěma výkonnostními kategoriemi neliší.

**Klíčová slova:**

parasymptikus, symptikus, autonomní nervový systém, srdeční činnost, fotbal

**Author's first name and surname:** Bc. Zdeněk Kaprál

**Title of diploma thesis:** Variability of heart rate in football players of different performance categories

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

**Thesis supervisor:** doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.

**Year of thesis defense:** 2022

**Abstract:**

The aim of the work was to assess the activity of the autonomic nervous system (ANS) between footballers of the 1st and 2nd league. The experimental group consisted of a total of 134 footballers, from the 1st league 94 footballers aged 17 to 37 years, height  $182 \text{ cm} \pm 8.23$ , weight  $79 \text{ kg} \pm 9.56$ , BMI  $23.85 \pm 1.58 \text{ kg.m}^{-2}$  and from the 2nd league 49 footballers aged 17 to 39 years, height  $183 \text{ cm} \pm 7.44$ , weight  $81 \text{ kg} \pm 8.37$ , BMI  $24.19 \pm 1.81 \text{ kg.m}^{-2}$ , who underwent initial anthropometric examination and ANS examination by spectral analysis of heart rate variability (SA HRV) during orthostatic maneuver (60 sec – 5 min – 5 min).

We evaluated resting heart rate (HR) in standing and lying position and further evaluated ANS activity using standard indicators of heart rate variability (VVF), which were LF, HF, LF/HF and RMSSD time indicators. When we compared it, we found that resting SF, standing values  $82 \text{ bpm} \pm 14$  (1st league) and  $83 \text{ beats/min} \pm 14$  (2nd league),  $p=0.638$ , even lying down  $53 \text{ beats/min} \pm 8$  (1st league) and  $53 \text{ beats/min} \pm 10$  (2nd league),  $p=0.806$ , do not differ. The LF/HF indicators, values in standing  $1.45 \pm 0,9$  (1.liga) and  $1.45 \pm 0,99$  (2nd league),  $p=0.98$ , nor in lying down  $-1.01 \pm 1,22$  (1st league) and  $-0.87 \pm 1,22$  (2nd league),  $p=0.53$ , do not differ. LnRMSSD indicators, values in standing  $2.97 \text{ ms} \pm 0,69$  (1.liga) and  $2.97 \text{ ms} \pm 0,76$  (2nd league),  $p=0.99$ , even lying  $4.33 \text{ ms} \pm 0,56$  (1.liga) and  $4.35 \text{ ms} \pm 0,64$  (2nd league),  $p=0.89$ , do not differ. LnHF indicators, values in standing  $4.88 \text{ ms}^2 \pm 1,33$  (1st league) and  $4.95 \text{ ms}^2 \pm 1,58$  (2nd league),  $p=0.79$ , nor in lying down  $7.23 \text{ ms}^2 \pm 1,10$  (1st league) and  $7.34 \text{ ms}^2 \pm 1,20$  (2nd league),  $p=0.58$ , do not differ.

The results show that ANS activity does not differ between the two performance categories.

**Keywords:**

parasympathetic, sympathetic, autonomic nervous system, cardiac activity, football

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

V Olomouci dne

.....

Děkuji doc. PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za konzultace, pomoc a cenné rady, které mi poskytl při zpracování závěrečné písemné práce, dále také za nekonečnou trpělivost, ochotu a důvěru.

## Obsah

Seznam vybraných zkratk	8
1 Úvod	9
2 Syntéza poznatků	10
2.1 Fotbal	10
Rozdělení profesionálních soutěží v České republice	11
2.2 Fyziologie fotbalu	13
2.2.1 Nároky na pohybový výkon v průběhu utkání	13
2.2.2 Charakteristika intermitentního zatížení	17
2.2.3 Aerobní procesy ve fotbale	17
2.2.4 Anaerobní procesy ve fotbale	19
2.2.5 Únava ve fotbale	20
2.3 Autonomní nervový systém	22
2.3.1 Periferní části autonomního nervového systému	26
2.3.2 Centrální části autonomního nervového systému	26
2.3.3 Anatomické dělení autonomního nervového systému	27
2.4 Srdeční činnost	28
2.4.1 Řízení srdeční činnosti	29
2.4.2 Reakce srdeční frekvence na zátěž	30
2.5 Variabilita srdeční frekvence	31
2.5.1 Spektrální analýza variability srdeční frekvence	34
2.5.2 Hlavní komponenty SA VSF	35
2.5.3 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence	39
3 Cíle a hypotézy	53
4 Metodika	54

4.1 Charakteristika souboru .....	54
4.2 Metodika sběru dat .....	54
4.2.1 Časové a prostorové vymezení .....	54
4.2.2 Průběh vyšetření.....	54
4.2.3 Vyšetření aktivity ANS .....	54
4.2.4 Diagnostický systém VariaCardio TF4.....	55
4.2.5 Statistické zpracování dat.....	55
5 Výsledky.....	57
Vyjádření k hypotézám.....	59
6 Diskuze.....	61
7 Závěr.....	66
8 Souhrn .....	67
8 Summary .....	68
Referenční seznam.....	69
Přílohy .....	83

## Seznam vybraných zkratek

ANS	autonomní nervový systém
ATP	adenozintrifosfát
CP	kreatinfosfát
CS	komplexní věkově standardizovaný ukazatel celkového skóre
EKG	elektrokardiogram
HF	vysoká frekvence
HRR	zotavení srdeční frekvence
LF	nízká frekvence
M	aritmetický průměr
O <sub>2</sub>	kyslík
p	statistická významnost
R–R	průměrná hodnota všech R–R intervalů v měřeném časovém úseku
rMSSD	rozdíl čtverců průměrných hodnot délek po sobě následujících RR intervalů
RSA	respirační sinusová arytmie
SA	spektrální analýza
SD	směrodatná odchylka
SF	srdeční frekvence
SVB	komplexní věkově standardizovaný ukazatel sympatovagové balance
TP	spektrální výkon
VA	komplexní věkově standardizovaný ukazatel vagové aktivity
VLF	velmi nízká frekvence
VLF/HF, LF/HF, VLF/LF	poměry spektrálních výkonů jednotlivých komponent
VO <sub>2</sub> max	maximální spotřeba kyslíku
VSF	variabilita srdeční frekvence



## 1 Úvod

Fotbalový míč byl od malička mým nejlepším kamarádem, s ním jsem vstával, trávil celé dny a s ním také chodil spát. Není moc fotografií z mého dětství, kde bych svého kulatého kamaráda neměl u sebe. Proto fotbal pro mě byl jasná volba sportu a kroužku, který jsem začal navštěvovat, fotbalu jsem věnoval nejvíc svého času a pozornosti. Ve fotbale jsem toho zažil opravdu hodně, poznal mnoho přátel i soupeřů, zažil mnoho výher i proher, týmy, ve kterých jsem hrál byly úspěšné, neboť jsem zažil i mnoho postupů do vyšších soutěží. Fotbalu se stále věnuji aktivně jako hráč i když už ne tolik jako dříve, ale v současné době působím i jako asistent trenéra u mužstva dospělých. V minulosti jsem několik roků vedl fotbalové žáky, kdy v budoucnu bych chtěl být trenérem mužstva dospělých, kdy v současné době jsem držitelem trenérské licence B s tím, že studuji trenérskou licenci A, kterou bych měl získat a tím si rozšířit další trenérské možnosti.

Vzhledem k mé trenérské budoucnosti je mi příprava fotbalistů velmi blízká a s tím jsou i spojené fyziologické nároky na fotbalisty, kdy téma, VSF fotbalistů různých výkonnostních kategorií, je pro mě z tohoto důvodu velmi zajímavé, kdy tato studie obohatí nejen mě, ale sand i některé trenéry, fotbalisty a čtenáře zajímající se o toto téma.

VSF je ovlivňována aktivitou ANS, proto nás napadlo porovnat aktivitu ANS u fotbalistů různých výkonnostních kategorií, zda je rozdíl mezi hráči 1. a 2. ligy v aktivitě ANS nebo se neliší. Zda výkon či výkonnostní rozdíl spočívá v kondici nebo to není v kondici, ale je to spíše otázka dovedností a technicko-taktických věcí?

Hráči podstoupili měření, které se skládalo z vyšetření ANS metodou SA VSF, které mělo posoudit vztah VSF a úroveň výkonnostní kategorie fotbalistů.

Metoda SA VSF byla vyvinuta v rámci individualizace tréninkového zatížení a je dosud velkou měrou používána u sportovců provozujících individuální sporty. Díky velmi dobrým diagnostickým výsledkům se tato metoda rozšířila i do sfér sportů týmových, což dokazuje i tato práce, která se zabývá použitím metody SA VSF u profesionálních hráčů fotbalu.

SA VSF je jedním z nejslibnějších metodických postupů, umožňující poměrně přesně kvantifikovat aktivitu ANS. Při využívání této metody, je naprosto nezbytné, abychom dokonale porozuměli interakcím mezi kardiorespiračním systémem, aktivitou ANS a pohybovou aktivitou (Salinger & Stejskal, 1996).

## 2 Syntéza poznatků

### 2.1 Fotbal

Fotbal je ve světě jednou z nejpobulárnějších sportovních a týmových her. Na profesionální úrovni má také ekonomický a politický faktor. Zároveň je považován za ideální zábavnou a odpočinkovou aktivitu v rámci volnočasových, rekreačních a rekondičních aktivit.

Fotbal, jak ho známe dnes pochází z Anglie. Okolnostmi jeho vzniku se zabývá Bedřich (2006). U studentů různých škol Anglie docházelo často k rozporům, které byly řešeny násilně a k jejich vyřešení musela být povolávána místní garda. Tuto situaci měl vyřešit sport, který by dával studentům možnost soupeření mezi sebou bez použití násilí. Různé školy však měly různé představy o fotbalu. Proto se historie moderního fotbalu váže s historií rugby. V roce 1862 vznikají první pravidla fotbalu: „Thring’s Rules“, jež ještě povolují kromě hry nohou i hru rukou. Pro moderní fotbal byl zlomový rok 1863, ve kterém vznikla v Londýně první fotbalová asociace na světě. Pravidla této asociace již zakazovala hru rukou a vzájemné srážení, z toho důvodu byla roku 1871 založena unie rugby a došlo k oddělení těchto dvou sportů. Aby došlo k větší oblíbenosti, musel do fotbalu vejít prvek soutěživosti a v roce 1871 byl založen nejstarší fotbalový turnaj světa FA Cup. O rok později bylo sehráno první mezinárodní utkání mezi Anglií a Skotskem. V roce 1882 byla ustanovena mezinárodní komise pro úpravu pravidel (IFAB), která funguje dodnes. V roce 1888 vznikla první organizovaná fotbalová soutěž – anglická Football League.

Fotbal je týmový sport, ve kterém rozhoduje spolupráce celého týmu. Hráči mají v utkání různé druhy povinností a úkolů, které jsou navzájem propojeny. Každý z týmu má svoji jednotlivou roli. Hráči mají vzhledem ke svým úkolům jiné druhy zatížení překonané vzdálenosti, soubojů či kontaktů s míčem. Záložníci naběhají průměrně za zápas 11 až 13 kilometrů, obránci a útočníci 7 až 10 kilometrů (Gil et al., 2007).

Fotbal spojuje lidi s různými zájmy ve chvílích velkých šampionátů a fotbalových mistrovství dohromady, kdy v tomto spočívá jeho krása. Tímto jde o společenský fenomén dnešní doby, s velkým zájmem široké veřejnosti a má velký dopad na společnost (Halada & Horák, 1992).

Fotbal je týmovým sportem, kde záleží na spolupráci a výkonu všech členů týmu. Na rozdíl od individuálních sportů, jakými jsou tenis, tanec nebo plavání, kde si jednotlivec určuje sám svůj výsledný výkon (Kirkendall, 2013).

Fotbal patří mezi sporty s obrovským množstvím škál intenzit a druhů pohybu. Dochází zde k různým situacím střídání uvolněných momentů cvičení a opačných momentů s vysokou intenzitou provedení cvičení. Činnosti s vysokou intenzitou, jako jsou běh, sprintování, náběhy do prostoru a presování hráčů. Do opačných pohybů s nízkou intenzitou řadíme chůzi či posun do postavení v přerušené hře. Veškeré další pohyby s maximální a nízkou intenzitou se provádí v různých délkách v závislosti na spoustě faktorů (Orendurff et al., 2010).

Zmínky o různých míčových hrách podobné fotbalu můžeme nalézt již v dávné době. Úplně prvním historickým prapůvodcem „fotbalu“ je čínská míčová hra „ts 'uh-küh“ z 3. tisíciletí př.n.l. Míčové hry, které měly některé znaky podobné fotbalu, se po staletí rozvíjely po celém světě. Mezi takové hry můžeme zařadit řecký episkyros, římský harpastum, normandský soule nebo japonské kemari. Původní „fotbal“ se v evropských zemích hrál v ulicích a byl dost hrubý a násilný, při hře byly často rozbíjeny okolní domy či obchody, proto se ho někdejší panovníci snažili zakázat. Vymýtit fotbalové hry se jim ovšem nepodařilo, a tak se tato hra především v Evropě dál vyvíjela (Rohr & Simon, 2006).

V průběhu fotbalového utkání je herní zatížení dáno zejména intenzitou, náročností činností a objemem (Votík, 2005).

Fotbal je jednou z nejpopulárnějších a nejrozšířenějších her na světě, se kterou se lidé setkávají denně. Tato sportovní týmová hra přiláká týden, co týden vysoké množství fanoušků na tribuny a také k televizním obrazovkám. Vývoj fotbalu vytváří trend, který na hráče klade neustále vyšší nároky. Všechno je směřováno k vyšší intenzitě a dokonalosti v abnormální rychlosti provedení (Weisser, 2013).

Mezi základy fotbalu řadíme koordinaci a technickou kvalitu provedení v maximální rychlosti s míčem. Dále také schopnost okamžitého a rychlého rozhodování s vytříbeným fotbalovým myšlením (Weisser, 2013).

## **Rozdělení profesionálních soutěží v České republice**

První oficiální zmínky o vzniku fotbalového svazu v Evropě se datují do roku 1863 v Anglii, kdy byla založena The football Association. Anglický svaz byl první na Světě Proto na rozdíl od ostatních svazů nenesl v názvu označení státu. Následovaly je svazy v Dánsku,

Holandsku a Německu (Dohnal, 2011). Následně v roce 1904 byla založena hlavní Světová federace s názvem FIFA, která dnes řídí všechny fotbalové svazy na světě, včetně i Českomoravského fotbalového svazu (Navara, 1986). Pro nás, jako Evropu je nejdůležitější svaz UEFA – Union of European Football Associations, který je zásadní pro naše profesionální soutěže (Mráček, 2010). Od roku 2016, LFA – ligová fotbalová asociace dohlíží na fungování ligy a podporuje všechny profesionální soutěže v České republice (lfafotbal.cz, 2019).

Fortuna liga je fotbalová soutěž pořádaná na území České republiky. Jedná se o nejvyšší soutěž v hierarchii fotbalových soutěží v Česku. Tato soutěž je datována od léta roku 1993, kdy se Fotbalová liga Československa rozpadla na samostatnou českou a slovenskou ligu. Od sezóny 1997/98 do sezóny 2013/14 nesla dlouhá léta název Gambrinus liga dle hlavního sponzora soutěže. V průběhu sezóny 2014/15 koupila právo generálního partnera společnost SYNOT. Sezónu 2015/16 tedy zahájila pod názvem ePojisteni.cz liga. V následující sezóně 2016/17 získala liga název po společnosti HET. V současném roce 2022 nese liga název FORTUNA: LIGA (lfafotbal.cz.cz, 2019).

Fortuna Národní liga Soutěž dříve nazývána jako 2. liga je od sezóny 1993/94 druhou nejvyšší soutěží v České republice. Liga je druhou, a také poslední soutěží, která je označována za profesionální. Během zimní přestávky 2012/13 byla soutěž přejmenována po novém generálním partnerovi a až do současné doby nese název FORTUNA: NÁRODNÍ LIGA. Mistr ligy postupuje do nejvyšší soutěže a celky na druhém a třetím místě mohou o postup bojovat v baráži proti týmům z FORTUNA: LIGY na konečné 15. resp. 14. příčce. Kluby na posledních dvou příčkách následně profesionální soutěže opouštějí a sestupují do České fotbalové ligy nebo Moravskoslezské fotbalové ligy (lfafotbal.cz, 2019).

## 2.2 Fyziologie fotbalu

### 2.2.1 Nároky na pohybový výkon v průběhu utkání

Pohybová struktura hráče se skládá z chůze, běhů, obrátů, skoků a pádů (Bangsbo et al., 1991; Bangsbo, 1994; McInnes et al., 1995; Krustup et al., 2006; Mohr et al., 2003), opakující se v utkání každých 3–5 s (Bangsbo et al., 1991; Bangsbo et al., 1994).

Hráči nejvyšší úrovně jsou během utkání schopni provést o 58 % více sprintů častěji a opakovaně vykonávat běhy ve vysokých rychlostech o 28 % častěji, než hráči nižších úrovní (Bangsbo et al., 1991; Reilly & Thomas, 1976; Reilly, 1990).

Fotbal je sportovní hra, kterou charakterizuje intermitentní zatížení (Bangsbo, 1995; Krustup et al., 2005; Krustup et al., 2006; Mohr et al., 2003; Rampinini et al., 2009).

Absolvovaná vzdálenost má vliv na obnovu energetických zásob po činnostech při vysoké intenzitě. Bangsbo et al. (2006) zjistil, že hráč během utkání, po sprintu delším, více než 30 m, potřebuje delší dobu na zotavení než po sprintu průměrně absolvované vzdálenost.

Na anaerobní i aerobní připravenost jsou na hráče v průběhu fotbalového kladeny vysoké nároky. Hráči opakují provádění krátkých činností při vysoké intenzitě s nepravidelným zotavením v krátké časové době (Bangsbo et al., 2006; Mohr et al., 2003; Rampinini et al., 2009).

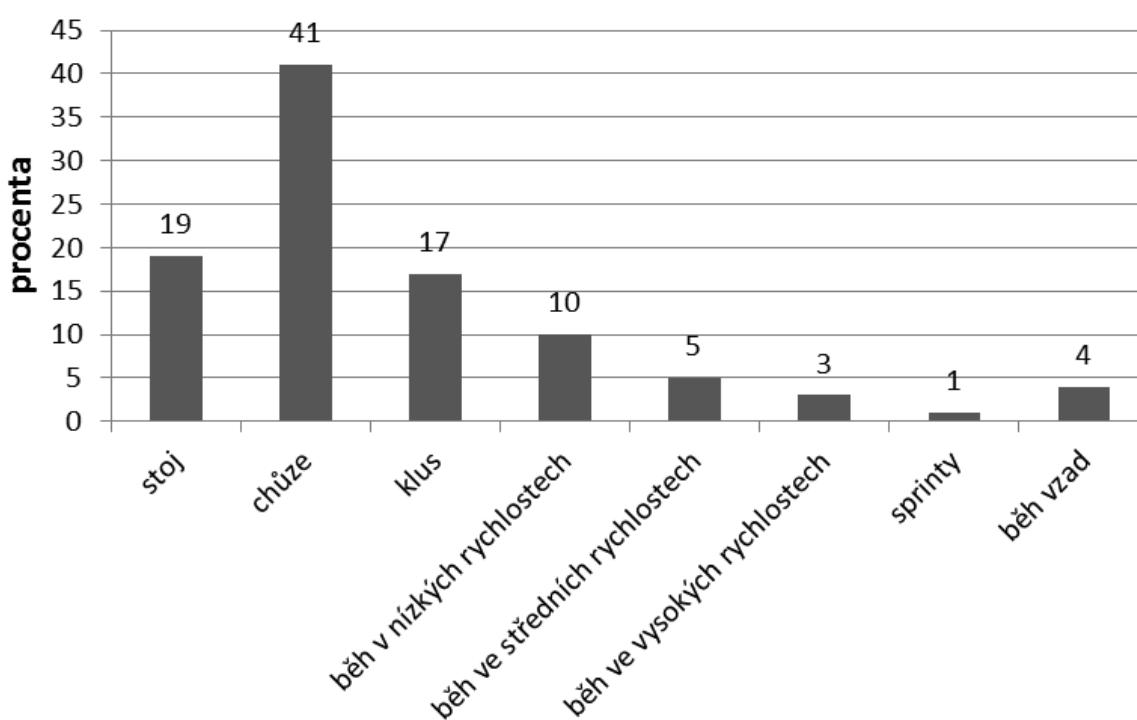
Během fotbalového utkání vykonají hráči více než tisíc acyklických změn směrů nebo běžeckých rychlostí (Mohr et al., 2003).

Pohybová struktura hráče během utkání se skládá z asi 30–40 sprintů (Mohr et al., 2003), 30–40 výskoků a pádů. (Mohr et al., 2003) a více než 700 obrátů (Bloomfield et al., 2007).

Výraznou roli v pohybovém výkonu a energetickém krytí, hraje to, zda se hráč nachází v obranné či útočné fázi. Mohr et al. (2003) a Rampinini et al. (2007) popisují každý herní post různými taktickými požadavky v souvislosti s míčem a specifickým pohybovým profilem. Proto jsou na různé herní posty vyžadovány rozdílné nároky, kondiční, ale i fyziologické a ve spojitosti s různými energetickými nároky (Reilly, 1997; Di Salvo et al., 1998).

Analýzou pohybové struktury hráče první italské ligy bylo zjištěno, že až 75 % běhů při vysoké intenzitě (> 19 km/hod) je provedeno ve vzdálenosti do 9 m (Vigne et al., 2010).

Mezi hráči různých výkonnostních úrovní je hlavní rozdíl ve schopnosti vykonávání činností při vysokých intenzitách. Autoři (Bradley et al., 2009; Di Salvo et al., 2007; Di Salvo et al., 2009; Rampinini et al., 2007; Rampinini et al., 2009), kteří během utkání analyzovali model pohybové struktury hráče, rozdělují vykonávaný pohyb dle těchto rychlostí: stoj = 0 km/hod, chůze = 6 km/hod, klus = 8 km/hod, běh v nízké rychlosti = 12 km/hod, běh ve vysoké rychlosti = 15 km/hod a sprint = 20 km/hod. Mohr et al. (2003) analyzoval také běh ve středních rychlostech (graf 1).



**Graf 1.** Model pohybové struktury v dánské lize (Mohr et al., 2003)

**Legenda:**

Stoj - 0 km/h, chůze: 6 km/h, klus - 8 km/h, běh v nízkých rychlostech - 12 km/h,

běh ve středních rychlostech - 15 km/h, běh ve vysokých rychlostech - 18 km/h, sprinty - 30 km/h

Bradley et al. (2011) a Carling (2011), sledovali běh při vysoké intenzitě = 14,4–19,7 km/hod a běh při velmi vysoké intenzitě  $\geq 19,8$  km/hod, při pohybu hráče v určitém typu rozestavení. U jednotlivých hráčů se liší nároky na pohybový výkon podle herních postů. V utkání má každý hráč svoji specifickou funkci a roli, která je předpokladem pro úspěšné

zvládnutí úkolů během hry. Například střední obránci v utkání překonají nejkratší vzdálenost a vykonají nejmenší počet běhů ve vysokých intenzitách. (Bradley et al., 2009; Mohr et al., 2003; Rampinini et al., 2007), opačné je to u krajních obránců a útočníků, kteří vykonají podstatně delší sprinty než střední obránci a také záložníci (Mohr et al., 2003).

Tabulka 1 porovnává studií (Bangsbo et al., 1991; Castagna et al., 2001; Mohr et al., 2003; Withers et al., 1982), které zkoumaly překonanou vzdálenost, strukturu pohybu a hráčský post během utkání. Tabulka 2 uvádí dle autorů Bradley et al. (2011) a Carling (2011) celkově překonanou vzdálenost a také překonané vzdálenosti v daných intenzitách při utkání dle postů v herním rozestavení (4-4-2; 4-3-3; 4-5-1).

Studie	Úroveň/země	Hráčský post	N	Překonaná vzdálenost (m) podle typu pohybu				
				Chůze	Klus	Běh ve vysokých rychlostech	Sprint	Vzad
Bangsbo et al. (1991)	Div 1,2 (DEN)		14	3600 <sup>a</sup>	5200	2100	300	
Castagna et al. (2003)	Mládež (ITA)		11	1144	3200	986	468	114
Mohr et al. (2003)	Div 1 (DEN)		24			1900	410	
	Top team (ITA)		18			2430	650	
	Kombinace obou týmů	KO	9			2460	640	
		SO	11			1690	440	
		Z	13			2230	440	
		Ú	9			2280	690	
Rienzi et al. (2000)	Mezinárodní (JA)		17	3251 <sup>a</sup>	4119 <sup>b</sup>	923	345	
	EPL (ENG)		6	3068 <sup>a</sup>	6111 <sup>b</sup>	887	268	
	EPL – cizinci	O	9	3256 <sup>a</sup>	4507 <sup>b</sup>	701	231	
		Z	10	3023 <sup>a</sup>	5511 <sup>b</sup>	1110	316	
		Ú	4	3533 <sup>a</sup>	2746 <sup>b</sup>	900	557	
Withers et al. (1982)	NL (AUS)	KO	5	2839	5391	1737	946	1066
		SO	5	3081	3854	1271	397	1556
		Z	5	2670	6085	1841	646	951
		Ú	5	3506	5224	1177	682	1188

**Tabulka 1.** Pohybová struktura a absolvovaná vzdálenost hráče fotbalu v utkání

**Legenda:**

*N – počet probandů, DEN – Dánsko, ITA – Itálie, JA – Jižní Amerika, EPL – Anglická Premier League, ENG – Anglie, NL – Národní liga, AUS – Austrálie, KO – krajní obránce, SO – střední obránce, Z – záložník, O – obránce, Ú – útočník, a – zahrnuje chůzi zpět, b – zahrnuje běh stranou a běh vzad*

Studie	Systém	Post	Celková vzdálenost	Vysoká rychlost	Velmi vysoká rychlost
Bradley et al. (2011)	4-4-2	O	10452 ± 755	2454 ± 632	862 ± 309
Carling et al. (2011)		KO	10655 ± 497	1542 ± 279	843 ± 128
		SO	10004 ± 469	1288 ± 177	470 ± 108
Bradley et al. (2011)		Z	11505 ± 783	3146 ± 550	1118 ± 262
Carling et al. (2011)		KZ	10543 ± 656	1478 ± 270	844 ± 260
		SZ	11177 ± 549	2001 ± 297	658 ± 151
Bradley et al. (2011)		Ú	9982 ± 769	2250 ± 454	950 ± 236
Bradley et al. (2011)	4-3-3	O	10073 ± 852	2218 ± 625	751 ± 273
Carling et al. (2011)		KO	10824 ± 473	1590 ± 207	911 ± 153
		SO	10161 ± 404	1269 ± 191	477 ± 112
Bradley et al. (2011)		Z	11586 ± 494	3013 ± 538	985 ± 299
Carling et al. (2011)		KZ	10916 ± 546	1633 ± 236	869 ± 201
		SZ	11278 ± 446	2029 ± 319	704 ± 188
Bradley et al. (2011)		Ú	11130 ± 999	2988 ± 614	1155 ± 231
Bradley et al. (2011)	4-5-1	O	10123 ± 875	2207 ± 691	748 ± 293
Carling et al. (2011)		KO	10884 ± 513	1592 ± 266	848 ± 158
		SO	10192 ± 466	1264 ± 185	497 ± 141
Bradley et al. (2011)		Z	11606 ± 722	3207 ± 555	1103 ± 259
Carling et al. (2011)		KZ	10948 ± 650	1591 ± 263	861 ± 174
		SZ	11250 ± 510	1985 ± 308	678 ± 195
Bradley et al. (2011)		Ú	10012 ± 946	2333 ± 458	870 ± 227

**Tabulka 2.** Porovnání hráčských postů podle rozestavení a zatížení ve vysoké intenzitě

**Legenda:**



*O – obránce, Z – záložník, Ú – útočník, KO – krajní obránce, KZ – krajní záložník, SO – střední obránce, SZ – střední záložník, Ú – útočník*

### **2.2.2 Charakteristika intermitentního zatížení**

Respirační sinusová arytmie (RSA) nebo také schopnost opakovaných sprintů mnoho autorů definuje jako opakované vyvíjení maximálního či téměř maximálního úsilí, tedy sprintu, prokládaného krátkými intervaly zotavení, skládající se z pasivního odpočinku nebo aktivity nízké až střední intenzity, po delší časové období (Bishop, Duffield, & Spencer, 2005; Glaister, 2005; Spencer et al., 2005).

Duffield, King, & Skein (2009) RSA charakterizují jako schopnost provádění opakovaných sprintů s krátkou dobou trvání, proložením krátké doby zotavení. Dále uvádějí další typ cvičení s opakovanými sprinty, čímž je přerušovaný sprint. Definují jej jako opakující se sprinty s krátkou dobou trvání, proložené dostatečně dlouhou dobou zotavení, aby bylo možné téměř úplné obnovení výkonu při sprintu.

Hlavní rozdíl spočívá v tom, že během cvičení s přerušovanými sprinty dochází k malému nebo žádnému poklesu výkonu (Bishop & Claudius, 2005), zatímco během RSA dochází k výraznému poklesu výkonu (Bishop, Davis, & Edge, 2004). Takové rozlišení je důležité, protože faktory přispívající k únavě se pravděpodobně u těchto dvou typů cvičení liší (Bishop, Girard, & Mendez-Villanueva, 2011).

### **2.2.3 Aerobní procesy ve fotbale**

SF a maximální spotřeba kyslíku ( $VO_{2max}$ ) jsou významné determinanty při hodnocení aerobního výkonu a aerobní kapacity. V průběhu utkání se průměrná SF pohybuje okolo 85 % maximální hodnoty (Ali et al., 1991; Ekblom, 1986; Krstrup et al., 2005).

Bangsbo et al. (2006) uvádí souhrn významů aerobního tréninku do tří bodů:

1. Zlepšení kapacity kardiovaskulárního systému při přenosu kyslíku ( $O_2$ ), vzhledem k tomu, že při intenzivnější zátěži jsou na aerobní metabolismus zvýšené požadavky. Hráčům, je tak umožněno, pracovat ve vyšší intenzitě.
2. Schopnost pracujících svalů k využití  $O_2$  a oxidaci tuků při déle trvajícím zatížení, kdy tímto dochází k šetření glykogenu.
3. Po činnostech ve vysoké intenzitě rychlejší schopnost zotavení. Opakování pohybových a herních činností ve vysokých intenzitách, je ve fotbale důležité, během celého utkání. Po absolvování pohybových a herních činností ve vysokých intenzitách potřebují hráči urychlit

regenerační procesy (Bangsbo, 1994; Ekblom, 1986; Fitzsimmons et al., 1993), obnovit energetické zdroje z důvodu oddálení únavy a schopnosti kvalitně a opakovaně provést činnost.

Dle Cacka a Grasgrubera (2008) je energie při fotbalovém utkání z větší části hrazena aerobním způsobem, a tak udržuje stabilní výkon po celou dobu utkání. Během náročnějších utkání mohou být vyčerpány glykogenové zásoby hráče, kdy tělo následně využívá převážně tuky a krevní glukózu. Tento způsob produkce nevytváří laktát a vyžaduje vyšší dodávku O<sub>2</sub>. V tomto případě pak obnova zásob trvá asi 48-72 hodin v závislosti na způsobu regenerace.

Způsob získávání energie štěpením glukózy za přítomnosti kyslíku je dominantní po přibližně 60-70 sekund (Cacek & Grasgruber, 2008).

Hodnota VO<sub>2</sub>max se u hráčů v poli pohybuje mezi 50–75 ml/kg/min. U brankářů se hodnota VO<sub>2</sub>max pohybuje kolem 50–55 ml/kg/min a je více ustálená. Vliv na rozdíl v hodnotách VO<sub>2</sub>max může mít trénovanost hráče, úroveň soutěže nebo herní styl (Casajus, 2001; Wisloff et al., 1998).

V případě nedostatečně adaptovaného aerobního metabolismu, dochází u hráče při utkání ke snížení celkové překonané vzdálenosti, provedení více činností v nízkých intenzitách a koncentrace glukózy a krevního laktátu. Pokles těchto fyziologických parametrů nastává zejména ve druhém poločase (Ekblom, 1986; Tumilty, 1993).

Při hodnocení aerobního výkonu je z hlediska kondiční přípravy hráče důležitou determinantou VO<sub>2</sub>max (Helgerud et al., 1990; Hoff et al., 2002).

Na aerobní kapacitu a aerobní výkon jsou kladeny zvýšené požadavky vzhledem k intermitentnímu zatížení (Krustrup et al., 2003).

Podle herních postů na záložníky, kteří z hlediska pohybového projevu jsou podle herních postů nejvyšší nároky VO<sub>2</sub>max kladeny na záložníky, kteří mají nejvyšší akční rádius na hřišti během utkání (Reilly, 1990; Tumilty, 1993; Wisloff et al., 1998).

Záložníci mají za úkol přechod z obranné fáze do útočné fáze a opačně a takto podpořit spoluhráče v útočné i obranné činnosti. V kondiční přípravě hráčů fotbalu je aerobní trénink důležitou součástí. V kardiovaskulárním systému vyvolává aerobní trénink změny na SF, roztažitelnosti tepen či průtoku krve srdcem (Rakobowchuk et al., 2009).

Votík (2005) uvádí, že tento O<sub>2</sub> systém je využíván při intenzitě střední či mírné s délkou trvání nad 90 sekund. Účinnost krytí je 13 – 19x větší, ale je dvakrát pomalejší než

u anaerobního laktátového systému a slouží k doplnění ATP (adenozintrifosfát) na základní úroveň.

Podstatným ukazatelem pro aerobní schopnosti organismu je především VO<sub>2</sub>max (Votík, 2005), což potvrzují i Grasgruber s Cackem (2008). Dle těchto je rychlost regenerace v herních přestávkách podmíněna množstvím energetických zásob a rychlostí jejich resyntézy, prokrvením svalů a nadprůměrnými hodnotami VO<sub>2</sub>max. V laboratorních podmínkách na běžeckém ergometru, byly naměřeny průměrné hodnoty VO<sub>2</sub>max hráčů, které se pohybovaly mezi 56,8 a 67,6 ml/kg/min (Al Hazzaa, 2001; Bangsbo et al., 1991; Casajus, 2001; Strudwick et al., 2002; Wisloff et al., 1998).

## 2.2.4 Anaerobní procesy ve fotbale

Při fotbalovém utkání je průměrná koncentrace laktátu v krvi v rozmezí 2–10 mmol/l, individuální hodnota může být i kolem 12 mmol/l (Bangsbo, 1994; Krstrup et al., 2006).

Během utkání každý hráč vykonává pohyb v odlišné intenzitě. Za důležité je považovat, že v prvním poločase jsou hodnoty krevního laktátu hráčů vyšší než v poločase druhém (tabulka 3). Tento stav může ovlivňovat nástup únavy ve druhého poločasu, kdy může docházet ke snížení výkonu hráče ve vyšší intenzitě. Vyplavení krevního laktátu závisí na několika faktorech, jde o koncentraci laktátu, aerobní kapacitu organismu a činnosti probíhající v období regenerace (Bangsbo, 1994).

Studie	Úroveň/země	N	Laktát v 1. pol. mmol/l		Laktát ve 2. pol. mmol/l	
			v průběhu	na konci	v průběhu	na konci
Bangsbo et al. (1991)	Divize 1 a 2 / Dánsko	14	4,9 (2,1 - 10,3)		3,7 (1,8 - 5,2)	4,4 (2,1 - 6,9)
Bangsbo (1994)	Liga / Dánsko		4,1 (2,9 - 6,0)	2,6 (2,0 - 3,6)	2,4 (1,6 - 3,9)	2,7 (1,6 - 4,6)
	Liga/ Dánsko		6,6 (4,4 - 9,3)	3,9 (2,8 - 5,4)	4,0 (2,5 - 6,2)	3,9 (2,3 - 6,4)
Capranica et al. (2001)	Mládež/Itálie	6		3,1 - 8,1 v průběhu zápasu		
Eklblom (1986)	Divize 1/ Švédsko			9,5 (6,9 - 14,3)		7,2 (4,6 - 10,8)
	Divize 2 / Švédsko			8,0 (5,1 - 11,5)		6,6 (3,1 - 11,0)
	Divize 3/ Švédsko			5,5 (3,0 - 12,6)		4,2 (3,2 - 8,0)
	Divize 4/ Švédsko			4,0 (1,9 - 6,3)		3,9 (1,0 - 8,5)

*Tabulka 3. Hodnoty krevního laktátu v průběhu utkání*

Dle Buzka et al. (2007) se při této činnosti provádějí pohybové činnosti s trváním maximálně do 60 sekund, a to většinou submaximální intenzitou. Zvýšením úrovně anaerobně laktátového metabolismu je hráč schopen opakovaně vykonávat krátkodobé činnosti submaximální až maximální intenzity po delší dobu.

Pokud při utkání dojde k vyššímu počtu intenzivních činností s dobou odpočinku v krátkém časovém úseku, je v delším časovém úseku nízká hodnota CP (Krustrup et al., 2005).

Hráči elitní úrovně vykonají v průběhu utkání 150 až 250 různých intenzivních činností (Krustrup et al., 2006).

Únava hráče, kvalita soupeře či průběžný stav utkání, jsou faktory, které mohou ovlivňovat vykonání intenzivních činností během utkání. Prováděním intenzivních činností při utkání dochází ke snižování zásob svalového CP, dále ke snížení hodnoty svalového pH a také dochází k postupnému zvýšení koncentrace krevního laktátu (Krustrup et al., 2006).

Během fotbalového utkání je energetickým zdrojem převážně aerobní metabolismus, který překrývá anaerobní metabolismus při provádění činností ve vyšší intenzitě během utkání (Mohr et al., 2003; Wragg et al., 2000).

Nižší hladina koncentrace krevního laktátu se projevuje u hráčů s vyšší hodnotou VO<sub>2</sub>max, vzhledem k efektivnějším zotavovacím procesům po zátěži ve vysoké intenzitě (Tomlin et al., 2001).

Aerobní metabolismus ovlivňuje trénink v pásmu anaerobního zatížení, neboť dochází k rychlejší obnově CP a rychlejšímu odplavení krevního laktátu (Tomlin et al., 2001).

Během intenzivních činností při utkání jsou kladeny nároky na anaerobní metabolismus, kdy se jedná o rychlostní běhy různých vzdáleností a doby trvání, osobními souboji o míč a výskoky. Jedním z rozhodujících faktorů ve výsledku utkání jsou opakované intenzivní činnosti (Wragg et al., 2000).

### **2.2.5 Únava ve fotbale**

Studie (Bangsbo, 1994; Bangsbo et al., 1991; Mohr et al., 2003) uvádí, že na rozdíl od prvního poločasu fotbalového utkání dochází ve druhém poločase ke snížení počtu sprintů a běhů ve vysokých rychlostech a celková absolvovaná vzdálenost je nižší.

Únava je přirozený fyziologický obranný mechanismus, který se projeví poklesem výkonu, který vede k přerušení či ke snížení intenzity prováděné činnosti. Z fyziologického pohledu nejsme schopni plně objasnit příčiny vzniku únavy. Je značně odlišná při různých typech zatížení a závisí na mnoha vnějších a vnitřních faktorech (Bernaciková et al., 2017).

Zvýšení úrovně únavy může ovlivnit mentální výkon i náladu (Collardeau et al., 2001) a psychickou rovnováhu může velmi výrazně ovlivnit výsledek utkání (Meeusen et al., 2006).

Autoři (Ekblom, 1986; Tumilty, 1993) ve fyziologických i funkčních parametrech pozorovali změny. Ve druhém poločase dochází ke snížení činností ve vysokých intenzitách, k poklesu SF, hladiny glukózy v krvi a koncentrace krevního laktátu v porovnání s poločasem prvním. Pro organismus je škodlivé zvyšování únavy, které přichází po činnostech v intenzivním zatížení. Dodržování životosprávy je velmi důležitým aspektem při oddalování únavy. Nedostatek glykogenu v krvi, svalových vláknech a játrech může být příčinou únavy před koncem utkání. Nutriční strategie a tréninkový plán jsou důležité pro zvýšení zásob svalového glykogenu již před utkáním. Tréninková jednotka, předcházející utkání, musí být zohledněna v minimálním snížení svalového glykogenu (Bangsbo et al., 2007).

Únava se začíná kumulovat ke konci utkání, v době, kdy se snižuje počet činností ve vysoké intenzitě (Krustrup et al., 2006; Mohr et al., 2003, Mohr et al., 2004; Mohr et al., 2005).

Při činnostech ve vysoké intenzitě dochází v průběhu zatížení ke kumulaci fyziologické únavy, která je charakteristická pro všechny sportovce, tedy i pro fotbalisty. Následkem tohoto jevu je vyčerpání svalového glykogenu, hypertermii, snížení hladiny glukózy v krvi a ztrátě tělních tekutin (Mohr et al., 2005).

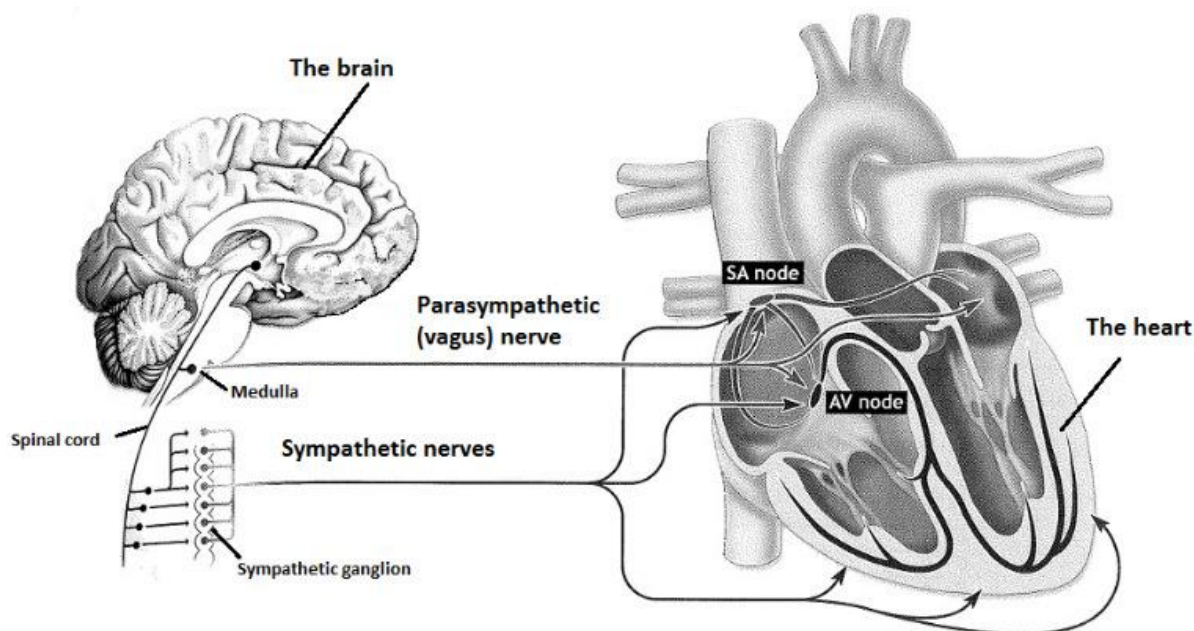
Nejvýznamnější snížení činnosti ve vysoké intenzitě bylo pozorováno během posledních 15 minut utkání (Mohr et al., 2003; Rienzi et al., 1998).

Nastupující únavou dochází, jak ke snižování kondičních předpokladů, tak i k poklesu techniky provedené pohybové činnosti (Rampinini et al., 2007) a zároveň i k únavě psychické (Meeusen et al., 2006).

## 2.3 Autonomní nervový systém

Obdobně jako v somatickém nervovém systému je podstatou organizace ANS reflexní oblouk. Vzruchy vznikající ve viscerálních receptorech se přenášejí aferentními autonomními drahami do centrálního nervového systému, kde jsou integrovány na různých úrovních a pak přenášeny eferentními drahami do viscerálních efektorů. Rozdělení ANS na část sympatickou a parasympatickou souvisí s fyziologickým vývojem a s cílem udržet homeostatickou rovnováhu a bazální funkce organismu v nouzových situacích i při adaptaci na měnící se podmínky (Ganong, 2005).

Základní kameny zdravého života a pohody jsou životní styl, související volby a chování. Rozsáhlá vědecká literatura ukazuje, že vhodná fyzická aktivita (Haskell et al., 2009) a klidný spánek, podporují zotavení z každodenního a dlouhodobého stresu (Porkka-Heiskanen et al., 2013), a přispívají pozitivně k pohodě spolu se zdravou (Poli et al., 2013).



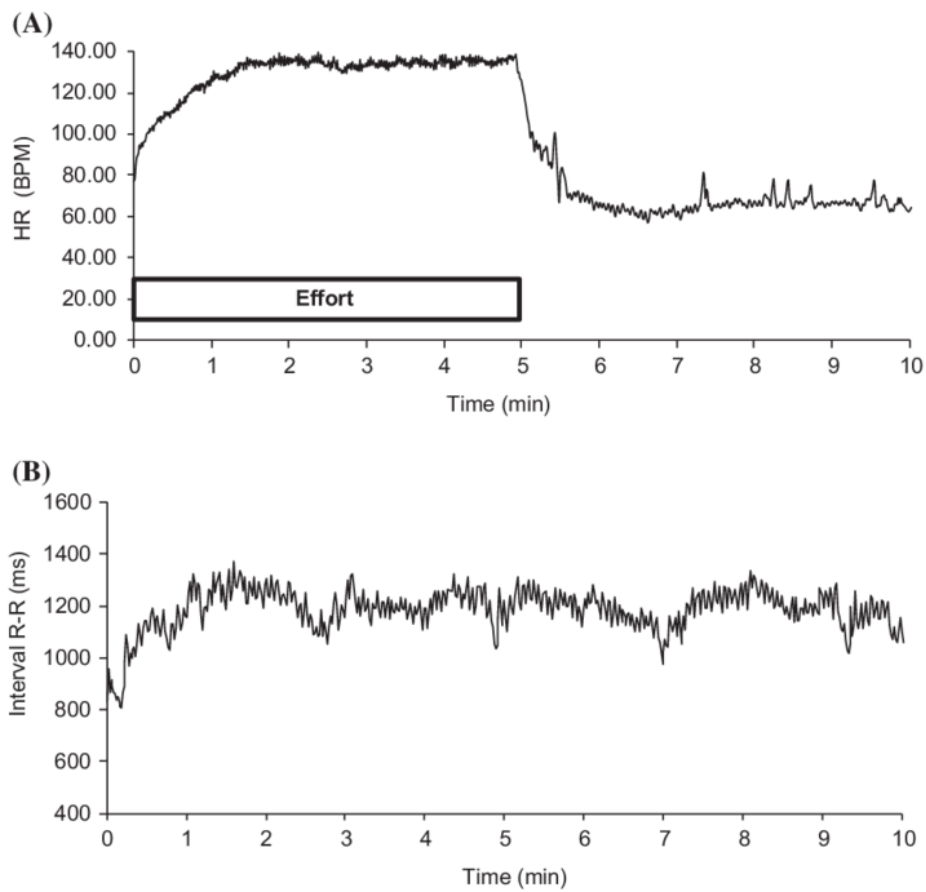
**Obrázek 1.** Autonomní nervový systém řídí různé cílové orgány přes parasympatická a sympatická nervová vlákna, výběžek parasympatiku v podobě X. hlavového nervu – nervu vagu ovládá srdce (McArdle, Katch, & Katch, 2001)

ANS nezávisle pracuje na naší vůli a našem vědomí (Langmeier et al., 2009).

ANS má významný podíl na homeostáze organismu. Svou citlivou reakcí na všechny aktivity somatické i psychické ve spolupráci s imunitním a endokrinním systémem koordinuje a upravuje odpovědi organismu na vnější a vnitřní podněty (Opavský, 2004).

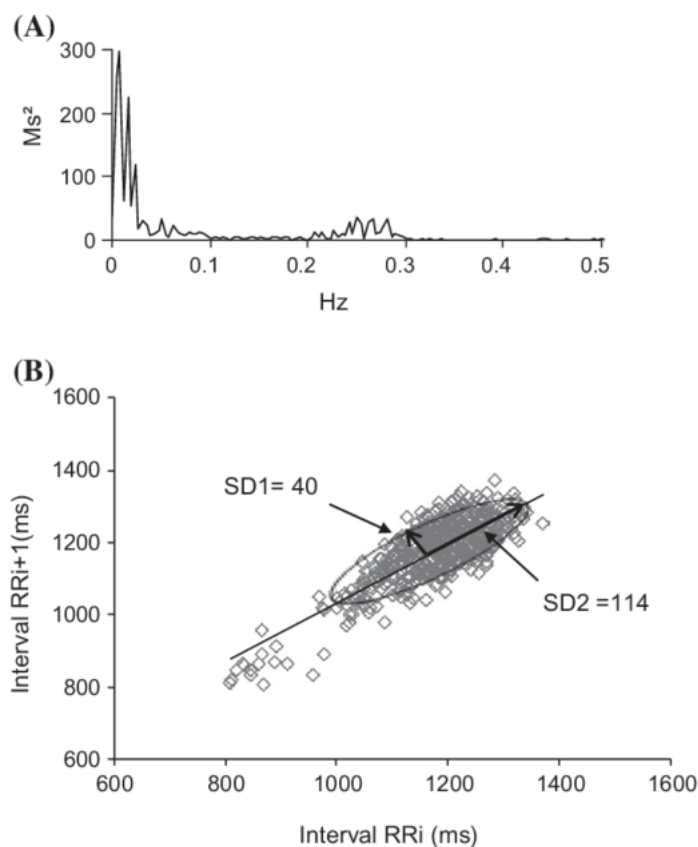
Z funkčního hlediska se eferentní část ANS dělí na části, sympatickou a parasympatickou, které jsou si vzájemně do jisté míry antagonisté. V situacích, kdy dochází ke zvýšení výdeje energie (potřeba bojovat nebo utíkat), je více aktivní část sympatická. Naopak v klidu je více aktivní část parasympatická, kdy reguluje funkce, které souvisí s trávením a ukládáním energie. Vzhledem k tomu, mají tonický vliv na cílové orgány, jsou autonomní nervová vlákna trvale aktivní, i když se organismus nachází v relaxovaném stavu (Rokyta et al., 2008).

ANS reguluje hlavní funkce těla díky svým parasympatickým a sympatickým vlivům (Barman, Ozer, & Wehrwein, 2016). Pravidelné cvičení fyzické aktivity, má dopad na aktivitu ANS (Aubert, Beckers, & Seps, 2003). SF je ovlivněna ANS, s parasympatikem ovlivňuje SF a zvyšuje ji sympatický vliv (Dong, 2016). Dva nástroje umožnily charakterizovat aktivitu ANS pomocí monitorování lidských zdrojů: zotavení srdeční frekvence (HRR) a VSF. HRR je rozdíl mezi SF měřeným těsně na konci úsilí a obnovou. HRR je charakterizovaný parasympatickou reaktivací spojenou s nečinností sympatiku. (obrázek 2, panel A) (Borresen & Lambert, 2008). Délka zotavení se může lišit od několika sekund (např. 20–30 s), až do několika minut (např. 1–5 minut), včetně analýzy hrubého SF, relativní (%) hodnoty a SF kinetika (Boullosa, Del Rosso, & Nakamura, 2016), s aktivním (např. chůze) nebo pasivní zotavení v různých pozicích těla (Barros, Boullosa, del Rosso, Leicht, & Nakamura, 2014). VSF, monitorované od zaznamenávání intervalů beat-to-beat. (obrázek. 2, panel B), charakterizuje parasympatické a sympatické vlivy ANS na sinusovém uzlu.



**Obrázek 2.** Monitoring of the heart rate recovery (panel A) and the heart rate variability (panel B).





**Obrázek 3.** Příklad frekvenční analýzy VSF (panel A) a Poincarého grafové analýzy (panel B).

V roce 2007 bylo použito několik matematických analýz záznamu vědy sportu a cvičení: analýzy v časové oblasti, výkonové spektrální analýzy (obr 3 , panel A) a nelineární míry jako Poincarého grafická analýza (obr. 3, panel B) (Dong, 2016; Bouhaddi, Mourot, Perrey, Regnard, & Rouillon, 2004; Buchheit, Kilding, Laursen, Plews, & Stanley, 2013; Schmitt et al., 2013). Monitorování lze provádět před, během a po úsilí, v noci spí nebo ráno po probuzení, zatímco tělo může ležet na zádech, sedět nebo stát (Abad et al., 2017; Boullosa et al., 2014; Perini et al., 1993). Délka záznamů, se může lišit od několika minut (krátkodobé nahrávání) do několika hodin (dlouhodobé nahrávání) (Abreu, Boullosa, Leicht, & Tuimil, 2012 ; Boullosa et al., 2013 ; Nakamura et al., 2015). Opatření HRR a VSF jsou široce používána ve sportovní a cvičební vědě, protože to může být snadno proveditelné v terénu pomocí jednoduchých, platných a levných monitorů SF (Draper, Giles, & Neil, 2016). Dříve byly HRR a VSF většinou studovány v aerobních sportech, kde prokázali svou schopnost sledovat úroveň přizpůsobení sportovců tréninku zatížení, a tedy předpovídat výkon (Plews et al., 2013; Schmitt et al., 2006; Vesterinen et al., 2015).

Charakteristickou adaptační změnou, při pravidelném vytrvalostním tréninku, je posun vegetativní rovnováhy na stranu parasympatiku (Hamar & Lipková, 2001). Dle Tulppa (2011)

to vypovídá o vyváženosti tréninku ve smyslu zatížení a regenerace. Hamar a Lipková (2001) uvádí jako příklad vyšší odolnost proti únavě a též rychlejší normalizaci SF, což má za následek předpoklad pro vyšší tělesnou výkonnost a případně také lepší psychickou pohodu.

Stres, špatný spánek, fyzická nečinnost, nadváha a obezita mohou způsobovat nepříznivé zdravotní důsledky, zvyšovat riziko vážných chronických onemocnění a vést ke snižování kvality života. Celkově břemeno nezdravého životního stylu je těžké jak pro jednotlivce, tak pro celou společnost (World Health Organization, 2012).

### **2.3.1 Periferní části autonomního nervového systému**

Periferní část ANS dělíme na aferentní (menšina) část a eferentní (převaha) část, dle činností, zda do centrální části ANS od vnitřních orgánů informace přivádí nebo je z centrální části odvádí.

Část aferentní je zastoupena viscerosenzitivními nervovými vlákny z mechanoreceptorů, chemoreceptorů, baroreceptorů a nociceptorů ve stěnách vnitřních orgánů. Jedná se o nemyelinizovaná vlákna typu C ( $v=0,5-2$  m/s). Těla neuronů části aferentní se nachází podobně jako u somatického systému ve spinálních gangliích nebo pro nervy hlavové v příslušných gangliích.

Část eferentní je dvouneuronová a je zastoupena visceromotorickými vlákny, která vedou informace do myokardu, k hladké svalovině vnitřních orgánů včetně cév a bronchů, k různým žlázám včetně potních a ke vzpřimovačům chlupů (Rokyta et al., 2008).

### **2.3.2 Centrální části autonomního nervového systému**

V postranních míšních rozích, v centrální části ANS na nejnižší úrovni, se nachází autonomní jádra pro jednoduché viscerální reflexy, jako jsou např. dilatace zornic, defekace, erekce nebo automatická mikce.

Autonomní jádra, která se nachází na úrovni mozkového kmene, slouží pro řízení jednoduchých viscerálních reflexů, souvisejících s příjmem a zpracováním potravy, také jádra retikulární formace, podílející se na řízení složitějších autonomních reakcí, do kterých patří řízení kardiovaskulárního a respiračního systému.

Hypotalamus je považován za nejvyšší řídicí centrum ANS, kdy na úrovni míchy a kmene je nadřazen autonomním jádrům a ve spolupráci s retikulární formací je odpovědný za koordinaci autonomního a endokrinního systému.

### **2.3.3 Anatomické dělení autonomního nervového systému**

Eferentní část ANS je dělena na část parasymptickou a část sympatickou. Tyto části vykazují do jisté míry antagonistické neboli protichůdné účinky a liší se svým začátkem (uložení prvních neuronů v CNS), (Přidalová & Riegrová, 2009). Ganong, (2005) a Rokyta et al., (2008) zmiňují ještě třetí enterický nervový systém.

#### **Sympatický oddíl (sympatikus, pars sympathica)**

Sympatická vlákna vystupují z thorakálních a lumbálních oddílů míchy (Dylevský, 2009).

Působením sympatiku dochází ke zvýšení SF, vazokonstrikci cév, regulaci tlaku krve, dilataci zornice, zvýšenému pocení či naježení chlupů. Dochází také ke zvyšování hodnoty glykémie a volných mastných kyselin (Ganong, 2005).

Sympatikus čili thorakolumbální místo ANS je systém, kdy jeho pregangliové neurony se nachází v bočních rozích míšních na úrovni segmentů C8 až L3, kdy také bývá uváděna úroveň T1 až L2 (Guyton, 1991; Rokyta et al., 2008). Přidalová a Riegrová (2009) uvádí oblast C8 až L2.

Sympatická část slouží organismu k útěku, útoku nebo obraně a jméno má podle hlavního mediátoru – sympathinu, kdy se jedná o směs adrenalinu a noradrenalinu (Petrovický, 2002).

Sympatikus má souvislost s vypětím emočním. Aktivací sympatiku dochází ke spuštění aktivace dřeně nadledvin (Rokyta et al., 2008).

Sympatikus je z hlediska metabolismu spjatý s procesy katabolickými z důvodu činnosti ve stresových situacích, které spotřebovávají energii (Rosenfeld, 1992).

#### **Parasympatický oddíl (parasympatikus, pars parasympathica)**

Parasympatikus převažuje v období klidu, po jídle či před spaním, tedy v období, které je vhodné pro spřádání energie. Spolu se sympatikem účinně spolupracují vedle sebe, tedy paralelně, odtud pochází jeho název (Petrovický, 2002). Parasympatikus se také označuje jako kraniosakrální systém ANS a to z důvodu, že parasympatická vlákna vystupují z kraniální části (mozkový kmen, CNS) z nervů III., VII., IX. a X. a sakrální části ze sakrálních segmentů spinální míchy (Naňka, 2009). Co se týče metabolismu, je parasympatikus spjat s anabolickým účinkem (Dokládál, 2000).

Mezi funkce parasympatiku patří regulace trávení a ukládání energie, sekrece trávicích šťáv, stimulace slinných a slzných žláz, motilita gastrointestinálního traktu a erekce. Je také prostředníkem defekace a mikce, snižuje aktivitu srdce či odpovídá za miózu při nadměrném osvětlení (Rokyta et al., 2008).

### **Enterický oddíl (pars enterica)**

Enterický systém jen minimálně kontrolovatelný z CNS, kdy kontroluje trávicí a jeho funkce je tedy samostatná a automatická, v tom případě, že dojde k odpojení od systému parasympatického a sympatického. Enterický systém se nachází od jícnu až po anus ve stěnách trávicí trubice (Rokyta et al., 2008). Je tvořen nervovými buňkami visceromotorickými i viscerosenzitivními (Naňka, 2009).

Mezi funkce enterického systému patří, regulace koncentrace kyseliny chlorovodíkové v žaludku, koordinace motility žaludku a střev, transport iontů ve sliznicích, sekrece střevní šťávy a některých hormonů, průtok krve v trávicí trubici a obnova slizničních buněk (Přidalová & Riegrová, 2009).

## **2.4 Srdeční činnost**

Fotbal jakožto týmový aerobní sport s částečnými anaerobními požadavky řadíme mezi izotonicko - izometrický stres, což znamená, že adaptace srdce budou vyvolány, ve větší míře, jak objemovým zatížením, tak v menší míře, tlakovou zátěží (Baggish & Kovacs, 2016).

Srdeční adaptace na fyzický trénink u sportovců je cyklus závislý na typu trénink, délce tréninku a intenzitě. Změny lze pozorovat jak na elektrokardiogramu, tak na zobrazení myokardu. Izotonický stres, jako jsou aerobní sporty (cyklistika, vytrvalostní běh, běžecké lyžování), vede k objemovému zatížení a dilataci komory. Izometrický stres, jako je vzpírání, vede k tlakové zátěži a hypertrofii svaloviny levé komory (Baggish & Wood, 2011).

Srdeční činnost je neustále se opakující cyklický děj. Jeden cyklus srdce je nazýván jako srdeční revoluce (Rokyta et al., 2008). Z pohledu anatomického jsou nejdůležitější dvě komory a dvě síně (vždy levá a pravá), které čerpají krev okysličenou a odkysličenou jako pumpa organismu (Přidalová & Riegrová, 2009). Systola je kontrakce svaloviny, diastola je uvolnění svaloviny. Změny napětí srdeční svaloviny mají za následek tlakové změny v dutinách srdce. Tlakové změny mají význam jako hnací síla krevního proudu (Rokyta et al., 2008). Během systolické fáze stoupá hodnota tlaku na nejvyšší hodnotu, která je označována jako systolický

tlak. Poté dochází k diastole komor, kdy je v srdci stálý objem 60 ml a v komorách klesá tlak téměř až k nulovým hodnotám. Diastola má zřetelně delší časový úsek než systola, kdy toto je významné pro plnění srdce a tvorbu tlakově-objemových hodnot. Zvýšená SF má za následek zkracování diastoly, která má svou kritickou mez. Srdeční revoluce, která trvá 0,83s, odpovídá SF 72 tepů/min (Mourek, 2012).

#### **2.4.1 Řízení srdeční činnosti**

Hlavním požadavkem na srdeční činnost je dosažení odpovídajícího srdečního výdeje. Srdeční výdej je určen tepovou frekvencí, systolickým objemem a řízení srdeční činnosti je zaměřeno na frekvenci srdečních stahů a také na změnu síly srdeční kontrakce (Rokyta et al., 2008). Klidová SF běžné populace odpovídá asi 70 tepů za minutu, jiné parametry srdce se neustále mění a přizpůsobují potřebám organismu (Guyton & Hall, 2000; Javorka et al., 2008; Trojan et al., 2003). Přizpůsobení systolického objemu velikosti žilního návratu umožňují dynamické změny v síle srdeční kontrakce podle Frankova-Starlingova zákona. Tento mechanismus zabezpečuje, že veškerá krev, vracející se do srdce, se opět dostává do tepenného oběhu s nárůstem energie v podobě tlakového zvýšení a udělení rychlosti. Frank-Starlingův mechanismus tedy zabezpečuje součinnost obou komor a přizpůsobení tepového objemu změnám v žilním návratu.

Řízení SF je nervové a humorální. Nervovou regulaci zabezpečuje sympatikus a parasympatikus. Vlivem parasympatiku dochází ke snižování a vlivem sympatiku ke zvyšování tepové frekvence. V klidu je na chronotropních změnách vyšší (75%) podíl parasympatiku, čímž dochází k ovlivnění rychlých výchylek tepové frekvence v rozsahu 20-30 tepů/min. Acetylcholin je mediátorem parasympatiku. Vlivy na srdeční rytmus jsou parasympatikem řízeny hlavně z jader v prodloužené míše, nc. dorsalis nervi vagi a nc. ambiguus. Ve srovnání s parasympatikem má sympatikus protichůdné účinky na činnost srdeční. Noradrenalin je mediátorem sympatiku. Ke zvyšování tepové frekvence dochází drážděním sympatiku (pozitivní chronotropní efekt) a také ke stažlivosti (pozitivní inotropní efekt). Některé reflexy jsou zahrnuty v nervové regulaci srdečního rytmu. Reflex arteriální barorecepční je způsoben napnutím stěny arterií, zejména a. carotis, a aorty, kdy tyto podráždí mechanoreceptory. Při náhlém zvýšení krevního tlaku, barorecepční reflex umožní navrácení optimální hodnoty krevního tlaku. Reflex Bainbridgeův je způsoben při napnutí pravé síně a tímto způsobuje zvýšení tepové frekvence, což je vyvoláno krátkodobým poklesem tonu parasympatického. Reflex Heringův-Breuerův je způsoben při napnutí plic a receptorů v hrudníku. Tímto dochází ke snížení tepové frekvence (bradykardií) při silném nádechu.

Vlivy z ostatních mozkových struktur, zejména z hypotalamu, mozkové kůry a amygdaly jsou převáděny na srdeční rytmus strukturami prodloužené míchy. Respirační centrum rytmicky moduluje Tonus parasymptiku i tonus symptiku je rytmicky modulován respiračním centrem.

Činnost srdeční je řízena také hormonálně. Adrenalin a noradrenalin mají pozitivní efekt chronotropní a také inotropní. SF je také zvyšována glukagonem. Ionty draslíku a vápníku je ovlivňována síla kontrakce i tepová frekvence. V případě vyšší koncentrace iontů draslíku dochází k dilataci srdce, které má nízkou tepovou frekvenci. Spazmy srdečního svalu vznikají při vyšší koncentraci iontů vápníku, kdy dochází k aktivaci kontraktálního aparátu. Při nedostatku iontů vápníku dochází k podobnému stavu jako při nadbytku draslíku.

Pozitivní chronotropní efekt má také zvýšená tělesná teplota. Zvýšení tělesné teploty v krátkém časovém úseku zvyšuje sílu srdečních kontrakcí, ale při dlouhodobém zvýšení tělesné teploty dochází k vyčerpávání energetických zásob srdce a způsobení srdeční slabosti. Když dojde k poklesu tělesné teploty, toto se projeví poklesem tepové frekvence (Rokyta et al., 2008).

#### **2.4.2 Reakce srdeční frekvence na zátěž**

SF je ukazatelem při posouzení zatížení srdečně oběhového systému. SF velmi rychle reaguje na změny v situacích, kdy dochází k zatížení organismu, hlavně svalového aparátu, kdy k nejcitlivějším reakcím dochází při zvýšení intenzity a zvýšení odporu. Nárůst SF, při rostoucím zatížení, je plošší u vysoce trénovaných sportovců než u výkonnostně slabších jedinců. Pokud porovnáme ženy a muže, tak ženy dosahují vyšší hodnoty SF než muži. Zvýšení SF, ukazuje výkonnost srdečně-oběhového systému a také silovou vytrvalost dolních končetin. Velikost srdce určuje také úroveň SF, tedy, čím nižší je jeho frekvence při zatížení, tím je prokázán vliv tréninku na adaptaci srdce. SF je zvyšována na začátku zatížení. Rovnovážného stavu dosáhne rychleji sportovec s lepší kondicí. Ke zvyšování SF dochází individuálně až na nejvyšší úroveň, kdy po dosažení této úrovně roste dále jen pozvolna (Hottenrott, Neumann, & Pfützner, 2005).

## 2.5 Variabilita srdeční frekvence

Činnost sympatiku se spojuje s frekvencí (0,04 – 0,15 Hz), kdežto aktivita parasympatiku se spojuje s frekvencí (0,15 – 0,4 Hz) v modulaci SF (Acharya et al., 2006). Srdce tepe rychleji nebo pomaleji, podle toho, zda převládá sympatikus nebo vagus, a to při zatížení i v klidu.

VSF může být využita ve sportovním tréninkovém procesu pro superkompenzaci ANS, kterou prokázali Botek et al. (2004) nebo pro zjištění jaký vliv má časový posun na VSF a také na výkon sportovce (Botek et al., 2009; Stejskal, 2004; Stejskal et al., 2004).

Existuje velké množství důkazů, že vyšší variabilita srdečního rytmu je spojena se sníženou úmrtností (Dekker et al., 2000; Gilliam FR III et al., 2007), zlepšenou kvalitou života (Gilliam FR et al., 2007) a lepší fyzickou zdatností (Aubert et al., 2003). Nejběžnějším využitím analýzy VSF je predikce rizika a prevence srdečního selhání. (Ho et al., 1997; Nolan et al., 1998).

Na EKG křivce se mezi jednotlivými srdečními stahy používá pro rozdílnou dobu název R-R interval. Dlouhý R-R interval vyjadřuje převahu parasympatiku a krátký interval převahu sympatiku (Javorka et al., 2008).

Srdeční rytmus není pravidelný jako rytmus metronomu, je neustále se velmi citlivě měnící od úderu srdce po další úder srdce. SF je proměnlivá čili variabilní. VSF lze pozorovat i v klidu, kde je možné sledovat závislost při dýchání (respirační sinusová arytmie), měnící se i vlivem různých systémů od centrálního nervového systému, přes endokrinní systém, ale také lokálními mechanismy, kdy hovoříme o mentální, emoční a též fyzické zátěži. Význam hodnocení VSF je fyziologický, ale také diagnostický (Javorka et al., 2008).

Zmizení variací mezi po sobě jdoucími srdečními rytmy je výsledkem autonomní dysfunkce, která může být spojena se stavy neurologických, kardiovaskulárních a psychických chorob (Hoyer, 2009).

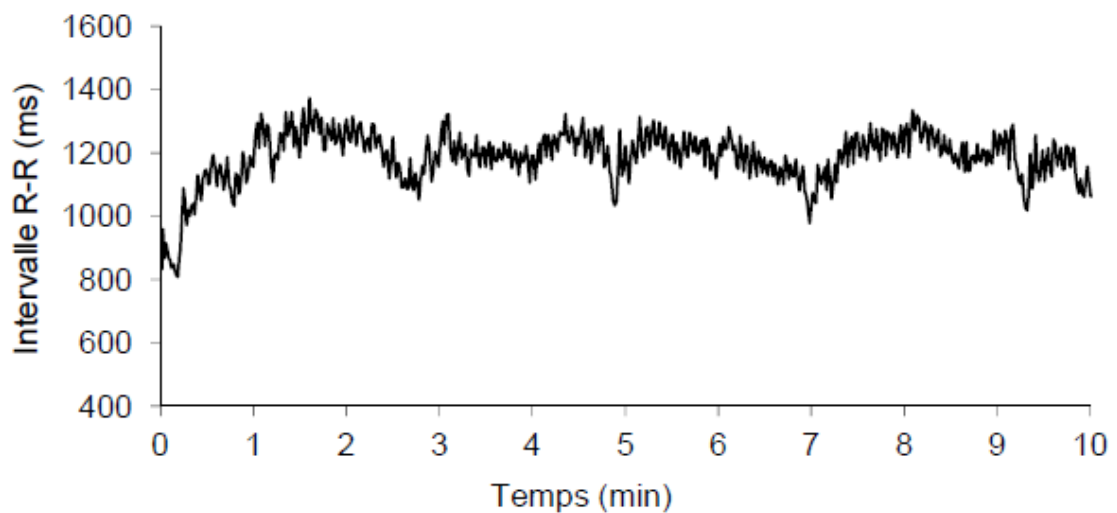
Je zajímavé, že ve starověké Číně byl známý lékař Shu-he Wang (265 až 317 nl), který popsal srdeční rytmus jako indikátor nemoci: „pokud se vzor srdečního rytmu stane pravidelným jako klepání datla nebo kapající déšť ze střechy, bude pacient mrtvý za 4 dny“ (Liu et al., 1988).

VSF je vyjádření variací po sobě jdoucích srdečních tepů (R-R intervalů), (Task Force, 1996).

Hodnocení VSF nám poskytuje důležité informace o změnách aktivity sympatické i parasympatické (Omerbegovic, 2009).

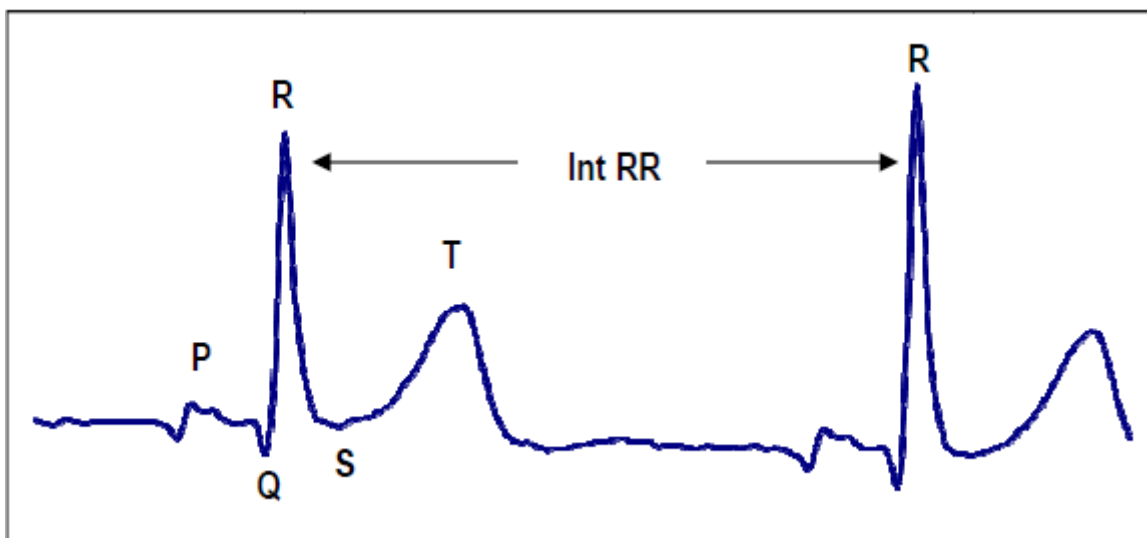
Zatímco kardiovaskulární systém má podléhat přísné regulaci, aby byla zajištěna stabilita jeho proměnných, a proto byly zachovány jejich normální hodnoty a tedy homeostáza, jednoduché pozorování pulsu umožňuje detekovat (pseudo) cyklické změny SF. VSF je odrazem implementace mechanismů kardiovaskulární regulace. Jeho studie je tedy pohledem do těchto regulačních mechanismů (Task Force, 1996).

VSF se snadno implementuje, protože vyžaduje pouze záznam tepové frekvence. Tento záznam lze spolehlivě získat pomocí monitoru SF (Barbosa et al., 2016; Weippert et al., 2010;), (obrázek 4). VSF ukazuje bezprostřední změny SF nebo přesněji v intervalu mezi dvěma po sobě následujícími R vrcholy (Task Force, 1996). Vrchol R se zobrazuje na elektrokardiogramu v rámci komplexu QRS (obrázek 5). VSF nepřímo informuje o kontrole prováděné ANS na funkci srdce. ANS, sestávající z parasympatického odvětví a sympatického odvětví inervuje velké množství orgánů včetně srdce. Parasympatické kardiomoderační vlivy snižují SF, zatímco sympatické kardio-akcelerační vlivy jej zvyšují (Dong, 2016).



**Obrázek 4.** Zaznamenávání variability srdeční frekvence (měřeno v RR intervalu, tj. Interval mezi dvěma tepe, inverze srdeční frekvence) ráno v klidu v poloze vrstva. ms: milisekunda; min: mid nute.





**Obrázek 5.** Ilustrace elektrokardiogramu. P vlna je spojena se síňovou kontrakcí, komplex QRS s komorovou kontrakcí a T vlna s komorovou repolarizací. Int RR: interval mezi dvěma vrcholy R.

Záznam SF pro studium VSF lze provést pomocí různých postupů. Ve sportovní vědě se záznam provádí ráno po probuzení (Plews et al., 2013), po sub-maximálním cvičení (Stanley et al., 2013) nebo během noci ve spánku (Vesterinen et al., 2015). Je třeba také poznamenat, že VSF může být použita při snaze určit prahové hodnoty dýchání během maximálního kumulativního testu v chodu (Cottin et al., 2007).

Studie VSF spočívá v analýze sledu časových intervalů mezi dvěma po sobě následujícími R vrcholy (Task Force, 1996).

Mezi matematické metody vyvinuté pro analýzu VSF patří ty, které se nazývají lineární, včetně časové, frekvenční a geometrické domény (Tupplo et al., 1996; Vanderlei et al., 2009;) a mezi tzv. nelineární patří mimo jiné spektrální analýza (Hughson & Yamamoto, 1995). Ve sportovních vědách se nejčastěji používají lineární metody, zejména časová a frekvenční oblast (Dong, 2016). Časová analýza poskytuje převážně parasympatické markery prostřednictvím statistických výpočtů RR intervalové řady. Frekvenční analýza poskytuje jak parasympatické, tak sympatické markery prostřednictvím spektrální analýzy RR intervalových řad.

### 2.5.1 Spektrální analýza variability srdeční frekvence

SA VSF je popsána jako velmi spolehlivá a také reprodukovatelná metoda reflektující citlivě nejen aktivitu parasympatiku, ale také balanci sympatiku a vagu (Opavský, 2002). Podstatou této metodiky je skutečnost, že ukazatele kardiovaskulárních funkcí oscilují současně v různých rytmech, které mají z fyziologického hlediska odlišný význam. Jednotlivé frekvence, na nichž ke zmíněné oscilaci dochází, lze pomocí spektrální analýzy vzájemně odlišit a rozdělit do několika (obvykle čtyř) pásem, z nichž nejvýznamnější je pásmo nízkofrekvenční (low frequency – LF, v rozsahu 0,04–0,15 Hz), jež reflektuje současně aktivitu sympatiku i vagu (přičemž míra jejich zastoupení závisí na vyšetřované situaci, např. poloze těla). Souvisí zřejmě s periodickými změnami periferní cévní rezistence (Akselrod et al., 1981; Akselrod et al., 1985) a dále s baroreflexními mechanizmy (Stein, 1994). Dále je to pásmo vysokofrekvenční (high frequency – HF, v rozsahu 0,15–0,40 Hz), které odráží zejména aktivitu vagu spojenou s fyziologickou respirační arytmií (Montano et al., 1994). Fyziologický podklad zbylých dvou frekvenčních pásem, tj. pásma ultra nízkofrekvenčního (ultra low frequency – ULF, do 0,0033 Hz) a velmi nízkofrekvenčního (very low frequency – VLF, 0,0033–0,04 Hz), není dosud jednoznačně objasněn (Task Force of the European, 1985).

V rámci vyšetření SA VSF je pak hodnocena intenzita oscilace SF na jednotlivých frekvencích (tzv. výkonová spektrální hustota – power spectral density). Součet výkonových spektrálních hustot na všech frekvencích určitého frekvenčního pásma se označuje jako spektrální výkon (power), který si lze představit jako plochu pod křivkou určenou výkonovými spektrálními hustotami v daném spektrálním pásmu. Nejčastěji hodnocenými parametry SA VSF tak bývají: spektrální výkon nízkofrekvenčního pásma (low frequency power, LF power), spektrální výkon vysokofrekvenčního pásma (high frequency power, HF power), jejich poměr (LF/HF ratio) a součet (celkový spektrální výkon, total power – TP). VSF lze hodnotit v klidovém stavu (při spontánním dýchání) nebo za standardizovaných zkoušek se známým vlivem na aktivitu ANS, jako jsou např. hluboké dýchání, Valsalvův manévr a zejména aktivní vertikalizace (tzv. ortostatická zkouška), resp. ortoklinostatický test (zkouška leh-stoj-leh) (graf 1a, b). (Opavský, 2002).

Metoda SA VSF je používána již od 60. let 20. století. V dnešní době, díky výpočetní technice, jde o jednoduché vyšetření a jako jedna z mála metod umožňující neinvazivní a rychlá kvantifikace kardiovaskulární autonomní regulace, a v případě spektrální dekompenzace i posouzení podílu obou hlavních složek, sympatiku a parasympatiku. Podstata spektrální analýzy spočívá v rozložení nepravidelného průběhu VSF do pravidelných cyklů, reprezentující

procesy ovlivňující její kolísání. Jak už bylo výše zmíněno, sympatikus i parasympatikus, pracují v odlišných frekvencích v závislosti na jejich neurotransmiterech, pomaleji sympatikus a rychleji parasympatikus. Matematicko-statisticky je možné je rozlišit a vyčíslit jejich spektrální výkon. Frekvenční hodnoty, které jsou použité ve spektrální analýze, jsou přetransformované údaje o čase a rozdílech mezi R-R intervaly (Howorka, Pumprla, & Sovová, 2014).

Frekvence se nachází v rozmezí 0,01 – 0,5 Hz (což znamená 0,6 – 30 periodických změn za minutu). Frekvenční spektrum lze rozdělit podle vlivu sympatiku a parasympatiku na tři hlavní komponenty:

- VLF (very low frequency) – pásmo velmi nízkých frekvencí v rozmezí 0,01 – 0,04 Hz
- LF (low frequency) – pásmo nízkých frekvencí v rozmezí 0,04 – 0,15 Hz
- HF (high frequency) – pásmo vysokých frekvencí v rozmezí 0,15 – 0,5 Hz

## **2.5.2 Hlavní komponenty SA VSF**

### **VLF (Very low frequency) – 0,01 – 0,04**

Pásmo velmi nízkých frekvencí je považováno pouze v souvislosti s aktivitou termo či chemoreceptorů a systému renin-angiotenzin. V rámci krátkodobých záznamů je jejich podíl na spektru velmi diskutabilní (Howorka, Pumprla, & Sovová, 2014).

Vliv této frekvence není příliš specifikován a determinován a jeho existence ve fyziologickém procesu připadajícím na změny srdeční periody může být dokonce zpochybňován, hlavně při EKG kratším než 5 minut. Dobré hodnocení lze získat až z dlouhodobějších záznamů, trvajících alespoň 60 minut (Salinger & Stejskal, 1996; Task Force, 1996).

### **LF (low frequency) – 0,04 – 0,15 Hz**

Berger et al., (in Stejskal & Salinger, 1996) uvádí, zatímco aktivita vagu ovlivňuje široké frekvenční pásmo v rozsahu od 0 do 1 Hz, aktivita sympatiku může modulovat pouze spektrum v oblasti od 0 do 0,15 Hz.

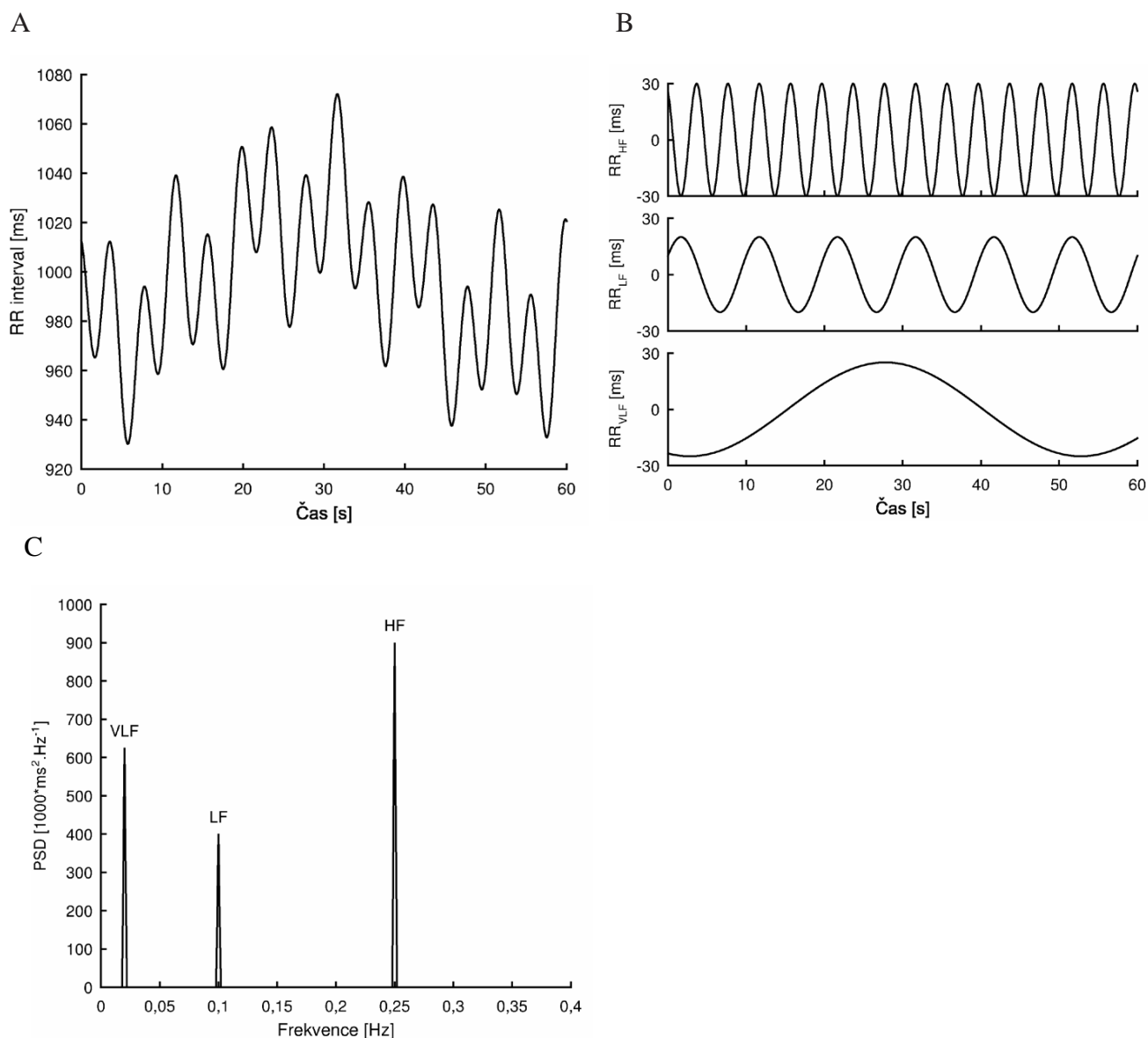
Komponenta, která je nejvíce ovlivněna baroreflexní sympatickou aktivitou a koresponduje s pomalými změnami variability krevního tlaku. Bývá označována jako „Mayerova tlaková vlna“. Podle mnohých autorů ji nelze považovat za celkového ukazatele sympatiku, protože složka LF odráží jak sympatickou, tak i vagovou aktivitu (Stejskal et al., 2001; Task Force, 1996).

### **HF (high frequency) 0,15 – 0,5 Hz**

Komponenta HF koresponduje s periodicitou dýchání i s tónem vagu a nazývá se RSA. Tato závislost se dá charakterizovat tak, že při nádechu se trvání R-R intervalu zkracuje (frekvence srdce se zrychluje) a při výdechu se prodlužuje (frekvence srdce se zpomaluje) (Javorka, 2008; Uhlíř et al., 2010).

Pokud se frekvence dechu zvýší nad 24/min, přestane převládat vliv vagu na RSA. Naproti tomu, pokud se sníží pod 9 dechů/min, přechází do frekvence nižší, než 0, 15 HZ a klesne do pásma LF. Proto je vhodné vyšetření provádět při dechové frekvenci 12 – 15 dechů/min. (Opavský, 2002).

Frekvenční ukazatele (také nazývané spektrální ukazatele) nehodnotí průběh RR intervalů v čase, ale hodnotí výsledky ze spektrální analýzy, která obecně představuje soubor metod použitelných pro detekci a hodnocení periodicity v signálu (Sovka & Uhlíř, 2002). Konkrétněji, spektrální analýza (obrázek 6) převede záznam RR intervalů (časová doména) na tzv. spektrální výkonovou hustotu (*power spectral density*, PSD, obrázek 7), která vyjadřuje závislost výkonu jednotlivých složek signálu na frekvenci (Botek et al., 2017).

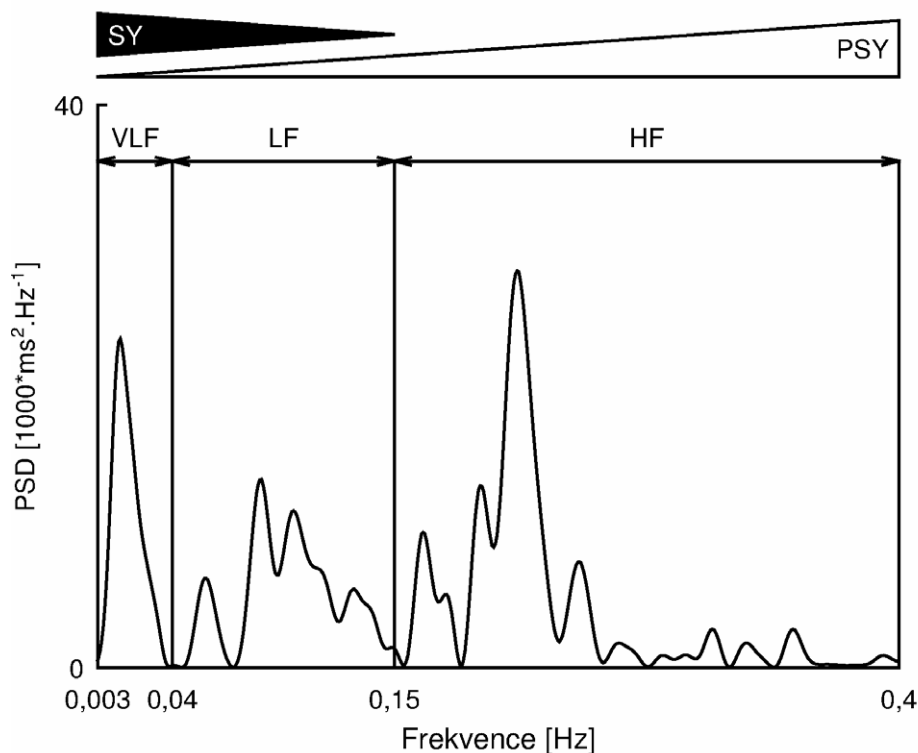


**Obrázek 6.** Ilustrace principu spektrální analýzy.

Vstupem je záznam RR intervalů (A), pro lepší názornost byl použit počítačem vygenerovaný signál s výkony  $VLF = 626 \text{ ms}^2$ ,  $LF = 400 \text{ ms}^2$ ,  $HF = 900 \text{ ms}^2$  a průměrnou  $SF = 60 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$ . Spektrální analýza provede rozklad vstupního signálu na harmonické složky v jednotlivých pásmech (B) a vypočítá spektrální výkonovou hustotu (C), což je vyjádření výkonu jednotlivých harmonických složek na jejich frekvenci (Botek et al., 2017)

**Legenda:**

*VLF* – velmi nízká frekvence; *LF* – nízká frekvence; *HF* – vysoká frekvence; *PSD* – spektrální výkonová hustota.



**Obrázek 7.** Graf skutečné spektrální výkonové hustoty s naznačenými vlivy sympatiku a parasympatiku (Botek et al., 2017)

**Legenda:**

*SY* – sympatikus; *PSY* – parasympatikus; *VLF* – velmi nízká frekvence; *LF* – nízká frekvence; *HF* – vysoká frekvence; *PSD* – spektrální výkonová hustota.

VSF je významně ovlivněna řadou patologických stavů, farmakologických vlivů i fyziologických proměnných. Přestože je testování autonomních funkcí pomocí vyšetření SA VSF prováděno na řadě neurologických i interních pracovišť v České i Slovenské republice, existuje v naší literatuře pouze minimum původních prací, jež poskytují alespoň orientační normativní data využitelná pro hodnocení naší populace (Hosová et al., 2001; Krahulec et al., 1999; Šlachta et al., 2002).

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

VSF je ovlivněna množstvím endogenních a exogenních faktorů. Tyto faktory musí být brány do úvahy při vyšetřování, hodnocení a interpretaci VSF.

#### **Vliv dědičnosti na VSF**

Morfologické a biochemické charakteristiky organismu jsou určovány do jisté míry genetickými determinanty, ale tyto také zprostředkovaně působí i na životní projevy a fyziologické funkce, proto mají také svůj podíl na frekvenci srdce a variabilitě srdce. Bylo provedeno několik studií, kdy byla sledována genetická podmíněnost VSF. Zde byly porovnávány výsledky sourozenců a také manželů, kde podle předpokladů byla vyšší korelace sourozenců. Z výsledků mezi sourozenci, došli autoři této studie k závěru, že na celkové VSF se genetické faktory podílí z 13 – 23 %. Další studie byla provedena mezi sourozenci a dvojčaty, zde byla zjištěna ještě větší genetická závislost. Frekvence srdce a tedy R-R intervaly byly geneticky determinovány z 37-48 % a respirační sinusová arytmie ze 40-55 %. Rozdílné výsledky můžeme přikládat k rozdílným podmínkám, ve kterých bylo měření prováděno a různé metodice měření. V aktivním bdělém stavu podíl genetických faktorů na VSF klesá, v klidu a ve spánku se zvyšuje (Javorka, 2008).

V jiné studii je uvedeno, že genetická podmíněnost VSF nemá mnoho společného s pohlavní nebo etnickou závislostí, kdy regulace VSF v klidu a ve stresu je ovlivněna malým geneticky významným příspěvkem (Wang et al., 2009).

#### **Vliv věku na VSF**

Vývojovými změnami a aktuálním stavem srdce, jako centrálního nervového systému a ostatních regulačních mechanismů je podmíněna VSF. Kardiovaskulární systém můžeme pokládat za první systém, který začíná plnit funkci v čase, kdy embryo měří jen několik milimetrů. Srdce, resp. buňky, ze kterých se v průběhu vývoje vydifferentiují, se začíná kontrahovat koncem 3. týdne. Změny VSF a reaktivity na testy a zátěž jsou fyziologické, zákonité a musí se brát v úvahu při jejich hodnocení a interpretaci (Javorka, 2008).

Ze studie jiných autorů, kteří testovali vzorek ve věkové kategorii 15 – 19 let, bylo zjištěno, že u chlapců po 15. roce života se délka R-R intervalu prodlužovala, což vede k závěru, že frekvence srdce zpomalovala. Parametry, které charakterizují celkovou VSF, jakožto i spektrální výkony v nízkofrekvenční a vysokofrekvenční sféře se u chlapců zvyšovaly, nýbrž u dívek nedošlo ke zjištění žádné zvyšující tendence, což si autoři opodstatnili dřívějším dozráváním děvčat, proti chlapcům. Dívky v somatickém i funkčním vývoji předbíhají chlapce

o 1, 5 – 2 roky. Zde lze ještě uvést skutečnost toho, že chlapci v tomto věku mají zvýšený zájem o fyzické aktivity a sport, což má velký vliv na parasympatický tonus, průměrnou frekvenci srdce (PFS) a VSF (Javorka, 2008).

S věkem se průměrná frekvence srdce nijak významně nemění, je však možné pozorovat pozvolný pokles VSF. V jedné studii byl celkový výkon VSF ve věku mezi 60. a 69. rokem života přibližně na 30 % výkonu, který byl naměřen u vzorku ve věku 20 – 29 let (Javorka, 2008).

Při hlubokého dýchání, během fyzické zátěže, v ortostáze či Valsavově manévru, jsou na SF menší změny u starších osob. Snížená adaptace kardiovaskulárního systému na fyzickou zátěž projevující se zvýšeným výskytem posturální ortostatické hypotenze, která je v porovnání s mladšími lidmi u starších lidí až dvakrát vyšší. A to i přes to, že dochází ke zvýšení aktivity sympatiku, neboť dochází ke výraznému snížení regulační schopnosti parasympatiku (Javorka, 2008).

VSF hodnocené spektrální analýzou byla nejnižší na konci 1. měsíce života, kdy hlavní komponentou je LF se zvýšeným poměrem LF/HF. Aktivita komponenty HF negativně korelovala s frekvencí dýchání. To znamená, že při zrychleném dýchání docházelo ke snížení hodnoty HF. Po 1. – 2. měsíci života, dochází ke zvýšení hodnoty VSF, což lze přičíst ke zvýšenému vagovému tonu. V dětství průměrná frekvence srdce postupně klesá a zvyšuje se VSF. Ta dosahuje maxima v pubertě, adolescenci a v mladém dospělém věku (Kazuma et al., 2002).

V případě, že by došlo k porovnání aktivity ANS u různých věkových kategorií při zátěži a v klidu, výsledkem by byla, vyšší aktivita vagu v klidu je u mladší skupiny, než je tomu u střední a dále i starší skupiny populace. Po docvičení však neměly tyto rozdíly související s věkem žádný statistický význam. V případě rozdělení těchto skupin podle kondiční úrovně, dělení podle  $VO_2max$ , na nízkou, střední a vysokou, došlo by ke zjištění výrazné odlišnosti během nízké a střední intenzity. Z toho vyplývá, že během aktivity, je spojena špatná fyzická zdatnost s poruchou srdeční vagální funkce a vyšší aktivita vagu v mladším věku, je patrná v klidu (Makivić, Nikić, & Willis, 2013).

Obdobné výsledky publikoval i Stejskal a spol. (1999), kde byla porovnána skupina probandů ve věku 43 – 70 let se skupinou ve věku 12 – 24 roků. Téměř ve všech parametrech měřených při SA VSF byly nalezeny změny. Výjimka byla pouze u parametru, který podléhá hlavně aktivitě sympatiku (VLF/LF, VLF/HF a LF/HF). Došlo k většímu poklesu aktivity HF



v porovnání s aktivitou LF, čímž na rozdíl od předchozí práce bylo ukázáno zvýšení poměrů LF/HF a tím dokázána skutečnost toho, že ve starším věku dominuje aktivita sympatiku na regulaci SF. Se zvyšujícím se věkem klesá i baroreflexivní citlivost a hodnoty kardiovaskulárních testů, což má za následek snižující schopnost adaptace organismu.

### **Vliv polohy těla na VSF**

Poloha je jeden z důležitých faktorů, ovlivňující činnost kardiovaskulárního systému. Na VSF má vliv poloha ortostázy, i poloha klinostázy (změna polohy ze stoje do lehu), (Javorka et al., 2008). Při poloze ve stoje je více aktivní sympatikus, při poloze vleže, parasympatikus (Opavský, 2002).

#### ***Ortostáza***

Během ortostázy (změna polohy z lehu do stoje) dochází k přesunu krve do dolní části těla, do vén dolních končetin a oblasti gluteální. Při tomto přesunu dochází ke snížení objemu cirkulující krve až o 15 %. Snižuje se systolický i minutový objem krve, krevní návrat, plnění srdce i krevní tlak. Vzhledem k tomu, že tělo musí tyto následky překonávat, dochází k aktivaci sympatického systému, v aortálním oblouku přes baroreflexy, kdy je inhibován parasympatikus, který ovlivňuje celý kardiovaskulární systém. Tímto dochází k reakci adaptačních mechanismů organismu. Při okamžité frekvenci srdce mají změny typický průběh, začíná rychlé zvýšení frekvence, dosahující maxima v desáté sekundě a poté následný pokles frekvence, kdy tato je stále vyšší než před testem. Po relativním snížení frekvence srdce dojde opět ke vzestupu, který je závislý na aktivitě sympatiku, který začíná později, ale trvá déle v porovnání se sympatikem. Na VSF, kdy tato je dobře měřitelná metodou spektrální analýzy či grafickými metodami, má vliv takto aktivovaný sympatikus. Ortostatický test při vyšetření reaktivity ANS na regulaci SF, je tímto považován za základní. Při ortostáze nedochází ke změně aktivity v pásmu LF, i přes to, že je výsledkem aktivity sympatiku i parasympatiku. Zároveň aktivita parasympatiku klesá v oblasti HF, čímž zvyšuje poměr LF/HF (Javorka, 2008).

#### ***Klinostáza***

Opakem proti ortostáze je klinostáza, jedná se o změnu polohy ze stoje do sedu. Ke zlepšení venózního návratu krve do srdce dojde při této změně polohy. První fází je přechodné zvýšení frekvence, vlivem provedené aktivity, poté se v průběhu 20 – 40 sekund v poloze leh

okamžitě sníží SF pod výchozí hodnoty. Změna se ukáže i na výsledcích spektrální analýzy VSF způsobená obrovským nárůstem aktivity parasympatiku v oblasti SF. Klinostatický reflex umí vyvolat aktivitu v HF i v případě, že aktivita HF nebyla během počátečního lehu, například z důvodu nedostatečného uvolnění pacienta.

Schopnosti aktivace obou mechanismů, které jsou zprostředkovány sympatikem (ortostáza) a parasympatikem (klinostáza), vedou k zapojení těchto činností do vyšetření VSF metodou spektrální analýzy. Pomocí tohoto získáme důležité informace o reaktivitě ANS a ANS společně s kardiovaskulárním systémem (Javorka, 2008).

### Ortoklinostatický manévr

Ortoklinostatická reakce fylogeneticky a ontogeneticky souvisí se vzpřímeným postojem člověka i chůzí. Bylo potvrzeno, že je dobrým indikátorem stresujících faktorů, pro jednoduchost provedení a také pro vysokou citlivost, kdy odráží nespecifické účinky působících škodlivých vlivů.

Jedná se o test VSF prováděný ve standardních podmínkách pro dostatečnou relaxaci a uvolnění vyšetřované osoby v klidné místnosti. Testování se provádí dopoledne mezi sedmou a devátou hodinou s délkou trvání asi 20 minut. Vyšetřovaná osoba dvakrát změní polohu, kdy se nejprve jedná o polohu na zádech v leže, ve které se vyšetřovaná osoba nachází 5 minut. V této poloze jde o standardizaci počátečních hodnot pro měření a ustálení. Další poloha je ortostáza, vertikální stoj, ve které se osoba nachází také 5 minut, kdy v této je stimulována činnost sympatiku. Poslední polohou v testování je opět pozice na zádech vleže, kdy tímto manévrem je vyvolána stimulace parasympatiku (Hynynen et al., 2011).

Pokud hodnoty v ortostáze nedosáhly snížení, při kterých by došlo k vyrovnání počátečních hodnot SF vleže, během orientačního posuzování ortostatických hodnot, můžeme mluvit o zvýšené dráždivosti sympatiku. Zvýšená dráždivost parasympatiku (vagu) může být na křivce pozorována v tom případě, kdy alespoň jedna z hodnot byla stejná či nižší, než hodnota počáteční před ortostázou. Pokud při ortostáze nedochází téměř k žádným výraznějším změnám a hodnoty SF zůstávají stále vysoké, lze tento nálezn považovat za patologický (Javorka, 2008; Almetova & Lutfullin, 2014).

### Vliv tělesné teploty na VSF

Změny teploty tělesného jádra i na kůži výrazně ovlivňují kardiovaskulární parametry. Podle Flourise et al. (2014) je tepelná aklimatizace doprovázena těmito faktory, snížená teplota tělesného jádra, významná bradykardie a dále spojení s významnými změnami VSF, které se

dají posuzovat jako vagální dominance. K tomuto lze uvést, že změny teploty tělesného jádra je možné pozorovat ještě v období dvou týdnů, naopak po dvou týdnech jsou změny srdečního rytmu a VSF, jen minimální. Ke zlepšení fyzické zdatnosti hráče vedou tréninky při vyšší teplotě (35°C), ale je potřebná aklimatizace na tuto teplotu. Po aklimatizaci hráče na tuto teplotu může docházet k většímu potenciálu výrazného zlepšení svého specifického výkonu v podmínkách mírného pásu (22°C). Tyto podmínky by měli trenéři využívat zejména pro běhy v submaximální zátěži. Avšak tato studie se nezabývá delšími časovými obdobími a také se v ní nepočítá s dalšími determinanty, např. vlhkostí a dalšími (Buchheit, Mohr, Nybo, Racinais, & Voss, 2011).

### **Zvýšení tělesné teploty**

Při zvýšení tělesné teploty dochází k teplotnímu šoku pro tělo, které se s tímto musí nějak vyrovnat. K tomu slouží obranné mechanismy nacházející se v systému kardiovaskulárním, které jsou v součinnosti s vasodilatací kůže, vasokonstrikcí ve splachnické části a navýšeným minutovým srdečním výdejem. Zvýšení minutového srdečního výdeje je výsledkem tachykardie, neboť zvýšení systolického objemu je minimální. Pokud se zvýší teplota tělesného jádra o 1°C, zvýší se SF asi o 12-20 tepů za minutu. Další zvýšení SF je následkem poklesu parasympatické aktivity a zároveň nárůstu aktivity sympatické. Ke stejným změnám SF dochází i tehdy, kdy se zvyšuje teplota povrchu těla. Klesá celkový spektrální výkon VSF, snižuje se složka HF a zvyšuje se poměr LF/HF, to ukazuje na převažující aktivitu sympatiku (Javorka, 2008).

### **Pokles tělesné teploty**

Podle Fluorise a Cheunga (2009) ve studii vlivu tepelné balance na vasodilataci vyvolanou chladem dospěli k výsledku, že při aplikaci studené vody na část těla (konkrétně ruky), organismus pomalu připravuje systém na snížení teploty tělesného jádra. „Usuzuje se, že za studena indukované vasodilatace je centrálně procházející jev způsobený sympatickým vasokonstrikčním odstoupením“ (Fluoris & Cheung, 2009).

Významný vliv na organismus má hypotermie. Teplota tělesného jádra v rozmezí 37-35°C je mírná hypotermie, teplota 35-32,2°C střední hypotermie a teplota pod 32,2°C těžká hypotermie. SF stoupá při mírné hypotermii, aby byl větší přísun okysličené krve do tkání a také na podporu metabolismu. SF klesá v případě, že se teplota jádra sníží po 33,3°C. Pokud

dojde k poklesu teploty pod 32°C, může se vyskytnout srdeční arytmie. S poklesem tělesní teploty dochází ke snížení minutového srdečního výdeje, kdy při teplotě 25°C je srdeční výdej asi poloviční, než minutový srdeční výdej při normotermii.

I když víme, že dochází k poklesu SF, při hypotermii toho o VSF moc nevíme. Při testech odpovídalo srdce potkana při hypotermii bradykardií a velkým zvýšením VSF. Člověk reagoval na mírnou hypotermii také poklesem SF, zvýšením krátkodobé a cirkadiánní VSF a prodloužením QT intervalu. Všechny uskutečněné změny srdeční činnosti jsou fyziologicky účinné a pomáhají s překonáním teplotního stresu. Zůstává otázka, jak moc ovlivňují denní teplotní výkyvy VSF během dne. (Javorka, 2008).

### **Spánek a VSF**

Během spánku, NREM, non – REM (synchronizovaný) je dýchání pravidelné a klidné s malými dechovými objemy, při zůstatku stejné dechové frekvence. Dochází ke snižování součástí kardiovaskulárního systému, prodloužení RR intervalů, snížení SF asi o 5-15% z hodnoty, která je průměrná ve stavu bdělém. Tepová frekvence u mužů s vysokou parasympatickou aktivitou může klesnout pod 40-50 tepů za minutu.

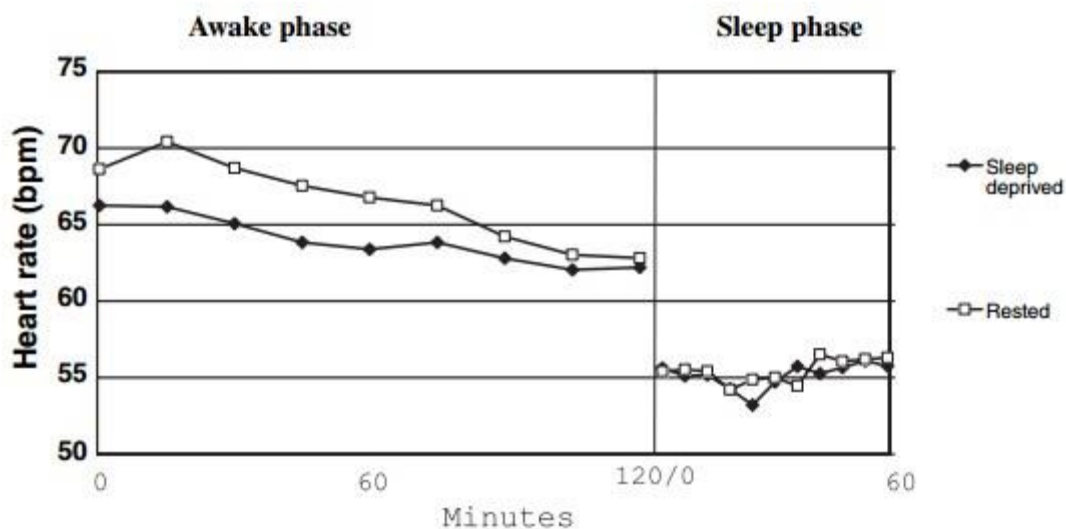
Během spánku REM (desynchronizovaný) je dýchání nepravidelné a dochází ke zvyšování jeho frekvence, děje se to zkracováním inspirační a také expirační fázi dechových cyklů. Aktivizuje se kardiovaskulární systém, snižuje se vagová aktivita, zvyšuje se SF a tohle probíhá již před začátkem REM – fáze.

NREM – spánku je VSF u dospělé osoby v celkovém spektrálním výkonu snížena. Charakteristický je snížený výkon v pásmu VLF a LF a zvýšená aktivita v pásmu HF.

Během REM – spánku je VSF vyšší, během NREM – spánku nižší. Během REM – spánku je zvýšení aktivity v pásmu VLF a LF a současné snížení v pásmu HF. Tedy poměr LF/HF znázorňující rovnováhu sympatikovagovou měl v REM – spánku maximální hodnotu a v synchronizovaném (non – REM) spánku minimální. Zvýšená aktivity sympatiku v REM – spánku je zřejmě spojená sněním, což odráží zvýšený poměr LF/HF, který je ve spojení s vizuálními sny (Javorka, 2008).

Na změny tepové frekvence a VSF při dokonalém odpočinku (7 hodin a 25 min) a při nedostatečném spánku (3 hodiny a 52 min) u 10 osob (5 žen a 5 mužů) byl proveden výzkum. Pozoruhodné je, že během dvanácté minuty, kdy byly osoby vzhůru, měly tepovou frekvenci

nižší ty, které měly nedostatečný spánek, ale jen na začátku periody. Po 120 minutách se všechny osoby dostaly na téměř stejnou tepovou frekvenci (63 tepů/min.). V následující 60 minutové spací fázi se k výraznému poklesu dostaly dříve osoby po nedokonalém spánku, po 45 minutách, naproti tomu osoby po dostatečném odpočinku až po 75 minutách, kdy se všechny dostaly na hodnotu 55 tepů/min (obrázek 8) (Berg et al., 2005).



**Obrázek 8.** Ukazatel průměrné tepové frekvence během testu po dokonalém odpočinku a nedokonalém spánku. (Berg et al., 2005)

V tomto výzkumu byly sledovány i parametry VSF, vykazující podobné hodnoty pro dostatečný i nedostatečný odpočinek. VSF významně při spánku koreluje vlnami Alfa a Théta, proto lze spíše sledovat fázi spánku, ve které se osoba nachází. Během spánku došlo k poklesu velmi nízké a nízké frekvence (VLF, LF komponenty), ale pouze u deprivovaného spánku, a to výrazně po 40. minutě, které jsou během spánku negativně korelující s delta vlnou. Proto není možné využít VSF pro určení úrovně ospalosti, ale je možné tímto sledovat stadia spánku (Berg et al., 2005).

### **VSF a trénink**

Vlivem vytrvalostního tréninku na změny v VSF v klidu a při submaximální zátěži se zabývali Banister, Blaber, & Carter (2003). Po dvanácti-týdenním cyklu bylo snížení SF doprovázeno podle očekávání jak zvýšením TP, tak HF-Power. Získané poznatky shledali jako důkaz adaptace kardiovaskulárního systému na vytrvalostní trénink.

Také Pichot et al. (2002) zaznamenali zvýšení aktivity parasymptatiku se zvýšenými hodnotami VSF už během prvních týdnů a projevující se ještě v 7. týdnu po ukončení tréninkového cyklu, navzdory jejich záměru vyvolat u probandů se sedavým způsobem života stav přetrénování zvýšenou intenzitou tréninku.

Yamaoto et al. (2001) pozorovali významné zvýšení HF-Power už po prvním týdnu tréninkového cyklu. Domnívali se, že se tak stalo jako důsledek adaptace parasymptatické modulace na tréninkové zatížení, ačkoliv se tato hodnota v dalších týdnech výrazněji neměnila.

Tím, zda by mohl být adaptační efekt pozorovatelný už po jednom tréninku, se zabývali Braun, Freedson, & Pober (2004). Vodítkem pro ně byl fakt, podle nějž některé benefity pohybové aktivity, jako např. snížení cholesterolu v krvi, zvýšení inzulínové senzitivity a především snížení krevního tlaku, jsou detekovatelné už po jednom tréninku. Ať tak či tak, poskytli důkaz, že už jedno cvičení submaxiálního charakteru zvyšuje parasymptatickou modulaci zvýšením HF-Power a snížením LF a poměru LF/HF v klidu oproti původním hodnotám, v jejich případě mezi 1. až 22. hodinou po zátěži.

Výsledky měření ranní úrovně VSF se experimentálně využívaly i jako nástroj pro longitudinální optimalizaci tréninkového zatížení (Botek, McKune et al., 2014; Kiviniemi et al., 2007). V situaci, kdy však sportovec nebude trénovat ráno nebo dopoledne, ale trénink absolvuje až v odpoledních či podvečerních hodinách, protože dopoledne např. plní standardní školní povinnosti nebo pracuje, je logické kriticky zvažovat, zda doporučení pro trénink pocházející z ranního vyšetření aktivity ANS nemůže být pro odpolední či podvečerní trénink již zavádějící. Tato metodologická otázka vyplynula z pilotního projektu zaměřeného na zkoumání možnosti implementace hodnocení aktivity ANS jako nástroje pro longitudinální optimalizaci tréninkového zatížení u atletů (Botek, 2007) a motivovala nás k uskutečnění verifikační studie (Botek et al., 2007).

Protože technická i taktická část hry jsou ve fotbale jedny z důležitých, musíme myslet na každý detail i při trénování. Neboť se blíží Světový šampionát v roce 2022 v Kataru, kdy budou vysoké teploty, je tohle aktuální téma. Proto je výhodné trénovat ve vyšších teplotách, než je tomu v mírném pásu. Tréninky ve vyšších teplotách (35°C) vedou ke zlepšení fyzické zdatnosti hráčů, ale je důležité se na tuto teplotu aklimatizovat. Po aklimatizaci hráče na tuto teplotu může docházet k většímu potenciálu výrazného zlepšení svého specifického výkonu v podmínkách mírného pásu (22°C). Tyto podmínky by měli trenéři využívat zejména pro běhy v submaximální zátěži. Avšak tato studie se nezabývá delšími časovými obdobími a také se v ní

nepočítá s dalšími determinanty, např. vlhkostí a dalšími (Buchheit, Mohr, Nybo, Racinais, & Voss, 2011).

Další studie provedla testování VSF na běžcích (24,6 let, +/- 4,8 let), kteří měli vykonávat jeden týden svůj běžný tréninkový plán (těžká tréninková perioda), kdy tento byl následován relativním odpočinkovým týdnem. Kontrolní skupinou byli vybráni lidé se sedavým životním způsobem. Výsledky ukázaly, že během prvního týdne zátěže došlo k progresivnímu snížení parasympatických indexů až o 42%, následovalo výrazné zvýšení během klidového týdne až o 46%. V opačném trendu následovaly sympatické indexy, tedy nejdříve zvýšení (31%) a následný pokles (24%). Kontrolní skupina nezaznamenala žádnou výraznou variaci. Studie tedy potvrdila, že těžký trénink autonomní rovnováhu srdce posune směrem k převaze sympatiku nad parasympatikem (Pichot et al., 2000).

### **VSF a výkon**

Relativně velkou interindividuální variabilitu v odezvě  $VO_2\max$  popsali Botek, Krejčí a Weisser (2014), kteří u juniorských fotbalistů ( $17,2 \pm 1,2$  let) po 6 týdnech přípravy zjistili téměř identickou průměrnou hodnotu  $VO_2\max$  na konci přípravy jako na jejím začátku, nicméně při detailnějším rozboru individuálních změn  $VO_2\max$  se u hráčů projevila variabilita změn hodnoty  $VO_2\max$  v rozmezí od  $-14,0$  do  $+6,9$  % (Botek, Krejčí, & Weisser, 2014). Z jejich studie vyplývá, že mezi průměrnou úrovní aktivity vagu (HF a rMSSD) a změnou hodnoty  $VO_2\max$  byla u trénovaných fotbalistů identifikována těsná korelace. Na základě těchto výsledků Botek, Krejčí a Weisser (2014) konstatovali, že hodnocení úrovně klidové aktivity vagu ve stoji nebo v lehu během přípravy může sloužit jako vodítko pro trenéry v tom, kteří hráči se jeví jako „*trénovatelnější*“ a z přípravy budou nejspíše profitovat v podobě zlepšené kondice, a u kterých hráčů se naopak kondice bude měnit jen velmi obtížně, nebo dokonce podstupování identického zatížení povede v důsledku snížení adaptability k přetížení, maladaptaci a popřípadě i k přechodnému zhoršení kondice.

Na základě výsledků studie zaměřené na zkoumání možností využití aktivity ANS pro optimalizaci velikosti tréninkového zatížení a zvyšování výkonnosti se Botek (2007) domnívá, že vyšší aktivita vagu je důležitým atributem k dosažení relativně vysoké sportovní výkonnosti především u sportovců se zaměřením na vytrvalostní disciplíny. A to primárně z toho důvodu, že sportovci, jako jsou např. běžci na lyžích, běžci na středně dlouhé tratě, silniční cyklisti nebo plavci, absolvují kvalitativně, ale především kvantitativně vysoké tréninkové zatížení, zatímco

relativně nižší úrovní adaptability mohou disponovat sportovci se zaměřením na rychlostní nebo rychlostně silové disciplíny, u kterých bude v tréninkovém procesu kladen důraz spíše na kvalitativní složku tréninkového zatížení.

I s vědomím, že sportovní výkon je determinován mnoha proměnnými, tento výzkum naznačil, že regulace tréninkového zatížení na bázi každodenního monitoringu aktivity ANS udržující relativně stabilní a vysokou aktivitou vagu může reprezentovat alternativní přístup k řešení problematiky optimalizace tréninkového zatížení, který u vybraných jedinců přispívá ke zvyšování sportovní výkonnosti (Botek, McKune, et al., 2014).

### **Vliv únavy a adaptability na klidovou úroveň vagu**

Aktivita vagu reaguje na změny v organismu v různých směrech. Vagová aktivita se může zvyšovat či klesat s narůstající převahou sympatiku. Především jde o vliv úrovně vagu v klidu k odpovědi organismu na trénink a zvyšování úrovně výkonnosti (adaptability), nebo převažující vlivy únavy.

Subjektivním pocitem se dá hodnotit i vliv únavy, často však nekoreluje s měřitelnou únavou dle SA VSF. Únava, která je vnímaná, může odeznívat daleko pomaleji, než únava, která je měřitelná při aktivitě ANS. Po uběhnutí maratónu se průběh zotavení ve výsledcích jakýkoliv proměnných VSF nelišil po měření po 12. hodině, ani po 24. hodině od konce běhu, s výsledky naměřenými před závodem. Z toho vyplývá, že už do 12. hodiny zotavování bylo dosaženo výchozích hodnot z před závodu. Běžci přesto únavu vnímali ještě 24 hodin po ukončení závodu. Úroveň aktivity ANS tedy silně kontrastuje s úrovní vnímané únavy běžce (Botek, Smékal, Stejskal, & Šafář, 2011).

Spoustu studií bylo provedeno o autonomním příspěvku na zpomalení tepové frekvence po cvičení, ale pouze u dospělé populace. Pro mladistvé dříve nebyla žádná data ke zhodnocení. Nyní se již prokázalo, že takové výkyvy komponent SA VSF u mladistvých nefigurují. I přes to, že je to v souladu se sníženou úrovní HF komponenty a zvýšenou LF komponenty. Uvedené je dané tím, že mladiství se sice pohybují ve zvýšené, ale po okamžitém započítání zotavování stále ještě ve střední SF. Takže tahle studie dokazuje jen velmi slabé propojení mezi poklesem srdečního vagálního ovládnání a zvýšením tepové frekvence během zotavení. Charakteristická je tedy zvýšená, ale stabilní SF a to dokazuje, že vysoce trénovaní mladiství ve věku asi 14 let, můžou být méně citliví na vlivy vagu (Brown, Raman, Schlader & Stannard, 2011).



Stejný závěr ve své studii udává Atlaoui et al. (2007), který zkoumal elitní plavce, kdy tito měli intenzivní trénink po dobu 4 týdnů a snížený trénink po dobu 3 týdnů. Měření bylo prováděno na začátku i na konci obou cyklů. S výkonem s měřením před intenzivním tréninkem i během snížené tréninkové intenzity korelovala HF komponenta. Ale také bylo zjištěno, že jakmile bylo dokončeno období snížené intenzity, korelovala HF komponenta pozitivně s výkonem a negativně s únavou. U sympatické aktivity byly naproti tomu opačné výsledky, která nepřímým směrem souvisela s výkonem. To znamená, že během sníženého výkonu sympatická aktivita byla vyšší v poměru s HF. Výchozí úroveň HF byla zvýšená na konci celého testu, což směřuje k následnému zlepšení výkonnosti.

Portier et al. (2001) došel ke stejnému závěru, kdy ještě navíc poukázal na možnost využití spektrální analýzy VSF pro zjištění zhoršení autonomní rovnováhy, čili zjištění únavy, která může vést k přetrénování.

### **Vliv přetížení a přetrénování na VSF**

Přetížení a hromadění tréninkového zatížení směřuje k dočasnému snížení výkonu. Je možné, že se sportovec může rychleji zotavit, ale pouze s vhodnou úpravou tréninkového plánu, kdy může být využito výhod superkompenzace. Pokud však není správně proveden odhad objemu zátěže a je udržován stále vysoký či vysoká intenzita, může to vést k diametrálnímu účinku – přetrénování. Delším procesem intenzivního tréninku je nefunkční přetěžování, které vede ke stagnaci případně trvalému poklesu výkonu. V tomto případě je nezbytná doba zotavování, kdy tato je v mnohem větší délce a trvání může být týdny, až měsíce. Mezi těmito dvěma stavy je malá hranice, kterou lze identifikovat za pomoci monitoringu stavu sportovce. Někteří z autorů uváděli změny srdeční autonomní rovnováhy (Bosquet et al., 2008) a další to zase přikládali světlu, stresu nebo hluku. Byl proveden pokus o měření VSF ve spánku, aby se vyhnuli těmto negativním vlivům. I po odstranění těchto negativních vlivů byly naměřeny změny srdeční autonomní kontroly po 2 týdnech intenzivního tréninku, ve kterých došlo k přetrénování. Z toho důvodu se musí volit vhodné monitorovací zařízení i doba měření, neboť srdce reaguje i na jiné vlivy, než pouze tréninkové (Audiffren, Bherer, Bosquet, & Dupuy, 2013; Kravitz & Van Dusseldorp, 2015).

Při diagnostice přetrénování, byla provedena studie, za účelem zjištění, zda při okamžitém zvýšení objemu tréninku je možné využít VSF a její ukazatele, za objektivní. Na devíti zkušených vytrvalostních atletech, byl proveden test, kteří na 4 týdny zvýšili své

tréninkové dávky. Měření bylo prováděno před i po testu, kdy výsledky neprokázaly žádnou změnu v LF/HF, ani v ukazateli vagové aktivity HF. Z tohoto byl stanoven závěr, že u mužských vytrvalostních sportovců, není VSF spolehlivým ukazatelem přetrénování (Bosquet, Leger, Legros, & Papelier, 2003).

Přetrénování má na organismus totožný účinek, jako týdenní různorodé kognitivní procesy, což bylo prokázáno, ale nebyla prokázána žádná souvislost mezi srdeční parasympatickou kontrolou a kognitivním výkonem. Takový pokles parametrů parasympatické aktivity byl očekávaný po dvou týdnech přetížení a zpětném návratu do normálního stavu během zkoumaného období. Z toho vyplývá, že zatížení organismu bylo podobné, ať už se jednalo o intenzivní atletický trénink, nebo pouze snížený trénink doplněný o kognitivní funkce (Dupuy et al., 2012).

V průběhu intenzivního třítydenního přetěžování při trénincích určitě k žádným změnám vagových indexů souvisejících s VSF nedochází. Pokud však následuje období se snížením tréninkových dávek, může nastat mírná adaptace vagové aktivity a následné mírné zlepšení výkonu. Pokud se jedná o kratší intervaly střídání (1 den), nedochází k únavě z přetrénování, ale také ani k pozitivní adaptaci vedoucí ke zlepšení výkonu (Hug et al., 2014).

Každý sportovec by měl pro optimalizaci zlepšení výkonu tvrdě trénovat, ale zároveň dbát i na důležitost obnovy energie. Toto zotavení většinou trvá 24 hodin. Ale jsou známí i sportovci, trénující 2 – 3 x denně po dobu několika dnů, ale poté následuje zotavující období minimálně 1 – 2 dny. Stav přetrénování nastane, pokud neodhadneme rovnováhu mezi tréninkem, soutěží a zotavením nastane stav přetrénování (Hynynen et al., 2006).

Tento závěr, ale vyvrací jiné studie, které za stejným účelem udělaly výzkum, kdy dospěly k úplně odlišným závěrům. „ANS je závislý na kumulování fyzické únavy v důsledku zvyšování tréninkového zatížení. Proto se analýza VSF ukazuje být vhodným nástrojem ke sledování efektu fyzického tréninkového zatížení na výkon a fitness a mohl by být případně použit, aby zabránil přetrénování“ (Kravitz & Van Dusseldorp, 2015; Leite et al., 2012; Pichot et al., 2002).

Metabolické, srdeční a nervové systémy, mohou nyní trenéři neinvazivně monitorovat pomocí metody VSF a lépe tak stanovit vhodné zatížení či intenzitu a uvést vhodnost trénovat více lehce a soustředit se na regeneraci. Touto metodou lze plánovat průběh celé sezony a trenéři může být nastaven tréninkový plán k dosažení vrcholného výkonu v danou chvíli. Také mohou být optimalizovány tréninkové dávky a plánovaný vhodný čas k regeneraci. Trenéři ho

mohou využívat hlavně v individuálních sportech, jako je atletika nebo tenis. Sportovci se syndromem přetrénování mohou mít narušenou VSF, jejich výkonnost bude klesat a bude se projevovat přetrvávající únava. Tohle může vést až k apatii, ztrátě motivace, poruše spánku, nechuti k jídlu, podrážděnosti a depresím (Kravitz & Van Dusseldorp, 2015; Rota & Saboul, 2013).

Přetrénování můžeme definovat jako dlouhodobou formu přetížení s prodlouženou nerovnováhou mezi tréninkovou zátěží a zotavením. Vzhledem k tomu, že se jedná o závažný stav, který není zcela jednoduše viditelný, je zapotřebí mu věnovat zvláštní pozornost. Zejména je důležitá prevence a včasné odhalení (Mourot et al., 2004).

Pro určení přetrénování a únavy je stále slibným nástrojem měření souvisejících vagových indexů, je potřeba znát dobře své tělo. Výsledky jsou závislé na fyzické zdatnosti jedince, jeho odborné připravenosti, ale jsou individuální. Proto je důležití jejich správná interpretace (Plews et al., 2013).

### **Vliv alostatického zatížení na VSF**

Stres je především vyvoláván novými zkušenostmi, se kterými se náš organismus ještě nesetkal a je tak vystaven novým informacím, kdy neví, jak na ně reagovat. To se projevuje zejména u potápěčů začátečníků, kterým byly měřeny klidové hodnoty, před prvním vstupem do bazénu a před prvním potápěním na otevřené vodě. Naměřena byla i vyšší hladina kortizolu ve slinách, před vstupem do bazénu, než byla naměřena hodnota v klidu a byla vyšší před vstupem na otevřenou vodu, než při potápění v bazénu. Významné změny v naměřených hodnotách dosáhly, jak tepová frekvence, tak i VSF a to v obou případech, mezi klidem a bazénem a také mezi bazénem a volnou vodou. Před očekávanou novou zkušeností vždy nastala fyziologická stresová odpověď. Při pokročilejším a opakovaném výcviku stresové reakce nemizely, ale byly inhibovány oproti prvotnímu setkání se s vodou, což může vést k určité adaptabilitě na stres (Coetzee, 2011).

Se stresem se každý snaží vypořádat jinak, ale všichni autoři se shodují na tom, že stres výrazně ovlivňuje výkonnost sportovce. Po zvládnutí a vyrovnání se se stresovou situací se výkon opět zlepšuje nebo i zvyšuje (Eskofier & Leutheuser, 2013; Garg & Paul, 2012; Rakobowchuk et al., 2013; Soares – Caldeira et al., 2014).

Přetrénování a chronický pracovní stres negativně ovlivňují SF, také VSF v klidu a snižují VSF i přes noc, což může být spojeno s kardiovaskulárním zdravím a nemocemi. Avšak

toto tvrzení se nepodařilo zcela potvrdit při myšlence, že další den, testované čeká stresová situace (seskok padákem). Malý posun ve výsledcích byl, ale nijak průkazný. Výraznější změny nastaly, u skokanů nezkušených, než u zkušených skokanů a došlo také k malému nárůstu stresového hormonu adrenalin, ale i přes to výsledky ukazují, že takto stresová situace, jako je seskok padákem nevyvolává přes noc dostatečnou odezvu při měření VSF. Ale již při seskoku byla výrazná převaha sympatické aktivace (Hynynen et al., 2009).

Tréninkem mohou být produkovány kumulativní účinky spojené se stresem, kdy tyto účinky se odrážejí na aktivaci sympatického oddílu ANS a na změnách v autonomní rovnováze, které mohou být použitím analýzy VSF stanoveny. Tohle zvýšení stresové aktivity se projevuje i na VSF. Ukázala se jako nerovnováha ANS se sníženou vagální modulací, vyšší ukazatele pro stres a zhoršené vnímání zotavení. Příčinou této nerovnováhy byla spíše inhibice aktivity parasymptiku, než stimulace sympatické aktivity (Morales et al., 2014; Whited et al., 2014).

Významný vliv na společenské zvýšené napětí a deformaci moderního způsobu života má míra stresu. Chronický stres, který nás v dnešní době zaplavuje, ovlivňuje všechny tělesné systémy a vytváří různé formy tělesných dysfunkcí. Může způsobovat onemocnění jako je třeba diabetes, hypertenze nebo i onemocnění koronárních tepen. Dlouhodobé účinky stresu vyvolávají změny v ANS, v ose hypotalamus – hypofýza – nadledvinky, kardiovaskulárním a imunitním systému (Pal et al., 2014).

### **3 Cíle a hypotézy**

#### **Hlavní cíl**

Porovnat úroveň aktivity ANS u fotbalistů hrajících první a druhou nejvyšší ligovou soutěž v České republice.

#### **Dílčí cíle**

Porovnat úroveň aktivity vagu mezi dvěma výkonnostními kategoriemi ve stoji a v lehu.

Porovnat úroveň sympatovagové balance mezi dvěma výkonnostními kategoriemi ve stoji a v lehu.

Porovnat úroveň SF mezi dvěma výkonnostními kategoriemi ve stoji a v lehu.

#### **Hypotézy**

H01: Ukazatele aktivity vagu se ve stoji mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

H02: Ukazatele aktivity vagu se v lehu mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

H03: Ukazatele sympatovagové balance se ve stoji mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

H04: Ukazatele sympatovagové balance se v lehu mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

H05: Hodnota SF ve stoji se mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

H06: Hodnota SF v lehu se mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

## **4 Metodika**

### **4.1 Charakteristika souboru**

Do této studie bylo zapojeno celkem 143 fotbalistů, z 1. ligy 94 fotbalistů ve věku 17 až 37 roků, výška  $182 \text{ cm} \pm 8,23$ , hmotnost  $79 \text{ kg} \pm 9,56$ , BMI  $23,85 \pm 1,58 \text{ kg.m}^{-2}$  a ze 2. ligy 49 fotbalistů ve věku 17 až 39 roků, výška  $183 \text{ cm} \pm 7,44$ , hmotnost  $81 \text{ kg} \pm 8,37$ , BMI  $24,19 \pm 1,81 \text{ kg.m}^{-2}$ .

### **4.2 Metodika sběru dat**

#### **4.2.1 Časové a prostorové vymezení**

Ve výzkumu byla zpracována data z vyšetření fotbalistů, získaná v období zimního testování v měsíci lednu roku 2021. Během uvedeného testovacího období nebyly porušeny standardní podmínky a vyšetření všech fotbalistů bylo provedeno na stejných přístrojích. Veškerá měření byla provedena v zátěžových laboratořích Fakulty tělesné kultury, Univerzity Palackého v Olomouci.

#### **4.2.2 Průběh vyšetření**

Před samotným testováním došlo k seznámení probandů s průběhem testování a poučení o vlivech, které by mohly zkreslit výsledky testů. Probandům bylo den před vyšetřením doporučeno, vyhnout se náročnější fyzické a psychické aktivitě, požívání alkoholických nápojů, návykových látek a aby na vyšetření přišli nalačno. Každý fotbalista nejdříve podstoupil základní antropometrické měření (výška, hmotnost a stanovení BMI). Každé měření probíhalo mezi 8. a 10. hodinou ranní, provedením vyšetření aktivity ANS metodou SA VSF.

#### **4.2.3 Vyšetření aktivity ANS**

K vyšetření aktivity ANS jsme využili diagnostický systém VariaCardio TF4 snímající a vyhodnocující SA HRV. Do roku 2012 se aktivita ANS měřila podle metodiky Stejskal a Salinger (1996). Tento způsob obsahoval 3 polohy: leh-stoj-leh. V těchto polohách se setrvalo po dobu 5 minut. Od roku 2013 se přešlo na zkrácenou verzi 60 s leh, 5 min stoj a 5 min leh. Tato metodika se opírá o publikaci Botek, Krejčí, Neuls, a Novotný (2013), kde se autoři věnovali tomu, jestli zkrácení doby setrvání v první poloze ovlivní výsledky spektrální analýzy VSF. Ve zmiňované práci došli autoři k závěru a obě metodiky měření aktivity ANS poskytují srovnatelné výsledky. Ekonomika a časová náročnost vyšetření je rozhodující, pokud

se má zařadit do běžné tréninkové praxe. Botek et al. (2013) došli k závěru, že zkrácení času signifikantně neovlivní výsledky spektrální analýzy ve srovnání s tradičním ortoklinostatickým manévrem.

První leh slouží ke standardizaci výchozích podmínek měření. Stoj zaujímá ortostatickou stimulaci sympatiku a následující leh vyvolává klinostatickou stimulaci vagu. Sportovci je nejdříve na hrudník zapnut vysílač a zkontrolován signál vysílačím modulu systému VariaCardio TF4. Dále je sportovec připoután z důvodu bezpečnosti k trakčnímu lehátku v oblasti pasu a pasivně transportován do lehu. Po uplynutí 30 sekund se spouští snímání EKG záznamu. Po uplynutí 60 sekund v lehu je sportovec pomalu pasivně přetočen do stoje, kde se znovu po 30 s intervalu změří další záznam. Po 5 min intervalu ve stoji je opětovně pasivně přemístěn do polohy leh. Stejně jako u předchozích dvou poloh byl poslední záznam spuštěn po uplynutí 30 sekund. Po ukončení posledních 5 minut jsme nechali ještě sportovce 30 s ležet a pak jsme ho informovali o ukončení testování. Pro lepší uvolnění a relaxaci sportovce mu bylo doporučeno zavřít oči a pustit si relaxační hudbu do sluchátek.

Sledovanými parametry byl spektrální výkon jednotlivých frekvenčních komponent ( $\ln LF$  a  $\ln HF$ ), poměr  $\ln LF/HF$  a parametr  $\ln rMSSD$  (poměr rozdílů čtverců sousedních R-R intervalů), který je považován za hlavní ukazatel VSF. Všechny komponenty se měřily v lehu i stoji. Parametry  $\ln HF$  a  $\ln rMSSD$  jsou ukazatelé vagové aktivity a parametr  $\ln LF/HF$  značí sympatikovagovou rovnováhu (Achten & Jeukendrup, 2003).

#### **4.2.4 Diagnostický systém VariaCardio TF4**

Mikropočítačový diagnostický systém VariaCardio TF4 snímá a analyzuje HRV z krátkodobého EKG záznamu v délce 300 tepů (minimálně 5 minut) (Salinger et al., 1998). Systém umožňuje telemetrický přenos dat definujících velikost R-R intervalů EKG záznamu s přesností na 1 ms. Popisovaný diagnostický systém VariaCardio TF4 (viz Příloha 1) se skládá ze snímací jednotky, telemetrického vysílače a přijímacího modulu. Přijímač je propojen s osobním počítačem přes sériový port COM2 a s příslušným programovým vybavením analyzuje naměřená data. Softwara DBS4 diagnostického systému VariaCardio TF4 umožňuje, jak automatickou, tak i manuální filtraci artefaktů či srdečních arytmií a výpočet parametrů SA HRV (Salinger et al., 1998).

#### **4.2.5 Statistické zpracování dat**

Na zpracování získaných dat byl využit počítačový program MS Excel, kde byla data zpracována a roztríděna a ke statistickému zpracování jsme využili program STATISTICA 12.

Z kompletních výsledků byl vypočítán průměr a směrodatná odchylka. Pro porovnání hodnot posuzovaných parametrů mezi vybranými parametry byl použit T-test s hladinou statistické významnosti  $p < 0,05$ .



## 5 Výsledky

Leh	Věk	SF	Ln(rMSSD)	Ln(PwrLF)	Ln(PwrHF)	Ln(LF/HF)
	[roky]	[tep/min]	[ms]	[ms <sup>2</sup> ]	[ms <sup>2</sup> ]	
1. liga - M	24,7	53	4,33	6,22	7,23	-1,01
1. liga - SD	4,4	8	0,56	1,35	1,10	1,22
2. liga - M	25,72	53	4,35	6,47	7,34	-0,87
2. liga - SD	5	10	0,64	1,05	1,20	1,22
p	0,219	0,806	0,89	0,26	0,58	0,53

**Tabulka 4.**

**Legenda:**

*LnRMSSD - logaritmus druhé mocniny rozdílu čtverců průměrných hodnot délek po sobě následujících RR intervalů*

*LnLF - logaritmus výkonu komponenty nízké frekvence*

*LnHF - logaritmus výkonu komponenty vysoké frekvence*

*LnLF/HF - logaritmus poměru výkonu komponent nízké frekvence a vysoké frekvence*

*SF – srdeční frekvence*

*p – statistická významnost*

Stoj	Věk	SF	Ln(rMSSD)	Ln(PwrLF)	Ln(PwrHF)	Ln(LF/HF)
	[roky]	[tep/min]	[ms]	[ms <sup>2</sup> ]	[ms <sup>2</sup> ]	
1. liga - M	24,7	82	2,97	6,32	4,88	1,45
1. liga - SD	4,4	14	0,69	1,08	1,33	0,9
2. liga - M	25,72	83	2,97	6,39	4,95	1,45
2. liga - SD	5	14	0,76	1,41	1,58	0,99
p	0,219	0,638	0,99	0,72	0,79	0,98

**Tabulka 5.**

**Legenda:**

*LnRMSSD - logaritmus druhé mocniny rozdílu čtverců průměrných hodnot délek po sobě následujících RR intervalů*

*LnLF - logaritmus výkonu komponenty nízké frekvence*

*LnHF - logaritmus výkonu komponenty vysoké frekvence*

*LnLF/HF - logaritmus poměru výkonu komponent nízké frekvence a vysoké frekvence*

*SF – srdeční frekvence*

*p – statistická významnost*

Pro posouzení rozdílu sympatovagové rovnováhy v polohách leh a stoj byly z provedeného měření využity výsledky ukazatele LnLF/HF - logaritmus poměru výkonu komponent nízké frekvence a vysoké frekvence.

Pro posouzení rozdílu aktivity vagu v polohách leh a stoj byly z provedeného měření využity výsledky ukazatelů vagové aktivity, kdy se jedná o LnRMSSD - logaritmus druhé mocniny rozdílu čtverců průměrných hodnot délek po sobě následujících RR intervalů a LnHF - logaritmus výkonu komponenty vysoké frekvence.

Pro posouzení rozdílu hodnoty klidové SF v polohách leh a stoj byly z provedeného měření využity výsledky klidové SF.

Hodnoty sledovaných parametrů nejsou ani ve stoji, ani v lehu mezi kategoriemi významně rozdílné, tudíž můžeme tvrdit, že aktivita ANS se mezi kategoriemi statisticky neliší.

## Vyjádření k hypotézám

**H01:** Ukazatele aktivity vagu ve stoji se mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

Hodnoty ukazatelů aktivity vagu ve stoji nejsou shodné, ale statisticky se od sebe neliší, což ukazuje parametr Ln rMSSD.

Hypotézu **H<sub>01</sub>** přijímám.

**H02:** Ukazatele aktivity vagu v lehu se mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

Hodnoty ukazatelů aktivity vagu v lehu nejsou shodné, ale statisticky se od sebe neliší, což ukazuje dokazuje parametr Ln rMSSD.

Hypotézu **H<sub>02</sub>** přijímám.

**H03:** Ukazatele sympatovagové balance ve stoji se mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

Hodnoty ukazatelů sympatovagové balance Ln LF/HF v různých výkonnostních kategoriích ve stoji jsou shodné a neliší se.

Hypotézu **H<sub>03</sub>** přijímám.

**H04:** Ukazatele sympatovagové balance v lehu se mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

Hodnoty ukazatelů sympatovagové balancene Ln LF/HF v různých výkonnostních kategoriích ve stoji nejsou shodné, ale statisticky se od sebe neliší.

Hypotézu **H<sub>04</sub>** přijímám.

**H<sub>05</sub>**: Hodnota SF ve stoji se mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

Hodnoty SF v lehu v různých výkonnostních kategoriích ve stoji nejsou shodné, ale statisticky se od sebe neliší.

Hypotézu **H<sub>05</sub>** přijímám

**H<sub>06</sub>**: Hodnota SF v lehu se mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

Hodnoty SF v lehu v různých výkonnostních kategoriích ve stoji jsou shodné a neliší se.

Hypotézu **H<sub>06</sub>** přijímám

## 6 Diskuze

SA VSF umožňuje zachytit a kvantitativně vyjádřit regulační vlivy autonomní kardiální regulace. Je to metoda spolehlivá a reprodukovatelná, která citlivě reflektuje nejen aktivitu parasymptiku (vagu), ale i rovnováhu vagu a sympatiku. Principem metodiky je, že ukazatele kardiovaskulárních funkcí oscilují současně v různých rytmech, které mají z fyziologického hlediska odlišný význam (Javorka et al., 2006).

V této práci jsme se zabývali porovnáním ANS u dvou výkonnostních kategorií, konkrétně 1. a 2. ligy. Hlavním zjištěním této diplomové práce je, že z hlediska ANS sledovaného, jak ve stoji, tak v lehu, není mezi výkonnostními kategoriemi prvoligových a druholigových fotbalistů žádný rozdíl, k podobnému výsledku jsme dospěli také z hlediska SF ve stoji a v lehu.

### Porovnání vagové aktivity

ANS jsme sledovali z pohledu aktivity parasymptiku, která koresponduje se změnou aerobní výkonnosti (Botek, Krejčí, & Weisser, 2014; Hautala et al., 2003, Hautala et al., 2009; Hedelin et al., 2001; Vesterinen, Häkkinen, et al., 2016), jestli tento parametr nebude u první výkonnostní kategorie vyšší než u druhé výkonnostní kategorie. Průměrné hodnoty ukazatele rMSSD, reprezentují aktivitu vagu (Buchheit, 2014). V současné době se ukazatel rMSSD často používá pro hodnocení odezvy ANS na tréninkové zatížení (Esco & Flatt, 2015; Nakamura et al., 2015; Plews et al., 2013). Výkon v oblasti HF je ukazatelem vagové modulace SF, (Hayano et al., 1991; Opavský, 2002). Aktivita vagu, která je vyjádřena pomocí komponenty 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).

Pomocí standartních ukazatelů VSF, což bylo HF a časového ukazatele RMSSD, jsme na základě výsledků zjistili, že aktivita vagu se mezi oběma výkonnostními kategoriemi ve stoji ani v lehu neliší.

Mezi faktory, které vyvolávají snížení aktivity vagu a zvýšení aktivity sympatiku patří kvalita spánku a spánková deprivace (Akimaa, Satomurab, & Takasea, 2004; Zhong et al., 2005), konzumace alkoholu (Howes & Ryan, 2002) nebo mentální stres (Spaepen, Taelman, Van Huffel, Vandeput, & Vlemincx, 2011). U profesionálních fotbalistů došlo ke snížení

vagové aktivity ve vztahu k věkové kategorii. U starších hráčů ve věku 25-39 let, došlo k poklesu u HF a podle korelačního koeficientu byla závislost středně vysoká. V dospělém věku, dochází v organismu k mnoha strukturálním i funkčním změnám, nejen na srdci, ale i v příslušných regulačních systémech. Relativní velikost srdce se ve vztahu k hmotnosti nezmění, ale zvyšuje se množství tuku a kolagenu v něm obsažené. Navíc dochází k úbytku buněk v sinoatriálním uzlu a snižuje se metabolismus acetylcholinu. Všechny tyto jevy mohou přímo nebo nepřímo ovlivňovat regulaci činnosti srdce (Javorka, 2008).

### **Porovnání sympatovagové balance**

Javorka (2008) uvádí, že průměrná hodnota Ln LF/HF je považována za ukazatel sympatovagové rovnováhy. Poměr LF/HF je považován za ukazatel sympatovagové rovnováhy znamenající, že při vzestupu jeho hodnoty dochází k přesunu rovnováhy ANS na stranu sympatiku a naopak snížení hodnoty znamená vzrůst aktivity parasympatiku (Salinger & Stejskal, 1996).

Výkon v oblasti nízké frekvence je dán dominantně baroreflexem podmíněnými změnami v sympatické inervaci srdce. Aktivita v oblasti nízké frekvence je však taktéž ovlivněna vagem. Řada autorů se zabývala vlivem stresu na ANS a došli k závěru, že během stresujících okolností je patrné snížení aktivity vagu a posunutí sympatovagové balance na stranu sympatiku. Potvrdili, že se stoupající aktivitou sympatiku během stresu dochází k nárůstu komponenty v oblasti LF a poměru spektrálních výkonů LF/HF naopak dochází k poklesu komponenty v oblasti HF (Bernston & Cacioppo, 2003; Blásquez, Font, & Ortís, 2009; Botek et al., 2011).

Pro porovnání sympatovagové rovnováhy jsme využili ukazatele LF/HF a zjistili jsme, že hodnoty SVB se mezi kategoriemi ani v jedné ze sledovaných poloh neliší.

### **Porovnání klidové srdeční frekvence**

Porovnávali jsme klidovou SF ve stoji a v lehu kdy, hodnoty klidové SF ve stoji byly, u prvoligových fotbalistů 82 tepů za minutu a u druholigových fotbalistů 83 tepů za minutu a hodnoty klidové SF v lehu byly, u prvoligových fotbalistů 53 tepů za minutu a u druholigových fotbalistů 53 tepů za minutu. Z analýzy hodnot SF vyplývá, že se porovnávané hodnoty ve stoji, ani porovnávané hodnoty v lehu se mezi výkonnostními kategoriemi neliší.

Je obecně známo, že sportovci vyšší úrovně se vyznačují snížením klidové SF, což je dáno vyšší úrovní účinnosti kardiovaskulárního systému (Burdukiewicz et al., 2013). Bartůňková (2006) uvádí, že se jedná o ukazatel srdeční činnosti, která u zdravého člověka činí přibližně 70 tepů za minutu. Hodnota klidové SF se v lehu u běžné populace pohybuje v rozmezí 60 až 70 tepů za minutu. Klidovou bradykardii nacházíme u vytrvalostně trénovaných sportovců jako důsledek zvýšeného tonu parasympatické větve ANS (Trojan et al., 2003).

Ganong (2005) uvádí, že klidová SF nespportující populace se pohybuje v rozmezí od 60 do 80 tepů za minutu. Bonaiut et al. (2012) u profesionálních mladých fotbalistů zaznamenali průměrnou klidovou SF  $57.24 \pm 6.21$  tepů za minutu. Prekop (2021) ve své práci provedl porovnání vybraných fyziologických parametrů u dorosteneckých kategorií U16-U18 prvoligového fotbalového týmu, kde uvádí, že klidová SF v lehu u kategorie U16 je  $63 \pm 9,6$  tepů za minutu, u kategorie U17 je  $60 \pm 10,9$  tepů za minutu a u kategorie U18 je  $64 \pm 8,6$  tepů za minutu. Klidová SF ve stoje u kategorie U16 je  $93 \pm 10,2$  tepů za minutu, u kategorie U17 je  $87 \pm 12,9$  tepů za minutu a u kategorie U18 činí  $89 \pm 13,2$  tepů za minutu.

Šišák (2011) provedl studii, ve které ověřoval vztah mezi aktivitou ANS a vybranými fyziologickými parametry u 115 prvoligových fotbalistů, ve věku  $26,15 \pm 9,15$  let. Pro hodnocení aktivity ANS využil hodnocení pomocí tří indexů sdružujících všechny věkově závislé ukazatele získané při ortoklinostatickém vyšetření: komplexní index vagové aktivity (VA), komplexní index sympatovagové balance (SVB) a celkové skóre (CS) SA VSF (Stejskal et al., 2002). Hodnoty komplexního indexu vagové aktivity (VA) se vyskytly u 62 % fotbalistů v pásmu fyziologických hodnot v rozmezí od -2 do +2 bodů, dalších 15 % bylo nad tímto pásmem. Zbývajících 13 % fotbalistů disponovalo velmi nízkou aktivitou vagu. Hodnoty SVB byly podprůměrné u 20 % jedinců a 18 % sportovců dosáhlo nad hranici fyziologických hodnot 2,0 bodů u SVB. Dále měřil také klidovou SF, kdy byly nejnižší hodnoty naměřeny i 40 tepů za minutu s průměrnou hodnotou celého souboru 55 tepů za minutu. Ve své studii nenalezl signifikantní závislosti s mírou VO<sub>2</sub>max ani s dalšími vybranými fyziologickými parametry. Střední závislost našel pouze u klidové tepové frekvence s komplexními indexy VSF.

Podle Šišáka (2011) je aktivita ANS nezávislá na herní pozici nebo na jakékoliv fyzické zdatnosti.

Podle Botka (2007) o rozdílné úrovni aktivity ANS rozhoduje především délka sportovní kariéry, typ a velikost absolvovaného tréninkového zatížení, kvalita regenerace, dosažená sportovní výkonnost, sportovní disciplína a životní styl. Vyšší aktivita ANS může být

důležitá především pro kvantitativně trénované sportovce, např. běžci na lyžích či silniční cyklisti.

Je-li aktivita sympatické a parasympatické větve ANS v rovnováze, lze u takového jedince predikovat pozitivní reakci na zatížení a optimální rozvoj sportovní výkonnosti (Stejskal, 2004).

Podle výsledků práce Šišáka (2011) disponují někteří prvoligoví hráči fotbalu sníženou úrovní aktivity ANS.

Sníženou aktivitu ANS u sportovců si můžeme vysvětlit z několika různých pohledů. Například působením vysoké tréninkové zátěže, společně s nedostatečnou regenerací až přetížením, došlo ke snížení současné aktuální aktivity ANS, která by se měla z dlouhodobého hlediska pohybovat na daleko vyšší úrovni. Dalším možným vysvětlením je nedodržení podmínek probandů při vstupu k vyšetření. Spánková deprivace, fyzická námaha i psychický stres sehrávají při objektivnosti vyšetření důležitou roli. Dalším možným vysvětlením je, že mohou ti to hráči disponovat přirozeně sníženou aktivitou ANS (Botek, 2007).

Ahmadi, Buchheit, & Laursen (2007) a další mají na danou problematiku jiný názor a uvádí, že pravidelným vytrvalostním tréninkem lze postupně ANS systému zvýšit.

Z našeho zjištění vyplývá, že profesionální fotbalisté první a druhé ligy by neměli být, pro samotný výkon ve fotbalovém utkání, posuzováni podle toho, jakou mají aktivitu ANS, neboť v české lize se ukazuje na 143 fotbalistech, že mezi nimi nejsou žádné difference, kdy ten největší rozdíl je v tom, jakými dovednostmi, technicko-taktickou vybaveností a psychickou odolností, každý fotbalista disponuje.

#### Limity studie:

Existují práce autorů, které ukazují na pozitivní vztah mezi  $VO_2\text{max}$  a aktivitou vagu, kdy parametr  $VO_2\text{max}$  nebyl v této studii u zkoumaného vzorku fotbalistů posuzován, což je limitem této studie (Aubert et al., 2003; Miyachi, Onodera, Saitoh, Yoshioka, & Yamamoto, 2001).

Dalším limitem této studie je absence hodnot jednotlivých komponent, tělesný tuk (FM) a tukuprostá hmota (FFM), pro stanovení tělesného složení.



Na fyzickou a motorickou zdatnost jedince mají vliv jak rozměry a stavba těla, tak tělesné složení (Riegerová et al., 2006).

Dvoukomponentový model patří mezi nejzákladnější a nejpoužívanější modely tělesného složení. Rozděluje lidské tělo na FFM a BFM (Jürimäe, & Hills, 2001).

FM patří mezi nejvariabilnější složku hmotnosti lidského těla a představuje hlavní energetickou rezervu v lidském těle (Trojan, 2003). FFM je označována jako heterogenní komponenta. Skládá se z jednotlivých složek, kterými jsou svalová tkáň - 60 %, pojivové a opěrné tkáně - 25 %, zbylých 15 % připadá na vnitřní orgány. Vzájemný poměr těchto jednotlivých složek je dán věkem, pohlavím, pohybovou aktivitou a exogenními i endogenními faktory (Riegerová et al., 2006)

Gába a Přidalová (2013) popisují, že v průběhu stárnutí dochází k nárůstu tukové hmoty FM a poklesu tukuprosté hmoty FFM.

## 7 Závěr

Hlavním cílem bylo porovnat úroveň aktivity ANS u fotbalistů hrajících první a druhou nejvyšší ligovou soutěž.

Porovnáním vagové aktivity u obou výkonnostních kategorií, které bylo provedeno pomocí standartního ukazatele VSF, což bylo HF a časového ukazatele RMSSD, ve stoji a v lehu, kdy bylo zjištěno, že tyto hodnoty se ve stoji, ani v lehu, statisticky neliší. Porovnáním sympatovagové balance u obou výkonnostních kategorií, které bylo provedeno pomocí standartního ukazatele VSF, což bylo LF/HF, ve stoji a v lehu, kdy bylo zjištěno, že tyto hodnoty se ve stoji, ani v lehu, statisticky neliší.

Hodnocení klidové SF bylo provedeno u obou výkonnostních kategorií, porovnáním hodnot, ve stoji a v lehu, kdy bylo zjištěno, že tyto hodnoty se ve stoji, ani v lehu, statisticky neliší.

Z hlediska aktivity ANS sledovaného, jak ve stoji, tak v lehu, není mezi výkonnostními kategoriemi prvoligových a druholigových fotbalistů žádný rozdíl. K stejnému výsledku jsme dospěli také z hlediska SF ve stoji a v lehu. Tedy aktivita ANS se mezi dvěma výkonnostními kategoriemi neliší.

Z našeho zjištění vyplývá závěr, že úroveň výkonnostní kategorie fotbalistů nemá vliv na aktivitu ANS ani na hodnotu SF.

## 8 Souhrn

Diplomová práce obsahuje syntézu poznatků vztahující se k tématu diplomové práce Variabilita srdeční frekvence u fotbalistů různých výkonnostních kategorií, kdy jde především o fotbal a fyziologické nároky na fotbalisty, fyziologické procesy u člověka z odvětví obecná fyziologie i fyziologie zátěže, dále popis použité metodiky a cíle a hypotézy této práce.

Hlavním cílem diplomové práce bylo porovnání úrovně aktivity ANS u fotbalistů hrajících první a druhou nejvyšší ligovou soutěž v České republice. Experimentální soubor tvořilo celkem 134 fotbalistů, z 1. ligy 94 fotbalistů ve věku 17 až 37 roků, výška  $182 \text{ cm} \pm 8,23$ , hmotnost  $79 \text{ kg} \pm 9,56$  a ze 2. ligy 49 fotbalistů ve věku 17 až 39 roků, výška  $183 \text{ cm} \pm 7,44$ , hmotnost  $81 \text{ kg} \pm 8,37$ , kteří podstoupili vyšetření, které se skládalo z vyšetření ANS metodou SA VSF během ortostatického manévru. Z výsledků bylo zjištěno, že aktivita ANS se mezi dvěma výkonnostními kategoriemi neliší.

Dílčím cílem bylo, porovnání úrovně aktivity vagu mezi dvěma výkonnostními kategoriemi ve stoji a v lehu, pomocí standartních ukazatelů VSF, dle časového ukazatele RMSSD, hodnoty ve stoji 2,97 ms (1.liga) a 2,97 ms (2. liga), hodnoty v lehu 4,33 ms (1.liga) a 4,35 ms (2. liga), kdy jsme na základě uvedených výsledků zjistili, že aktivita vagu se mezi oběma výkonnostními kategoriemi ve stoji, ani v lehu, neliší. Dalším dílčím cílem bylo porovnání úrovně sympatovagové balance mezi dvěma výkonnostními kategoriemi ve stoji a v lehu, využitím ukazatele LF/HF, hodnoty ve stoji  $4,88 \text{ ms}^2$  (1.liga) a  $4,95 \text{ ms}^2$  (2. liga), hodnoty v lehu  $7,23 \text{ ms}^2$  (1.liga) a  $7,34 \text{ ms}^2$  (2. liga), kdy jsme na základě uvedených výsledků zjistili, že hodnoty SVB se mezi kategoriemi ani v jedné ze sledovaných poloh neliší. Dalším dílčím cílem bylo porovnání úrovně klidové SF mezi dvěma výkonnostními kategoriemi ve stoji a v lehu pomocí hodnot klidové SF, hodnoty ve stoji 82 tep/min (1.liga) a 83 tep/min (2. liga), ani v lehu 53 tep/min (1.liga) a 53 tep/min (2. liga), z čehož vyplývá, že klidová SF se mezi oběma výkonnostními kategoriemi ve stoji, ani v lehu, neliší.

Všechny stanovené hypotézy H01 – H06 byly přijaty.

## 8 Summary

The diploma thesis contains a synthesis of knowledge related to the topic of the diploma thesis Heart rate variability in footballers of different performance categories, when it is mainly football and physiological demands on footballers, physiological processes in humans from the field of general physiology and exercise physiology, as well as a description of the methodology used and the goals and hypotheses of this work.

The main aim of the diploma thesis was to compare the level of ANS activity for footballers playing the first and second highest league competition in the Czech Republic. The experimental group consisted of a total of 134 footballers, from the 1st league 94 footballers aged 17 to 37 years, height  $182 \text{ cm} \pm 8.23$ , weight  $79 \text{ kg} \pm 9.56$  and from the 2nd league 49 footballers aged 17 to 39 years, height  $183 \text{ cm} \pm 7.44$ , weight  $81 \text{ kg} \pm 8.37$ , who underwent an examination, which consisted of an examination of the ANS method SA VSF during an orthostatic maneuver. The results showed that ANS activity did not differ between the two performance categories.

The partial objective was to compare the level of vagal activity between two performance categories in standing and lying down, using standard VSF indicators, according to the RMSSD time indicator, standing values of 2.97 ms (1st league) and 2.97 ms (2nd league), lying values of 4.33 ms (1st league) and 4.35 ms (2nd league), when we found out based on the results that the vagus activity is between the two performance categories in standing, even in a lying position, no different. Another sub-objective was to compare the level of sympathogate balance between two performance categories in standing and lying down, using the LF/HF indicator, standing values of  $4.88 \text{ ms}^2$  (1st league) and  $4.95 \text{ ms}^2$  (2nd league), lying values of  $7.23 \text{ ms}^2$  (1st league) and  $7.34 \text{ ms}^2$  (2nd league), when we found out based on the above results that the SVB values do not differ between the categories in any of the monitored positions. Another sub-objective was to compare the level of resting SF between two performance categories in standing and lying down using the values of resting SF, standing values of 82 bpm (1st league) and 83 beat/min (2nd league), nor lying down 53 beat/min (1st league) and 53 beat/min (2nd league), which implies that resting SF is between the two performance categories standing, even in a lying position, no different.

All established hypotheses H01 – H06 were accepted.

## Referenční seznam

- Abad, C., Gil, S., Kitamura, K., Kobal, R., Loturco, I., Nakamura, F., & Pereira, L. (2017). Heart rate variability in elite sprinters: Effects of gender and body position. *Clinical Physiology and Functional Imaging*.
- Abt, G., Castagna, C., & D'ottavio, S. (2003). Activity profile of young soccer players during actual match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 775 – 780.
- Akselrod, S., Cohen, R. J., Gordon, D., Madwed, J. B., Shannon, D. C., & Snidman, N. C. (1985). Hemodynamic regulation: investigation by spectral analysis. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*.
- Akselrod, S., Berger, A. C., Cohen, R. J. Gordon, D., Shannon, D. C., & Ubel, F. A. (1981). Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control.
- Al Hazzaa, H. M., Almuzaini, K. S., & Al Refaee, S. A. (2001). Aerobic and anaerobic power characteristics of Saudi elite soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*.
- Alloatti, G., Gaudino, C., Hautier, C., Rogowski, I., & Vigne, G. (2010). Activity profile in elite Italian Soccer Team. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 304–310.
- Armstrong, L., & VanHeest, J. (2002). The unknown mechanism of the overtraining syndrome: clues from depression and psychoneuroimmunology. *Sports Medicine*.
- Atkinson, G., Di Salvo, V., Drust, B., Gregson, W., & Tordoff, P., (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 30(3), 205 – 212.
- Atkinson, G., Drust, B., & Reilly, T. (2007) Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. *Sports Medicine*, 37(9), 783 – 805.
- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*.
- Audiffren, M., Brisswalter, J., Collardeau, M., Goubault, C., & Vercruyssen, F. (2001). Single and choice reaction time during prolonged exercise in trained subjects: Influence of carbohydrate availability. *European Journal of Applied Physiology*, 86(2), 150 – 156.
- Baggish, A. L., & Kovacs, R. (2016). Cardiovascular adaptation in athletes. *Trends Cardiovasc Med*.

- Bailey, S., Dimenna, F., Jones, A., & Wilkerson, D. (2009). Influence of repeated sprint training on pulmonary O<sub>2</sub> uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *Journal Applied Physiology*.
- Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer: with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiology Scandinavia*.
- Bangsbo, J. (1995). Fitness training in football: A Scientific Approach. *Bagsvaerd : HO + Storm*.
- Bangsbo, J., Bencke, J., Kjaer, M., Krstrup, P., Mohr, M., & Steensberg, A. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(6), 1 - 10.
- Bangsbo, J., Ellingsgaard, H., Krstrup, P., & Mohr, M. (2005). Physical demands of elite female soccer game: importance of training status. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(7), 1242 – 1248.
- Bangsbo, J., Gibala, M., González-Alonso, J., Krstrup, P., & Saltin, B. (2002). Enhanced pyruvate dehydrogenase activity does not affect muscle O<sub>2</sub> uptake onset of intense exercise in humans. *American Journal of Physiology*.
- Bangsbo, J., Hellsten, Y., Juel, C., & Saltin, B. (1997). Dissociation between lactate and proton exchange in muscle during intense exercise in man. *Journal of Physiology*.
- Bangsbo, J., Hellsten, Y., & Krstrup, P., (2004). Intense interval training enhances human skeletal muscle oxygen uptake in the initial phase of dynamic exercise at high but not at low intensities. *Journal of Physiology*, 559(1), 335 – 345.
- Bangsbo, J., Iaia, M., & Krstrup, P. (2007). Metabolic response and fatigue in soccer. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.
- Bangsbo, J., Iaia, M., & Krstrup, P. (2008). The yo-yo intermittent recovery test: A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports of Medicine*.
- Bangsbo, J., Iaia, M., & Rampinini, E. (2009). High-Intensity training in football. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4(3), 291 – 306.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., & Mohr, M. (2003). Match performance of high - standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519 – 528.

- Bangsbo, J., Krstrup, P., & Mohr, M. (2005). Fatigue in soccer: A brief review. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 593 – 599.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., & Mohr, M. (2006). Physical and metabolic demands of training and match - play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*.
- Bangsbo, J., Krstrup, P., Mohr, M., Nielsen, J. J., & Nybo, L. (2004). Muscle temperature and sprint performance during soccer matches-beneficial effects of re-warm-up at a half time. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 14(3), 156-162.
- Bangsbo, J., & Mizuno, M. (1988). Morphological and metabolic alternations in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance. In *Science and Football. London/New York: E and FN Spon.*
- Bangsbo, J., Norregaard, L., & Thorsoe, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Applied Sports Sciences*, 16(2).
- Banister, E. W., Blaber, A. P., & Carter, J. B. (2003). The effect of age and gender on heart rate variability after endurance training.
- Barman, S. M., Orer, H. S., & Wehrwein, E. A. (2016). Overview of the anatomy, physiology, and pharmacology of the autonomic nervous system. *Comprehensive Physiology*, 6(3), 1239–1278. doi:10.1002/cphy.c150037
- Barros, R. M. L., et al. (2007). Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine*.
- Bauer, G. (1999). Hrajeme fotbal. *České Budějovice: Kopp.*
- Bernaciková, M., et al. (2017). Regenerace a výživa ve sportu.
- Bernston, G. G., & Cacioppo, J. T. (2003). Heart rate variability: Stress and psychiatric conditions. *Dynamic Electrocardiography*.
- Betlachová, M., Opavský, J., Uhlíř, P., & Zaatari, A. (2010). Spectral analysis of heart rate variability in patients with spinal cord injury. *Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 40(2), 55 – 62.
- Billman, G. E. (2011). Heart rate variability - a historical perspective. *Front Physiol*.
- Bjerle, P., Hedelin, R., Henriksson-Larsén, K., & Wiklund, U. (2000). Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Med Sci Sports Exerc*, 32, 1531-1533.

- Blásquez, C., Font, G., & Ortís, L. (2009). Heart rate variability and precompetitive anxiety in swimmers. *Psicothema*.
- Blair, S. N., Haskell, W. L., & Hill, J. O. (2009). Physical activity: Health outcomes and importance for public health policy. *Preventive Medicine* 49(4), 280–282.
- Blannin, A. K., Castell, L. M., Gleeson, M., Robson, P. J., & Walsh, N. P. (1999). Effects of exercise intensity, duration and recovery on in vitro neutrophil function in male athletes. *Int J Sports Med*, 20, 128-135.
- Bloomfield, J., O'donoghue, & P., Polman, R. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(1), 63 – 70.
- Bosquet, L., Léger, L., Legros, P., & Papelier, Y. (2003). Night heart rate variability during overtraining in male endurance athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 43, 506-512.
- Boullosa, D. A., Del Rosso, S., & Nakamura, F. Y. (2016). Heart rate recovery after aerobic and anaerobic tests: Is there an influence of anaerobic speed reserve? *Journal of Sports Science*, 28, 1–8.
- Boullosa, D. A., Dominguez, E., Leicht, A. S., Muñoz, V. E., & Nakamura, F. Y. (2013). Cardiac autonomic adaptations in elite Spanish soccer players during preseason. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(4), 400–409.
- Boullosa, D. A., Leicht, A. S., & Tuimil, J. L. (2012). Impact of a soccer match on the cardiac autonomic control of referees. *European Journal of Applied Physiology*, 112(6), 2233–2242. doi:10.1007/s00421-011-2202-y
- Boullosa, D. A., del Rosso, S., Leicht, A. S., & Nakamura, F. Y. (2014, Nov). Reliability of heart rate measures during walking before and after running maximal efforts. *International Journal of Sports Medicine*, 35(12), 999–1005. doi:10.1055/s-0034-1372637
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise: Measurements and implications for monitoring training status. *Sports Medicine*, 38(8), 633–646. doi:10.2165/00007256-200838080-00002
- Bosner, M. S., Conger, B. M., Kleiger, R. E., & Stein, P. K. (1994). Heart rate variability: a measure of cardiac autonomic tone. *Am Heart J*, 127(5), 1376–1381.



- Botek, M., Krejčí, J., & McKune, A. J. (2017). Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: historie, současnost, perspektiva.
- Bouhaddi, M., Mourot, L., Perrey, S., Regnard, J., & Rouillon, J. D. (2004). Quantitative Poincaré plot analysis of heart rate variability: Effect of endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, *91*(1), 79–87.
- Bradley, P. S., et al. (2011). The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, *29*(8), 821 – 830.
- Bradley, P., Krustup, P., Olsen, P., Sheldon, W., & Wooster, B. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, *27*(2), 159 – 168.
- Brooks, G. A., Gohil, K., Packer, L., Stanley, W. C., & Viguie, C. (1988). Blood glutathione oxidation during human exercise. *J Appl Physiol*, *64*, 115-119.
- Buchheit, M., Kilding, A. E., Laursen, P. B., Plews, D. J., & Stanley, J. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, *43*, 773–781. doi:10.1007/s40279-013-0071-8
- Buzek, M. et al. (2007). Trenér fotbalu „A“ UEFA licence. *Praha: Olympia.*
- Cacek, J. & Grasgruber, P. (2008). Sportovní geny. *Brno: Computer Press.*
- Capranica, L., Figura, F., Guidetti, L., & Tessitore, A., (2011). Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *Journal of Sports Sciences*, *19*(6), 379 –84.
- Carling, Ch. (2011). Influence of opposition team formation on physical and skill-related performance in a professional soccer team. *European Journal of Sport Science*, *11*(3), 155 – 164.
- Carling, Ch., Espié, V., Jullien, H., & Le Gall, F. (2010). Work-rate of substitutes in elite soccer: A preliminary study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *13*(2), 253 – 255.
- Carlsson, J. S., Jones, C. J., McInnes, S. E., & McKenna, M. J. (1995). The physiological load imposed on basketball players during competition. *Journal of Sports Sciences*, *13*(1), 387 – 397.
- Carter, J. E. L., Drust, B., Martin, A., Reilly, T., & Rienzi, E., (1998). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal Sports of Medicine and Physical Fitness*, *40*(2), 162 – 169.

- Casajus, J. A. (2011). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41(4), 463 – 469.
- Cassirame, J., Duc, S., Durand, F., Fabre, N., Mourot, L., & Tordi, N. (2014). Heart rate variability to assess ventilatory threshold in ski-mountaineering. *Eur J Sport Sci*, 17, 1-8.
- Castagna, C., Coutss, A. J., Impellizzeri, F., Rampinini, E., & Sassi, R. (2007). Variation in top level soccer match performance. *International Journal of Sports Medicine*, 28(12), 1018 – 1024.
- Castagna, C., Coutss, A. J., Impellizzeri, F., Rampinini, E., & Wisloff, U. (2009). Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league: effect of fatigue and competitive level. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12(1), 227 – 233.
- Cicek, S., Emre, A. K., Korkusuz, F., & Yildirim, A. (2009). Physiological profiles of soccer players with respect to playing positions. In *Science and Football VI: The Proceedings of the Sixth World Congress on Science and Football*. London: Routledge, 370 - 373.
- Cottin, F., Escourrou, P., & Papelier, Y. (1999). Effects of exercise load and breathing frequency on heart rate and blood pressure variability during dynamic exercise. *Int J Sports Med*, 20, 232-238.
- Dawson, B., Fitzsimmons, M., Ward, D., & Wilkinson, A. (1993). Cycling and running tests of repeated sprint ability. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport*, 25(4), 82 – 87.
- Dekker, J. M., et al. (2000). Low heart rate variability in a 2-minute rhythm strip predicts risk of coronary heart disease and mortality from several causes: the ARIC study. *Circulation*; 102, 1239-1244.
- Desmarets, M., Fouillot, J. P., Mauny, F., Millet, G., Mourot, L., Regnard, J., & Schmitt, L. (2013). Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLoS One*, 8(8). doi:10.1371/journal.pone.0071588
- Di Salvo, V., & Pigozzi, F. (1998) Physical training of football players based on their positional roles in the team. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 38(4), 294-297.
- Dickhuth, H. H., Foster, C., Gastmann, U., & Lehmann, M. (1998). Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome. *Med Sci Sports Exerc*, 30, 1140-1145.
- Dokládál, M., & Páč, L. (2000). Anatomie člověka. Brno: Masarykova univerzita.

- Dong, J. G. (2016). The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 11(5), 1531–1536.
- Doran, D., Reilly, T., & Strudwick, A. (2002). Anthropometric and fitness profiles of elite players in two football codes. *Journal Sports of Medicine and Physical Fitness*, 42(2), 239 – 242.
- Doust, J. H., Maxwell, N. S., & Wragg, C. B. (2000). Evaluation of the reliability and validity of a soccer-specific field test of repeated sprint ability. *European Journal of Applied Physiology*, 83(1), 77-83.
- Draper, N., Giles, D., & Neil, W. (2016). Validity of the polar V800 heart rate monitor to measure RR intervals at rest. *European Journal of Applied Physiology*, 116(3), 563–571. doi:10.1007/s00421-015-3303-9.
- Drust, B., Reilly, T., & Rienzi, E. (1998). Analysis of work rate in soccer. *Sports Exercise and Injury*, 4(4), 151 – 155.
- Dvorak, J., Meeusen, R., & Watson, P. (2006). The brain and fatigue: New opportunities for nutritional interventions? *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 773 – 782.
- Dylevský, I. (2009). Funkční anatomie. *Praha: Grada Publishing*.
- Earnest, C. P., et al. (2004). Relation between physical exertion and heart rate variability characteristics in professional cyclists during the Tour of Spain. *Br J Sports Med*, 38, 568-575.
- Eckman, P., Liu, Y., & Vian, K. (1988). *The Essential Book of Traditional Chinese Medicine: Theory*. New York: Columbia University Press.
- Edwards, R. H. (1983). Biochemical bases of fatigue in exercise performance. In *Biochemistry of Exercise*. Champaign IL: Human Kinetics Books, 3 – 28.
- Ekblom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine*, 3(1), 50 – 60.
- Elfmark, M., Kalina, M., Řehová, I., Salinger, J., Stejskal, P., & Šlachta, R., (2002). Age and spectral analysis of heart rate variability. *Acta Univ Palacki Olomouc Gymn*, 32(1), 59–67.
- Elišková, M., & Naňka, O. (2009). Přehled anatomie (2nd ed.). *Praha: Galén; Karolinum*.
- Engemannová, J., Kvapilová, I. & Rosenfeld, R. (1992). 888 otázek a odpovědí z fyziologie. *Olomouc: [s.n.]*.
- Engen, L. C., Helgerud, J., Hoff, J., & Wisloff, U. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, roč. 33(11), 1925 – 1931.

- Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal Applied Physiology*, 72(5), 1631 – 1648.
- Fajfer, Z. (2005). *Trenér fotbalu mládeže (6-15 let)*. Praha: Olympia.
- Fouillot, J. P., Hellard, P., Millet, G. P., Richalet, J. P., Roels, B., & Schmitt, L. (2006). Heart rate variability and performance at two different altitudes in well-trained swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 27, 226–231.
- Ferrari, B. D., et al. (2008). Sprint vs. interval training in football. *International Journal of Sports Medicine*, 29(8), 668 – 674.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Galén.
- Garatachea, N., et al. (2011). Biological and psychological monitoring of training status during an entire season in top kayakers. *J Sports Med Phy Fitness*; 51, 339-346.
- Gil, S. M., Gil, J., Irazusta, A., Irazusta, J., & Ruiz, F. (2007). Physiological and anthropometric characteristics of young soccer players according to their playing position: relevance for the selection process. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(2), 438-445.
- Gilliam, F. R., et al. (2007). Changes in heart rate variability, quality of life, and activity in cardiac resynchronization therapy patients: results of the HF-HRV registry. *Pacing Clin Electrophysiol*, 30, 56-64.
- Gilliam, F. R., Chase, K. J., McGuire, M., Mullin, C. M., & Singh, J. P. (2007). Prognostic value of heart rate variability footprint and standard deviation of average 5-minute intrinsic R-R intervals for mortality in cardiac resynchronization therapy patients. *J Electrocardiol*, 40, 336-342.
- Goldberger, J. J., Kadish, A. H., Kannankeril, P. J., & Le, F. K. (2004). Parasympathetic effects on heart rate recovery after exercise. *J Investig Med*, 52,394-401.
- Gran, A., Helgerud, J., & Hoff, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(5), 288 – 295.
- Guyton, A. C. (1991). *Basic neuroscience: anatomy & physiology*. United States of America: Saunders.
- Guyton, A. C., & Hall, J. E. (2000). *Textbook of Medical Physiology (10th ed.)*. Philadelphia: W. B. Sounder company.

- Hakkinen, K., Hynynen, E., Laine, T., Mikkola, J., Nummela, A. & Vesterinen, V., (2015). Predictors of individual adaptation to high-volume or high-intensity endurance training in recreational endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 26(8), 885–893. doi:10.1111/sms.12530
- Halada, J., & Horák, J. (1992). Fotbalové kluby světa: Znaky, klubové dresy, fakta, zajímavosti a adresy. *Praha: Lidové nakladatelství*.
- Hamar, D., & Lipková, J. (2001). Fyziológia telesných cvičení. *Bratislava: UK*.
- Havlíčková, L., et al. (2004). Fyziologie tělesné zátěže I, obecná část. *Praha: Univerzita Karlova*.
- Hayano, J., et al. (1991). Accuracy of assessment of cardiac vagal tone by heart rate variability in normal subjects. *Am J Cardiol*.
- Helgerud, J., Hoff, J., & Wisloff, U., (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(3), 462 – 467.
- Helgerud, J., Ingjer, F., & Stromme, S. B. (1990). Sex differences in performance – matched marathon runners. *European Journal of Applied Physiology*, 61(5), 433 – 439.
- Ho, K. K., et al. (1997). Predicting survival in heart failure case and control subjects by use of fully automated methods for deriving nonlinear and conventional indices of heart rate dynamics. *Circulation*, 96, 842-848.
- Helgerud, J., & Hoff, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: Physiological considerations. *Sports Medicine*, 34(3), 165 – 180.
- Helgerud, J., Hoff, J., & Wisloff, U. (2002). Endurance training into the next millennium: Muscular strength training effects on aerobic endurance performance. *American Journal of Medicine and Sports*, 4(1), 58 – 67.
- Hosová, J., et al. (2001). Normální hodnoty parametrů spektrální analýzy variability srdeční frekvence v závislosti na věku vhodné pro klinické hodnocení autonomní neuropatie u nemocných s diabetem. *DMEV 2001*, 4, 103–110.
- Hoyer, D. (2009). Impact and analysis of heart rate variability. *Das Neurophysiologie-Labor*; 31, 158-171.
- Howorka, K., Pumpřla, J., & Sovová, E. (2014). Variabilita srdeční frekvence: Využití v interní praxi se zaměřením na metabolický syndrom. *Interní Med.*, 16(5), 205-208.

- Hynynen, E., Kaikkonen, P., Mann, T., Nummela, A., & Rusko, H. (2010). Can HRV be used to evaluate training load in constant load exercises? *Eur J App Physiol*, *108*, 435-442.
- Hynynen, E., Kaikkonen, P., Mann, T., Nummela, A., & Rusko, H. (2012). Heart rate variability is related to training load variables in interval running exercises. *Eur J App Physiol*, *112*, 829-838.
- Chalencon, S., et al. (2015). Modeling of performance and ANS activity for predicting future responses to training. *Eur J App Physiol*, *115*, 589-596.
- Impellizzeri, F., et al. (2006). Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, *27*(6), 483 – 492.
- Javorka, K., et al. (2008). Variabilita frekvencie srdca. *Martin: Osveta*.
- Jürimäe, T., & Hills, A. (2001). Body Composition Assessment in Children and Adolescents. *Med Sport Sci. Basel*, *44*(2), 1–13.
- Kazuma, N., Matsuoka, I., Otsuka, K., Shirase, E. & Wakamatsu, K. (2002). Heart rate variability in normotensive healthy children with aging. *Clinical and Experimental Hypertension*, *24*(1-2), 83–89.
- Kelly, L. Maricic, Z., Wasolewski, S., & Withers, R. T., (1982) Match analysis of Australian professional soccer players. *Journal of Human Movement Studies*, *8*, 159 – 176.
- Kirkendall, D. T. (2013). Fotbalový trénink: rozvoj síly, rychlosti a obratnosti na anatomických základech. *Praha: Grada Publishing a. s.*
- Kittnar, O., Langmeier, M., Marešová, D., & Pokorný, J. (2009). Základy lékařské fyziologie. *Praha: Grada Publishing*.
- Krahulec, B., Kučera, P., Mazárová, V., Vozár, J., & Žúži, M. (1999). Diabetická polyneuropatia. Súčasný diagnostický a terapeutický možnosti. *Bratislava: Lufema*.
- Kreher, J. B., & Schwartz, J. B. (2012). Overtraining syndrome: a practical guide. *Sports Health*, *4*, 128-138.
- Krustrup, P., et al. (2003). The yo-yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability and validity. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, *35*(4), 697 – 705.
- Lane, A., Odetoyinbo, K., & Wooster, B. (2008). The effect of a succession of matches on the activity profiles of professional soccer players. In *Science and football VI*. Abingdon: UK, 105 – 111.

- Leveritt, M., & Ross, A. (2001). Long-term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training: implications for sprint training and tapering. *Sports Medicine*, 31(15), 1063 – 1082.
- Máček, M., & Vávra, J. (1980). Fysiologie a patofysiologie tělesné zátěže. *Praha: Avicenum*.
- Makivic, B., Marina, D. N., & Monte, S. W. (2013). Heart rate variability (HRV) as a tool for diagnostic and monitoring performance in sport and physical activities. *JEPonline*, 16, 103-131.
- Mallatt, J., & Marieb, E. N. (2005). Anatomie lidského těla (T. Jurečka, Trans.). *Brno: CP Books*. (McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (2001). Exercise physiology: energy, nutrition and human performance. 5th edition. *Williams & Williams, Baltimore*.
- Malliani, A., Lombardi, F. & Pagani, M. (1994). Physiology and clinical implications of variability of cardiovascular parameters with focus on heart rate and blood pressure. *Am J Cardiol*.
- Michele, R. D., et al. (2012). Estimation of the anaerobic threshold from heart rate variability in an incremental swimming test. *J Strength Cond Res*, 26, 3059-3066.
- Montano, N., et al. (1994). Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt. *Circulation*, 90(4), 1826–1831.
- Mourek, J. (2012). Fyziologie – učebnice pro studenty zdravotnických oborů 2., doplněné vydání. *Praha: Grada*.
- Mourot, L., et al. (2004). Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clin Physiol Funct Imaging*, 24, 8-10.
- Nakamura, F. Y., et al. (2015). Ultra-short-term heart rate variability is sensitive to training effects in team sports players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(3), 602–605.
- Neubauer, O., & Wagner, K. H. (2008). Recovery after an Ironman triathlon: sustained inflammatory responses and muscular stress. *Eur J App Physiol*, 104, 417-426.
- Nolan, J., et al. (1998). Prospective study of heart rate variability and mortality in chronic heart failure: results of the United Kingdom heart failure evaluation and assessment of risk trial (UK-heart). *Circulation*, 98, 1510-1516.

- Omerbegovic, M. (2009). Heart Rate Variability – Noninvasive Monitoring of Autonomic Nervous System Function. *Acta Informatica Medica*, 17(1), 53-58.
- Opavský, J. (2002). Autonomní nervový systém a diabetická autonomní neuropatie. *Praha: Galén*.
- Opavský, J. (2004). Metody vyšetřování autonomního nervového systému a spektrální analýza variability srdeční frekvence v klinické praxi. In Salinger (Ed.), IV. Odborný seminář s mezinárodní účastí Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi – Sborník článků a abstrakt. *Olomouc: Univerzita Palackého*, 146.
- Orendurff, M. S., et al. (2010). Intensity and duration of intermittent exercise and recovery during a soccer match. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2683- 2692.
- Papelier, Y., Pichon, A. P., & Roulaud, M. (2004). Spectral analysis of heart rate variability during exercise in trained subjects. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 1702-1708.
- Perini, R., et al. (1993). Body position affects the power spectrum of heart rate variability during dynamic exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 66(3), 207–213.
- Petrovický, P. (2002). Anatomie s topografií a klinickými aplikacemi. *Martin: Osveta*.
- Poli, A., et al. (2013). Moderate alcohol use and health: a consensus document. *Nutrition, Metabolism & Cardiovascular Diseases*, 23(6), 487–504.
- Porkka-Heiskanen, T., Wigren, H. K., & Zitting, K. M. (2013). Sleep, its regulation and possible mechanisms of sleep disturbances. *Acta Physiologica (Oxf)*, 208(4), 311–328.
- Přidalová, M., & Riegerová, J. (2009). Funkční anatomie II. *Olomouc: Hanex*.
- Rakobowchuk, M., et al. (2009). Effect of acute sprint interval exercise on central and peripheral artery distensibility in young healthy males. *European Journal of Applied Physiology*, 105(5), 787 – 795.
- Reilly, T. (1990). Football. In *Physiology of sports*. London: E & FN Spon, 371 – 426.
- Reilly, T. (1997). Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 143-144.
- Reilly, T., & Thomas, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of Human Movement Studies*, 2, 87 – 97.



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

Rusko, H. K., Uusitalo, A. J., & Uusitalo, A. L. (2000). Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *Int J Sports Med*, 21, 45-53.

Simões, R. P., et al. (2010). Heart-rate variability and blood-lactate threshold interaction during progressive resistance exercise in healthy older men. *J Strength Cond Res*, 24, 1313-1320.

Smaros, G. (1980). Energy usage during a football match. In Proceedings of the 1 st International Congress on Sports Medicine Applied to football. *Roma: Vecchiet L*, 795 – 801.

Salinger, J., & Stejskal, P. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 5(2), 33-42.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *European Heart Journal*, 17, 354–381.

Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93(5), 1043–1065.

Tealman, J., Vandeput, S., & Van Huffel, S. (2008). Influence of mental stress on heart rate and heart rate variability. *International Federation for Medical & Biological Engineering*.

Tian, Y., et al. (2013). Heart rate variability threshold values for early-warning nonfunctional overreaching in elite female wrestlers. *J Strength Cond Res*, 27, 1511-1519.

Tomlin, D. L., & Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity exercise. *Sports Medicine*, 31(1), 1 – 11.

Trojan, S., et al. (2003). Lékařská fyziologie (4th ed.). *Praha: Grada*.

Tumilty, D. (1993). Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Medicine*, 16(2), 80 -96.

Votík, J. (2005). Trenér fotbalu" B" UEFA licence:(učební texty pro vzdělávání fotbalových trenérů). *Praha: Olympia ve spolupráci s Českomoravským fotbalovým svazem*.

Wang, X., et al. (2009). Genetic influences on heart rate variability at rest and during stress. *Psychophysiology*, 46, 458 – 465. doi: 10.1111/j.14698986.2009.00793

Weisser, R. (2013). Fotbalový trénink dětí. *Olomuc: Univerzita Palackého v Olomouci*.

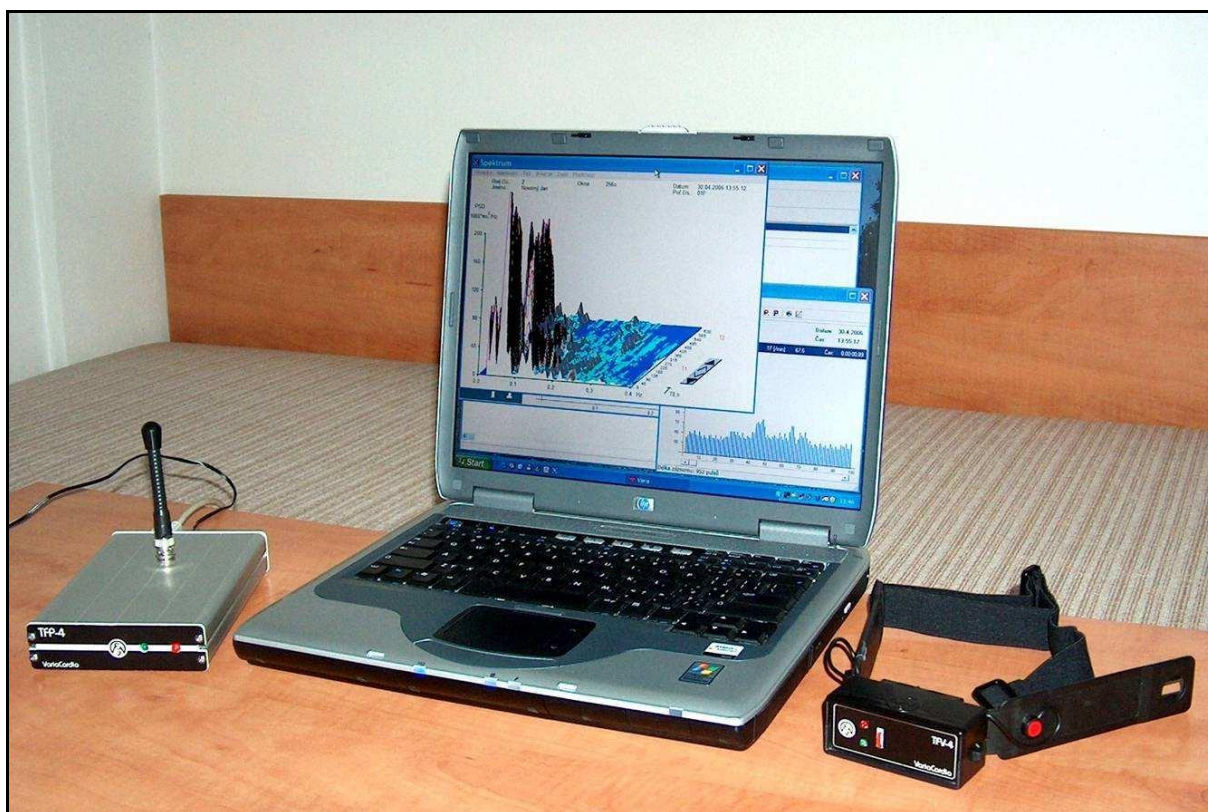
World Health Organization (2012). The European Health Report 2012 – Charting the way to well-being.

Young, W. B., et al. (2005). Physiological and anthropometric characteristics of starters and non-starters and playing positions in elite Australian Rules football: a case study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 8(3), 333 – 345.

## Přílohy

### Příloha 1

Mikropočítačový měřicí systém VariaCardio TF4.



### Příloha 2

Ortoklinostatický manévr.

