

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



VZTAH MEZI AKTIVITOU AUTONOMNÍHO NERVOVÉHO
SYSTÉMU A VYBRANÝMI FYZIOLOGICKÝMI PARAMETRY
U PRVOLIGOVÝCH FOTBALISTŮ

Diplomová práce

Autor: Vlastimil Šišák

Fakulta tělesné kultury Univerzity Palackého v Olomouci

Školitel: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Olomouc 2011

Jméno a příjmení autora: Vlastimil Šišák

Název diplomové práce: Vztah mezi aktivitou autonomního nervového systému a vybranými fyziologickými parametry u prvoligových fotbalistů.

Pracoviště: Centrum kinantropologického výzkumu

Školitel: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Rok obhajoby diplomové práce: 2011

Abstrakt:

Výsledkem adaptace sportovců na vytrvalostní trénink je zvýšení celkové variability srdeční frekvence, nárůst tenze parasymptiku, snížení klidové srdeční frekvence a zlepšení aerobní zdatnosti. Existují studie nalézající vztah mezi aktivitou vagu a aerobní zdatností u vytrvalostně zaměřených sportovců.

Kořenem práce bylo ověřit vztah mezi aktivitou autonomního nervového systému (ANS) a vybranými fyziologickými parametry sportovců. Experimentální soubor tvořilo celkem 115 prvoligových fotbalistů, ve věku $26,15 \pm 9,15$ let. Všichni sportovci podstoupili vstupní antropometrické vyšetření, měření spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SAHRV) při ortoklinostatickém manévru a maximální zátěžový test do „vita maxima“. Aktivita ANS byla snímána neinvazivní metodou SAHRV a vyhodnocena komplexními indexy CS, VA, SVB (Stejskal, Šlachta, Elfmark, Salinger, & Gaul-Alačová, 2002). Součástí studie je zhodnocení fyziologických a antropometrických parametrů českých prvoligových fotbalistů.

Klíčová slova:

Spektrální analýza variability srdeční frekvence, testování fotbalistů, aktivita vagu a sympatiku, aerobní kapacita

Souhlasím s půjčováním diplomové práce v rámci knihovních služeb.

Author's first name and surname: Vlastimil Šišák

Title of the doctoral thesis: Relationship of the autonomic nervous system activity to chosen physiologic parameters in first league football players

Department: Department of Functional Anthropology and Physiology

Supervisor: PhDr. Michal Botek, Ph.D.

Year of presentation: 2011

Abstract:

The result of sportsmen adaptation to endurance training is the increase in complex heart rate variability, parasympathetic nerve tension increase, decrease in steady state heart rate and enhanced aerobic ability. There are some studies that find a certain relationship between vagal activity and aerobic ability in sportsmen concerned in endurance sports.

The main aim of this thesis was to verify the relationship between autonomic nerve system activity (ANS) and chosen physiologic parameters of sportsmen. The population consisted of 115 first league footballers, ranging in age $26,15 \pm 9,15$ years. All the sportsmen underwent entering anthropometric checkup, measurement of spectral analysis of heart rate variability (SAHRV) with the use of orthoclinostatic manoeuvre and maximal charge test. ANS activity was monitored with the use of non-invasive method of SAHRV and evaluated through complex indices CS, VA, SVB (Stejskal, Šlachta, Elfmark, Salinger, & Gaul-Alačová, 2002). Part of the study is also evaluation of physiologic and anthropometric parameters of Czech first league footballers.

Keywords:

Spectral analysis of heart rate variability, testing soccer players, sympathetic and vagal activity, aerobic capacity

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

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

V Olomouci dne 1. 1. 2011.

.....

Děkuji PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za jeho vedení a odborný dohled. Dále děkuji všem sportovcům, kteří se na výzkumu podíleli jako probandi. Nutné je poděkovat přítelkyni za trpělivost a pochopení při tvorbě diplomové práce.

OBSAH

Seznam vybraných zkratk	7
1 ÚVOD	8
2 SYNTÉZA POZNATKŮ	10
2.1 Fyziologie fotbalu	10
2.1.1 Fyziologický a antropometrický profil hráče	11
2.1.2 Výběr talentů	12
2.2 Autonomní nervový systém	13
2.2.1 Periferní část ANS	13
2.2.2 Centrální část ANS	15
2.3 Řízení srdeční frekvence	16
2.3.1 Nervová regulace srdce	16
2.3.2 Humorální regulace srdce	16
2.4 Variabilita srdeční frekvence	18
2.4.1 Spektrální analýza variability srdeční frekvence	19
2.4.2 Hlavní spektrální komponenty SAHRV	19
2.4.3 Faktory modifikující HRV	21
2.4.3.1 Reflexní ovlivnění HRV a vliv respirace	21
2.4.3.2 Věk, pohlaví, genetik	23
2.4.3.3 Vnější faktory	24
2.4.4 HRV a sportovní trénink	25
2.4.4.1 Využití metody SA HRV ve sportovním tréninku	26
2.4.4.2 HRV a zotavení	27
2.5 Aerobní zdatnost a maximální spotřeba kyslíku	28
2.5.1 Měření VO_2max	29
2.5.2 Faktory ovlivňující hodnotu VO_2max	30
2.5.3 VO_2max a laktátový práh	32
2.6 Kardiorespirační adaptace na sportovní trénink	34
2.6.1 Adaptace kardiovaskulární soustavy	35
2.6.2 Adaptace respirační soustavy	37
3 CÍLE A HYPOTÉZY	38
4 METODIKA	39
4.1 Metodologický přístup	39

4.2 Charakteristika souboru	39
4.3 Metodika sběru dat	40
4.3.1 Časové vymezení	40
4.3.2 Prostorové vymezení.....	40
4.3.3 Vyšetření aktivity ANS	40
4.3.3.1 Diagnostický systém VariaCardio TF4	41
4.3.3.2 Výpočet parametrů SAHRV	41
4.3.3.3 Komplexní věkově standardizované ukazatele HRV	42
4.3.4. Test do „vita maxima“	44
4.4 Statistické zpracování dat.....	45
5 VÝSLEDKY	46
5.1 Základní antropometrické míry	46
5.2 Výsledky vyšetření aktivity ANS	46
5.3 Výsledky zátěžových vyšetření	47
5.4 Výsledky podle herních postů.....	48
5.5 Vztah mezi komplexními indexy HRV a fyziologickými parametry.....	50
5.5.1 Vyjádření k hypotézám	51
6 DISKUZE	52
6.1 Antropometrické a fyziologické parametry elitních fotbalistů	52
6.2 Úroveň aktivity ANS u fotbalistů	55
6.3 Využití metody SA HRV ve fotbale.....	58
6.4 Aktivita ANS a kardiorespirační zdatnost.....	61
6.5 Limity studie	63
7 ZÁVĚRY	64
8 SOUHRN	65
9 SUMMARY	66
10 REFERENČNÍ SEZNAM	67
11 SEZNAM PŘÍLOH	82

Seznam vybraných zkratek

ANS	autonomní nervový systém
CS	komplexní věkově standardizovaný ukazatel celkového skóre
EKG	elektrokardiogram
HF	vysoká frekvence (high frequency)
HRV	variabilita srdeční frekvence (heart rate variability)
FFT	metoda rychlé Fourierovy transformace (fast Fourier transformation)
LF	nízká frekvence (low frequency)
M	aritmetický průměr (mean)
MSSD	průměr čtverců rozdílů sousedních R–R intervalů
P _T	celkový spektrální výkon
P _{VLF} , P _{LF} , P _{HF}	spektrální výkony komponent VLF, LF, HF
R–R	průměrná hodnota všech R–R intervalů v měřeném časovém úseku
SA	spektrální analýza
SD	směrodatná odchylka (standard deviation)
SVB	komplexní věkově standardizovaný ukazatel sympatovagové balance
TF _{max}	maximální tepová frekvence
TF _{klid}	klidová tepová frekvence
ULF	ultra nízká frekvence (ultra low frequency)
VA	komplexní věkově standardizovaný ukazatel vagové aktivity
VLF	velmi nízká frekvence (very low frequency)
% VLF, %LF, %HF	relativní spektrální výkony komponent VLF, LF, HF
VLF/HF, LF/HF, VLF/LF	poměry spektrálních výkonů jednotlivých komponent
VO ₂ max	maximální spotřeba kyslíku
Wmax	maximální výkon

1 ÚVOD

Sám název vám napověděl, o čem předkládaná práce bude hovořit. Ale zároveň ve vás jistě vzbudil určité otázky. Proč a jaký smysl má nalézt vztah mezi autonomním nervovým systémem a fyziologickými parametry? A jakým způsobem toho chce autor dosáhnout? Pojd'te se tedy se mnou podrobněji podívat na strukturu a podstatu této studie.

Autonomní nervový systém (ANS) je hodnocen metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence (SAHRV) a fyziologické parametry získány z maximálního zátěžového testu. SAHRV je jednou z nejmodernějších metod používaných při sledování změn srdeční frekvence. Tato metoda dovoluje nejen pozorovat, ale i kvantifikovat aktivitu ANS (Stejskal & Salinger, 1996). Snímání variability srdeční frekvence (HRV) využívá nepřeberné množství studií v kardiologii, chirurgii, fyziologii práce, sportovní medicíně a experimentální fyziologii. Díky tomu byly získány významné poznatky umožňující nejen stanovení vegetativní rovnováhy, ale i vyhodnocování nesespecifických adaptačních reakcí (Fráňa et al., 2005; Rajendra Acharya et al., 2006).

Využití SAHRV v klinické praxi je významné při diagnostice srdečních a neurologických onemocnění, autonomní diabetické neuropatie a při posouzení rizika náhlé srdeční smrti (Stejskal & Salinger, 1996; Souček et al., 2005). V zátěžové a sportovní medicíně se používá tato metoda k diagnostice trénovanosti, přetížení či přetrénování organismu (Baumert et al., 2006) a pro optimalizaci řízení tréninkového procesu (Botek, 2007; Botek, Stejskal, & Jakubec, 2006; Stejskal, 2002).

Při používání metody SAHRV je důležité porozumět interakcím mezi kardiopulmonální soustavou, aktivitu ANS a pohybovou aktivitou. Spolupráci oborů lékařské a sportovní medicíny se budu snažit nalézt vztah mezi úrovní aktivity ANS a fyzickou zdatností organismu sportovce. Hlavním cílem práce je zjistit, do jaké míry budou spolu korelovat aktivita ANS posuzovaná komplexními indexy SAHRV (Stejskal, Šlachta, Elfmark, Salinger, & Gaul-Alačová, 2002) a hodnoty maximální spotřeby kyslíku (VO_2max) u prvoligových fotbalistů.

Zkoumáním úrovně aktivity ANS fotbalistů můžeme přispět jednak k objasnění problematiky dlouhodobých adaptačních procesů probíhajících v organismu, ale také uplatnit získané informace ve všech oblastech využívajících metodu SAHRV. Např. ve sportovním tréninku při optimalizaci tréninkového zatížení sportovců i u sportovní mládeže při výběru talentů (Botek, 2007; Cyprian, 2008)

Snahou bude vyhodnotit vliv dlouhodobého tréninkového procesu na organismus sportovce. Zhlédnout stav ANS u hráčů a zjistit potenciál využití sledování HRV pro trenéry a kolektivní sporty obecně.

Poslední nezanedbatelnou součástí studie je i zhodnocení fyziologických a antropometrických parametrů českých prvoligových fotbalistů. Počtem probandů se bude práce naprosto vymykat dosud provedeným výzkumům naší fotbalové ligy.

2 SYNTÉZA POZNATKŮ

2.1. Fyziologie fotbalu

Fotbal je nejpopulárnějším sportem na světě, hrají ho muži a ženy, děti i dospělí s různým stupněm odbornosti. Fotbalový výkon závisí na množství faktorů, jako jsou technické, biomechanické, taktické, psychické a fyziologické aspekty. Jedním z důvodů, že je fotbal tak populární na celém světě je, že hráči nedominují pouze v některé schopnosti či dovednosti, ale oplývají přiměřeně vysokou úrovní ve všech oblastech. Trendy moderního fotbalu směřují k větší systematické trénovanosti hráčů a k výběru specifických profilů hráčů, kteří soutěží na nejvyšší úrovni (Stolen et al., 2005).

Přestože existují značné individuální rozdíly v antropometrických a fyziologických vlastnostech mezi top hráči, jsou dány určité normy, které dovolují hrát na profesionální úrovni jen těm nejlepším (le Gall et al., 2010). Každá z předních evropských lig (anglická Premier League, španělská La Liga Division, italská Serie A či německá Bundesliga) má osobitý herní styl, fyzickou náročnost a každý trenér si vybírá hráče s nejlépe vyhovujícími vlastnostmi pro daný tým (Bloomfield et al., 2005).

2.1.1 Fyziologický a antropometrický profil elitního hráče

Stejně jako každá hra, není fotbal vědou, ale věda může pomoci zlepšit efektivitu a výkonnost daného sportu. Úsilí o zlepšení fotbalových výkonů se často zaměřují na techniku a taktiku na úkor tělesné zdatnosti. Testy hodnotící fyziologii hráče snímají především $VO_2\max$, anaerobní práh, ekonomiku práce, maximální výkon, explozivní a maximální sílu. Během jedno zápasu dosáhnou elitní hráči přes 10 km při průměrné intenzitě v blízkosti anaerobního prahu (80-90 % maximální tepové frekvence). V rámci této specifické vytrvalosti, je důležité co nejrychleji a nejpřesněji provádět výbušné činnosti, včetně skákání, kopání, sprintování, měnit tempo, taktiku a mít dokonalou kontrolu nad míčem (Stolen et al., 2005).

Spotřeba kyslíku v zápasech dosahuje při driblinku – až $4 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ a TF se blíží k maximálním hodnotám $180\text{-}200 \text{ tepů}\cdot\text{min}^{-1}$. Při přihrávkách, obranné činnosti a trestných kopech se tyto hodnoty snižují, a to O_2 na $2\text{-}3 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ a TF $150\text{-}160 \text{ tepů}\cdot\text{min}^{-1}$ (Havlíčková, 1993). $VO_2\max$ hráčů z pole se pohybuje od $50\text{-}75 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

(155 do 205 ml.min⁻¹.kg^{-2/3}), zatímco brankáři mají 50-55 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (155 do 160 ml.min⁻¹.kg^{-2/3}). Pozorování VO₂max v elitních týmech zaznamenalo hranici > 60 ml.min⁻¹.kg⁻¹, která je důležitým fyziologickým atributem pro úspěch v elitním fotbalovém světě (Stolen et al., 2005).

Anaerobní schopnosti fotbalisty jsou obtížné měřitelné. Využívají se běžecské testy na 300 m, 400 m pro zjištění anaerobní vytrvalosti, nebo sprinty na 5-35 m k testování maximálního krátkodobého výkonu. Obecně využívaným je test Wingate, který probíhá na biciklovém ergometru 30 s. Maximální výkony fotbalistů se pohybují v rozmezí od 637 do 841 W (Davis et al., 1992). Odběry krevního vzorku během zápasu odhalily koncentrace laktátu 4 až 12 mmol.l⁻¹, mimořádně 15 mmol.l⁻¹. Anaerobní práh se v průběhu zápasu ohybuje mezi 76,6 % a 90,3 % HRmax (D'Ottavio, Castagna, 2002). Koncentrace CP ve svalech hráče se neustále mění v rozsahu 50-90 % klidové hodnoty. Plné resyntézy CP se během utkání dosahuje zřídka, a proto probíhá herní činnost vyšší až maximální intenzity v podmínkách neúplného zotavení. Zapojení anaerobního laktátového metabolismu ovšem závisí na soutěžní úrovni (Psotta et al., 2006).

Studie hodnotící poziční role hráčů determinují různé antropometrické a fyziologické charakteristiky na dané pozici. Tyto rozdíly jsou dány odlišným vytížením hráčů v utkání (Gil et al., 2007). Vyšší tělesná výška hráče má relativní význam pro herní výkon, a proto se ve funkci obránců uplatňují hráči vyšší tělesné výšky a naopak ve funkci středových hráčů spíše jedinci relativně nižší. V některých herních situacích totiž může být tělesná výška hráčů podstatná - např. u středních obránců v obranné fázi při odehrávání míčů ve vzduchu nebo u hrotových hráčů v útočné fázi při střelbě hlavou (Psotta et al., 2006).

Brankáři jsou nejvyšší a nejtěžší hráči v týmu. Patří k nejpomalejším hráčům v týmu, ale dosahují lepších výsledků v testech výbušné síly oproti hráčům v poli. Útočníci bývají nejrychlejší hráči v týmu z pohledu na sprint o délce 5, 10 a 20 m. Záložníci mají během zápasu statisticky vyšší hodnoty relativní spotřeby kyslíku, maximální srdeční frekvence, maximální rychlosti běhu a hladinu krevního laktátu než obránci a útočníci. VO₂max mají vyšší jak 60 ml.min⁻¹.kg⁻¹ a dosahují nejlepších výkonů v přerušovaných zátěžových testech. Na druhou stranu, záložníci mívají nejnižší svalovou sílu. Obránci disponují vyšším tělesným tukem než útočníci a záložníci (Sporis et al., 2009).

Časté zapojování středových hráčů do obranné i útočné fáze hry znamená menší příležitost pro odpočinek v průběhu utkání - jejich zotavování, tak probíhá především

v poklusu. To se projevuje vyšší tělesnou únavou než u jiných postů. Zatímco se středoví hráči vyznačují zvýšenou běžeckou aktivitou ve středních a vyšších rychlostech, na útočníky jsou kladeny větší nároky na vykonávání běžeckých sprintů. Počet sprintů vykonaných útočníky za utkání je o 40-45 % vyšší než u středových hráčů a o 15-60 % vyšší než u obránců (Psotta et al., 2006).

Spektrum příslušných antropometrických a fyziologických faktorů je silně geneticky podmíněné (např. postava a maximální příjem kyslíku), ale jsou do značné míry určeny prostředím a trénovaností (Reilly et al., 2000). Závěrem lze říci, že ve fotbale je rozvíjena především rychlostní vytrvalost herně spojená se specifickými technickými, taktickými a fyzickými nároky kladenými na každého hráče (Iaia et al., 2009).

2.1.2 Výběr talentů

Výběr talentů je nedílnou součástí systému přípravy talentované mládeže. Na základě kvalitního a cílevědomého výběru talentovaných jedinců je možné prostřednictvím stejně kvalitní, systematické přípravy dosáhnout maximální úrovně výkonnosti jedince. Všímáme si dominantních předpokladů pro fotbal, které nelze nahradit jinými, tj. tvůrčí a koordinační schopnosti a smysl pro hru. Předpoklady k rychlosti, výbušnosti a vytrvalosti jsou jistě velice důležité, ale bez uvedených schopností by ztrácely svůj význam, jelikož by nemohly být adekvátně zužitkovány ve hře. Pozornost věnujeme celkovému pohybovému nadání, schopnosti rychle se učit novým pohybům i snášet vysoké fyzické a psychické zatížení (Duhan, 2006).

Zkušenosti trenérů při výběru a práci s talentovanou mládeží ukazují, že pro úspěšnou sportovní činnost má rozpoznání talentu velký význam. Antropometrické a fyziologické hodnocení elitních hráčů mládežnických fotbalových týmů hraje významnou roli při určování jejich šance dosáhnout vyšší úrovně v profesionálních soutěžích. U mládeže bývají pozorovány významné poziční rozdíly u antropometrie, ale ne příliš ve fyzických výkonech. V trenérské praxi je důležité vyvarovat se upřednostnění antropometrických vlastností s krátkodobým přínosem (např. těžšího hráče pro vyšší rychlost střelby míče nebo vyššího hráče pro úspěšnost v soubojích) neboť to nevede ke kvalitnímu dlouhodobému vývoji hráče (Wong et al., 2009). Je zřejmé, že hráči na různých postech mají různé antropometrické a především fyziologické dispozice. Trenéři by měli být schopni používat tyto informace a znát profil konkrétní pozice hráče (Sporis et al., 2009). Sledování talentovaných mladých hráčů a jejich výběr musí být vždy komplexní (le Gall et al., 2008).

2.2 Autonomní nervový systém

Obdobně jako v somatickém nervovém systému je podstatou organizace autonomního nervového systému (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).

ANS lze považovat za náš kontrolní systém, jenž řídí odpověď na zevní i vnitřní podněty. Porušení rovnováhy mezi aktivitou sympatického a parasympatického tonu může dospět až ke vzniku mnoha kardiovaskulárních a metabolických onemocnění. Při fyzickém zatížení řídí ANS funkce vnitřních orgánů a koordinuje je s činností kosterních svalů. Taktéž spolupracuje s endokrinním a imunitním systémem (Opavský, 2004).

Vegetativní nervový systém se skládá z části centrální a periferní. Centrální části (mícha, prodloužená mícha, mezimozek, mozková kůra) představují pro vegetativní funkci různé regulační úrovně. Periferní část tvoří senzická nervová vlákna přivádějící informace z vnitřního prostředí a orgánů, a pak dráhy směřující k efektorům (Trojan et al., 2003).

2.2.1 Periferní část ANS

Periferní ANS systém je eferentní a řídí hlavně krevní oběh, vnitřní orgány, sexuální funkce aj. Sympatická vlákna nervového systému začínají v hypotalamu, procházejí míchou a spojují se v pregangliová vlákna. Z míchy vstupují do řetězce ganglií (sympatický kmen), uložených podél páteře, odkud vychází postgangliová vlákna do cílových orgánů. Elektrický podnět se šíří podél postgangliových vláken na nervová zakončení, kde uvolní chemické látky, které podráždí receptory pro vlastní odpověď cílových buněk (Kolář et al., 2003).

Parasympatická vlákna začínají ve specifických oblastech při jádrech některých hlavových nervů. Ganglia parasympatiky jsou uložena až v těsné blízkosti

inervovaného orgánu (Trojan et al., 2003). Převod vzruchu z nervového parasympatického vlákna se uskutečňuje podobně jako v případě sympatiku.

Na základě chemické odlišnosti jednotlivých postgangliových transmitterů dělí Trojan et al. (2003) ANS na dvě části: cholinerní a adrenergní. V cholinerní části ANS působí transmitter acetylcholin: a) všechny pregangliové neurony; b) postgangliová zakončení parasympatických vláken; c) postgangliové neurony anatomicky náležící k sympatiku inervující potní žlázy a d) sympatické vazodilatační nervy. Na zbývajících postsynaptických zakončeních (adrenergní -sympatická část ANS), se uplatňuje mediátor noradrenalin.

I dřeň nadledvin je původně sympatické ganglion, jehož postgangliové buňky pozbyly své axony a vylučují noradrenalin, adrenalin a dopaminu přímo do krevního oběhu. Proto i cholinerní pregangliové neurony, které mají spoje s těmito buňkami, tvoří sekretomotorickou inervaci této žlázy (Ganong, 2005).

Většina vnitřních orgánů je pod vlivem sympatického i parasympatického oddílu, přičemž velmi často bývá odpověď na oba systémy protichůdná a o výsledném účinku aktivity obou subsystémů rozhodne okamžitý funkční stav efektoru (Barevný et al., 1995).

Aktivací sympatiku a následným vyplavením adrenalinu reaguje organismus na stresový podnět (nemoc, pohybová aktivita, boj nebo útěk „fight or flight“), dochází velmi rychle ke zvýšení srdeční a dechové frekvence, tlaku krve, rozšíření bronchů a přeladění z anabolismu do katabolismu (Ganong, 2005).

Naopak parasympatická aktivita dominuje při spánku, v době zotavení nebo při trávení, kdy v metabolismu dominují anaboličké procesy. Zvýšená aktivita parasympatiku přispívá obecně ke snížení tepové frekvence, krevního tlaku nebo zrychlení trávení potravy (Trojan et al., 2003).

V průběhu tréninku a následném zotavení, jsou řízeny a kontrolovány embolické změny pomocí dynamicky se měnící aktivity obou větví – sympatiku a parasympatiku. V průběhu tréninku dochází k vychýlení aktivity ANS směrem k sympatiku, zatímco v průběhu regenerace se tato nerovnováha upravuje a v případě superkompenzace dochází naopak ke zvýšení aktivity vagu (Jakubec et al., 2005).

V trávicím ústrojí jsou obě složky ANS ještě napojeny na enterický systém, ale ten není na dané aktivitě příliš závislý. Enterický systém řídí motoriku a motilitu stěn trávicího traktu, sekreci žláz a absorpci látek (Čihák, 1997).

2.2.2 Centrální část ANS

Činnost sympatiku a parasympatiku je koordinována nadřazenými oblastmi CNS. K jednoduché reflexní aktivitě dochází již na úrovni míchy, ale složitější vegetativní funkce jsou ovládány z prodloužené míchy (retikulární formace mozkového kmene) s integrací hypotalamu. Hypotalamus se účastní regulace kardiovaskulárního systému, příjmu potravy, příjmu tekutin, teploty, endokrinních žláz a také se podílí na emočním chování (Rokyta et al., 2000).

Hypotalamus ovlivňuje vegetativní funkce nejen nervovou, ale i humorální cestou prostřednictvím hypofýzy (Trojan, 2003). Lze se domnívat, že oblast hypotalamu a limbického systému tvoří převodní systém mezi reflexní aferentní činností, ANS a kůrou mozkovou, která vytváří eferentní odpověď ANS na daný eferentní podnět. Výsledkem těchto centrálních regulací je mimo jiné vytvoření soustavy podmíněných reflexů a jejich vazba na rychlé aktuální změny uskutečňované ANS (Koukolík, 2002).

2.3 Řízení srdeční činnosti

Hlavní cíl srdeční činnosti se skrývá v udržení odpovídajícího srdečního výdeje. Velikost výdeje závisí na metabolických nárocích organismu. Změnou síly srdeční kontrakce na frekvenci srdečních stahů se koriguje srdeční výdej, který vychází ze systolického objemu a tepové frekvence (Rokyta et al., 2000).

SA uzel je přirozený udavatel rytmu, srdeční pacemaker a frekvence jeho vzruchů určuje frekvenci srdečních stahů. Impulsy tvořené SA uzlem jsou vedeny síňovými dráhami, AV uzlem, Hisovým svazkem na obě raménka a cestou Purkyňova systému ke komorovému svalu. Na udržování průměrné frekvence srdce se podílejí především tonus autonomních nervů, inervace srdce a humorální vlivy (Ganong, 2005).

2.3.1 Nervová regulace srdce

HRV vzniká regulací pacemakeru srdce. Především jemným doladováním frekvence srdce okolo průměrné hodnoty autonomním nervovým systémem (Javorka, 1996). Vlákná vazu inervují v myokardu sinoatriální a atrioventrikulární uzly, srdeční svalovinu síní a v menší míře i komor (Opavský, 2002). Vlákná sympatiku inervují jak oblast síní, tak i komor. Dohromady pak tvoří plexus cardiacus (Trojan et al., 2003). U osob, u nichž je blokován jak noradrenergní, tak cholinergní systém, je tepová frekvence (TF) okolo 100 tepů (Ganong, 2005). Aktivita vazu zpomaluje TF (negativně chronotropní vliv) v klidových podmínkách z hodnot udávaných SA uzlem ($110-120 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$) na $60-80 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$. Naopak, když převládne tonus sympatiku, zrychlí se frekvence nad přirozený rytmus SA uzlu (Hainsworth, 1998).

2.3.2 Humorální regulace srdce

K celkové reakci sympatiku při emočním vypětí patří obvykle aktivace dřeně nadledvin (sympatoadrenální systém) s následným vylučováním katecholaminů do krve (Rokyta et al., 2000). Buňky srdce jsou vybaveny muskarinovými a β -adrenergními receptory, které umožňují řídit činnost srdce i prostřednictvím katecholaminů a acetylcholinu (Ganong, 2005). Důležité je, že souhrou nervového a humorálního systému zesiluje účinek pro intenzivní svalovou práci (Trojan et al., 2003). Se stoupající intenzitou zatížení nad 50 % VO_2max stoupá produkce NA, A stoupá až při vyšším zatížení (60 % až 70 % $\text{VO}_2 \text{ max}$). Během cvičení v setrvalém

stavu, trvajícím víc než 3 hodiny při 60 % VO₂ max hladina obou katecholaminů stoupá (Farrell et al., 1987).

Adrenalin vyvolává vazodilataci arteriol kosterních svalů, vazokonstrikci arteriol kůže a vnitřností. Dále stimuluje činnost srdce, zvyšuje sílu srdečních kontrakcí, a tím zvyšuje srdeční výdej a systolický tlak. Noradrenalin působí na myokard hlavně pozitivně inotropním účinkem, ostatní účinky jsou slabší. Dále způsobuje vazokonstrikci ve svalech a zvyšuje systolický i diastolický tlak (Trojan et al., 2003).

Tabulka 1. Odpovědi srdce (efektoru) na vzruchy z autonomního nervového systému a na katecholaminy obsažené v krvi

Efektory	Odpověď na cholinergní vzruchy	Noradrenergní vzruchy	
		typ receptoru	odpověď
Srdce S-A uzel	snížení srdeční frekvence vagová zástava	β1, β2	zvýšení srdeční frekvence
Síň	snížení kontraktility a (obvykle) zvýšení převodní rychlosti	β1, β2	zvýšení kontraktility a zvýšení převodní rychlosti
A-V uzel	snížení převodní rychlosti	β1, β2	zvýšení převodní rychlosti
Hisův svazek a Purkyňova vlákna	snížení převodní rychlosti	β1, β2	zvýšení převodní rychlosti
Komory	snížení kontraktility	β1, β2	zvýšení kontraktility

Upraveno podle HARDMAN, JG., et al. [Editors]. *Goodman and Gilman's The pharmacological basis of therapeutics*. 9th ed. McGraww-Hill, 1996 in Ganong, 2005.

K nervové a humorální regulaci srdce musíme přiřadit i celulární (Trojan et al., 2003). Celulární regulace činnosti srdce spočívá především ve výsledné velikosti kontrakce (Frank-Starlingův zákon), která závisí na počátečním napětí vláken myokardu. Čím větší protažení myokardu předchází, tím intenzivnější bude následná kontrakce. Zvyšováním srdeční frekvence k hodnotám okolo 160 tepů.min⁻¹ dochází ke sníženému plnění srdce, což vede k nižšímu počátečnímu napětí tedy ke snížení srdeční kontrakce (Rokyta et al., 2000). Porucha funkce některého z regulačních faktorů může dospět k patofyziologickým projevům ovlivňujících negativně variabilitu srdečního rytmu. Při narušení sympatické a parasympatické tonizace srdce dochází k podstatnému snížení HRV (Placheta, 2001). Vysoká HRV značí dobrou adaptabilitu systému a kvalitu regulačních srdečních funkcí. Snížená variabilita je naopak známkou porušení adaptability systému (Souček et al., 2005).

2.4 Variabilita srdeční frekvence

Srdeční frekvence kolísá i bez vlivu fyzické a emoční zátěže (Wichterle & Němec, 1993). Za fyziologických podmínek je kontrolována sinoatriálním uzlem a modifikovaná hlavně ANS a dalšími centrálními a periferními oscilátory (Stejskal & Salinger, 1996).

Název Heart Rate Variability se používá pro oscilaci intervalů mezi po sobě následujícími srdečními stahy. Velikost oscilace R-R intervalů poukazuje na míru, s jakou je srdce a jeho převodní systém schopno reagovat na změny vnitřního a vnějšího prostředí. Změny frekvenčního pásma srdečního cyklu korespondují s aktivitou sympatického a parasympatického systému a jejich vzájemným poměrem aktivity (Stejskal & Salinger, 1996).

První zmínku o klinickém významu HRV nacházíme v práci Hona a Laeho z roku 1965, kteří zjistili, že při určitém nebezpečí poškození plodu předcházeli ještě před očekávanými změnami tepové frekvence změny její variability. V 70. letech byl konstatován vztah mezi zvýšeným rizikem mortality po IM a redukovanou HRV. V 80. letech byla Ewingem vytvořena baterie testů umožňující včasnou detekci autonomní diabetické neuropatie. V roce 1981 Akcerod at al. použili jako první pro kvantitativní hodnocení kardiovaskulární regulace metodu spektrální analýzy HRV (Stejskal & Salinger, 1996; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology [Task Force], 1996).

Přes využití HRV v medicínských oborech (kardiologie, diabetologie) došlo k slibnému uplatnění i v zátěžové a sportovní medicíně. Především se využívá při hodnocení úrovně adaptace organismu na tělesné zatížení, k hodnocení rychlosti regenerace po intenzivní zátěži, k řízení a individuální optimalizaci sportovního tréninku, k ladění sportovní formy v podmínkách extrémních změn zevního prostředí (např. po rychlém přesunu přes časová pásma, při nebo po krátkodobém pobytu ve vysokohorském prostředí apod.) (Stejskal, 2007).

K vyhodnocení HRV z elektrokardiografického (EKG) signálu se využívají hlavně metoda časové analýzy a metoda frekvenční analýzy (SA). Všeobecně je možné měření HRV rozdělit na krátko- (několik minut až 1 hodina) a dlouhodobé (více hodin, 12 – 24 hodin) (Kautzner & Malík, 1998).

2.4.1 Spektrální analýza variability srdeční frekvence (SAHRV)

SAHRV monitoruje časové rozdíly mezi po sobě následujícími srdečními stahy (R-R). Ty jsou transformovány do frekvenčních hodnot, čímž získáme výkonové spektrum, které obsahuje frekvenčně specifické oscilace. Především jde o neinvazní metodu umožňující kvantifikovat aktivitu ANS registrováním činnosti vagu i hodnocením sympatovagové balance (Stejskal & Salinger, 1996).

SAHRV využívá buď parametrické metody (autoregresivní metoda - AR) nebo neparametrické metody (rychlá Fourierova transformace - FFT)- obě poskytují srovnatelné výsledky (Salinger et al., 1998; Task Force, 1996). FFT rozkládají vstupní signál na součet periodických funkcí o různé frekvenci, amplitudě a fázi. AR srovnává aktuální hodnoty signálu a metody periodicky zpožděné (Salinger et al., 1998).

Ve frekvenční analýze je řada R-R intervalů převedena do spektrálního obrazu v rozmezí 0,02-0,5 Hz (to znamená 0,5-30 periodických změn za minutu). Analýza krátkodobého záznamu (5 minut respektive 300 tepů) lze rozdělit na tři hlavní spektrální komponenty.

- VLF (very low frequency) – velmi nízká frekvence v rozsahu od 0,02 do 0,05 Hz,
- LF (low frequency) – nízká frekvence v rozsahu od 0,05 do 0,15 Hz,
- HF (high frequency) – vysoká frekvence v rozsahu od 0,15 do 0,5 Hz.

2.4.2 Hlavní spektrální komponenty SA HRV

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

Komponenta HF koresponduje s periodicitou dýchání i s tónem vagu. Je tedy ukazatelem parasympatické aktivity a bývá nazývána jako „respirační vlna“. Velikost HF se zvyšuje se zvyšujícím se dechovým objemem, ale při zvyšující se frekvenci dýchání se redukuje, tím dýchání přímo ovlivňuje výkonové spektrum HRV. Vliv vagu na respirační sinusovou arytmiu mizí při dechové frekvenci 24 dechů.min⁻¹ (Opavský, 2002) a při poklesu pod 9 dechů.min⁻¹ klesá frekvence pod 0,15 Hz a přesunuje se do pásma LF (Žůjová, Stejskal, Jakubec, Gaul-Aláčová, & Salinger, 2004). Proto doporučuje Opavský (2002) dodržovat při vyšetření dechovou frekvenci v rozmezí 12-15 dechů.min⁻¹.

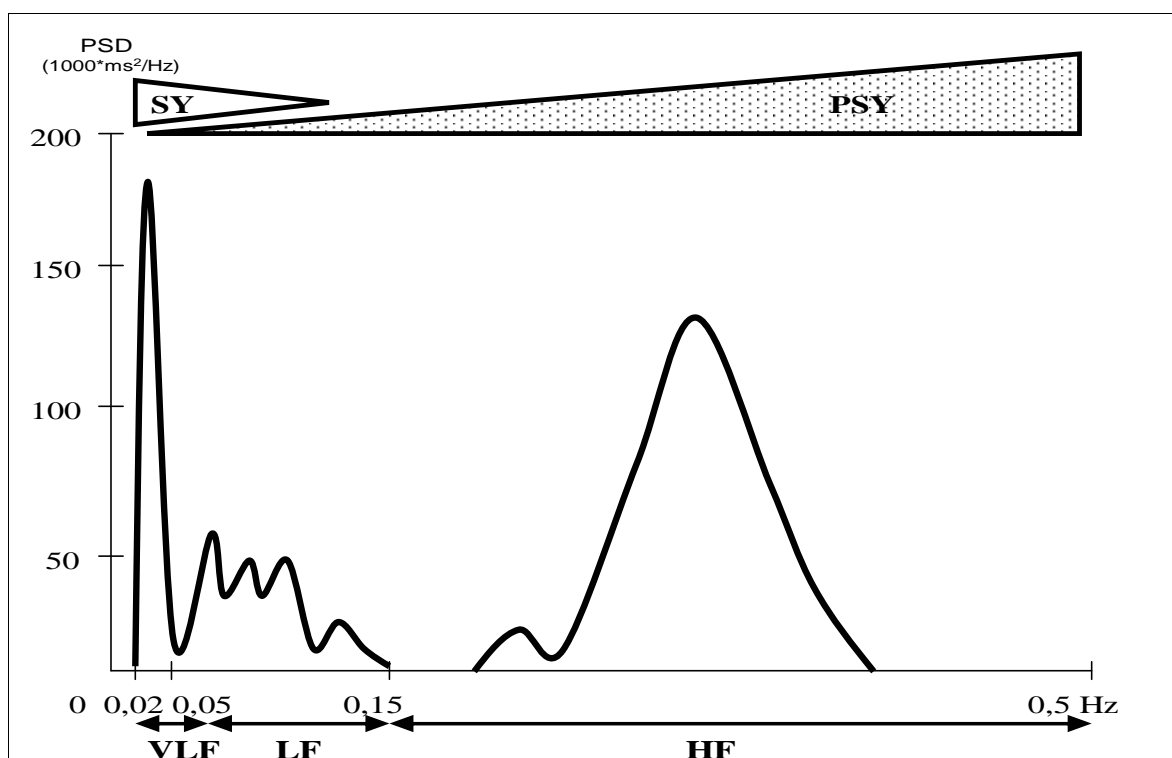
LF (low frequency; 0,05 - 0,15 Hz)

Komponenta je nejvíce ovlivněna baroreflexní sympatickou aktivitou a koresponduje s pomalými změnami variability krevního tlaku. Často je 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). 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.

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

Výkon komponenty bývá vztahován k termoregulační aktivitě cév, k hladině cirkulujících katecholaminů a k oscilacím renin-angiotenzinového systému. Výsledky mnoha studií poukazují na důležitou roli při hodnocení vlivu věku, tělesné práce a v průběhu zotavení na HRV (Stejskal & Salinger, 1996).

Obrázek 1. Spektrální obraz HRV krátkodobého záznamu SA HRV



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

2.4.3 Faktory modifikující HRV

Kardiovaskulární systém vykazuje jisté prvky samoorganizovanosti, směřující k zachování jeho dynamické stability. Ta se udržuje přizpůsobováním srdeční frekvence, krevního tlaku a dalšími mechanismy, které reagují na řadu vnitřních a zevních vlivů. Z vnitřních faktorů má nejvýznamnější vliv věk, dýchání, pohlaví a celkový zdravotní stav. Mezi hlavní zevní stresory, které ovlivňují autonomní regulaci, patří fyzické i psychické zatížení, nezanedbatelný je také vliv některých léků působících na vegetativní systém. Mezi základní nefarmakologické metody přispívající ke zvýšení HRV patří především pravidelná dynamická pohybová aktivita (rychlá chůze, plavání, jízda na kole), a to alespoň třikrát týdně po dobu 30–45 minut, dále změny stravovacích návyků (snížený příjem tuků a cukrů, zvýšený příjem zeleniny, ovoce), dodržování pravidelné a zdravé životosprávy, vyvarování se stresu, zanechání kouření a zvýšeného příjmu alkoholu (Fraňa et al, 2005).

2.4.3.1 Reflexní ovlivnění HRV a vliv respirace

Aktivita baroreceptorů a respirace se spolupodílejí na regulaci srdeční činnosti prostřednictvím nervového systému (Ganong, 2005; Rokyta et al., 2000). Srdce je schopno pomocí aferentních vláken sympatiku a parasympatiku vnímat změny tlaku a plnění, jenž vyvolá danou regulační odpověď (Hainsworth, 1998).

Ve vysokotlaké části krevního řečiště (karotický sín a aortální oblouk) a i v nízkotlaké části cirkulace (stěny pravé a levé síně, plicní oběh) reagují na změnu tlaku baroreceptory. Aktivace baroreceptorů zvýšením tlaku vyvolá zvýšení eferentní vágové stimulace a snížení aktivity sympatiku (Ganong, 2005). Informace z baroreceptorů tedy způsobují komplexní odpověď vazomotorického centra, které následně řídí TF, kontraktilitu myokardu a také tonus odporových cév. Stimulace a citlivost baroreflexů je značně individuální. Např. u pacientů s hypertenzí, srdečním selháním a diabetem mellitus se vyskytuje pokles této senzitivity (Honzíková, 2004). Ke stimulaci baroreceptorů nedochází při tlaků 0-60 mmHg a v aortě i až o 30 mmHg vyšším. Při překročení této hranice reagují receptory přímo úměrně se zvyšujícím tlakem až do maxima okolo 180 mmHg. Avšak baroreceptory jsou adaptivní na změnu tlaku. Když tlak krve (TK) dosáhne ze 100 na 200 mmHg může se četnost impulzů během dvou dnů vrátit k původní hodnotě, přestože TK zůstává stále 200 mmHg (Guyton, 1992).

Citlivost baroreceptorů modifikuje celá řada vlivů od aference ze srdečních mechanoreceptorů, chemoreceptorů, plicních receptorů až po humorální vlivy, dýchání, pohyb nebo posturální změny (La Rovere et al., 1998; Ganong 2005)

Taktéž má vliv na aktivitu baroreceptorů dynamická tělesná zátěž. Poklesem vagové aktivity dojde k „vypnutí“ baroreceptorů a TK je řízen z centrální nervové soustavy a aferentními impulsy z pracujících svalů (Ogoh et al., 2005).

Charkoudian et al (2005) zjistili, že minutový srdeční objem (MV) i tepový objem (SV) jsou prostřednictvím baroreflexů důležitými modulačními faktory. Sympatická aktivita je inhibována při vzestupu MV, proto je rovnováha mezi sympaticky zprostředkovanou vazokonstrikcí a MV důležitá pro regulaci arteriálního TK (Guyton, 1992).

Při klidném dýchání kolísá SF v rozmezí 5 % $\text{tepů} \cdot \text{min}^{-1}$ (Kautzner et al., 1998). Pravidelné kolísání SF během nádechu (zrychlení SF) a výdechu (zpomalení SF) je nazýváno jako respirační sinusová arytmie (RSA), jenž je autonomně modulována respiračním centrem (Rokyta et al., 2000). Aktivita kardiovaskulárního a respiračního systému je v neustálé interakci a synchronizaci. RSA přetrvává i během fyzické zátěže a při maximálních změnách dechové frekvence a objemu se ještě zvětšuje (Blain, Meste & Bermon, 2004).

V praxi se hodnotí míra RSA, jako ukazatel vydatné aktivace vagu při výdechu (Opavský, 2002). Při nádechu jsou v plicích stimulovány mechanoreceptory, které vysílají signály do respiračního centra a vyvolávají zvýšení sympatické aktivity a SF. Při výdechu se sníží tlak v hrudním koši a následkem toho se zvýší žilní návrat. Vyšší objem krve v síních stimuluje receptory, což zrychlí SF, zvětší se srdeční výdej z levé komory a tím i krevní tlak (Přerovská & Maršík, 2002).

RSA ovlivňuje fyziologicky věk, typ dýchání, pravidelnost dechových cyklů a míra aktivace dýchacích svalů což nám zasáhne i do autonomní regulace srdeční činnosti. V tomto směru bylo potvrzeno, že jednoduché odhady stupně respirační arytmie (např. rozdíl mezi maximální a minimální tepovou frekvencí během inspira a expiria) korelují těsně se silou v pásmu vysoko frekvenčního vrcholu spektra HRV (Opavský, 2002).

Proto je nutno při interpretaci výsledků SA z krátkodobých záznamů vzít vždy v úvahu frekvenci kontrolovaného dýchání, aby se předešlo nesprávným závěrům o úrovni sympatické a parasympatické modulace (Kautzner et al., 1998). Pokud klesá dechová frekvence pod 0,15 Hz (asi 9 dechů. min^{-1}), přesunuje se výkon z komponenty HF do komponenty LF (Hartikainen et al., 1998). Pro řízené dýchání

se doporučuje 12 až 15 dechů.min⁻¹, aby se střed frekvenčního pásma HF složky pohyboval kolem 0,2-0,25 Hz, což neovlivňuje kardiovaskulární autonomní regulaci (Pinna, Maestri, La Rovere, Gobbi & Fanfulla, 2006). Mimo respiračně vázanou aktivitu vagu jsou v oblasti HF i subdominantní frekvence s nižší denzitou a frekvenčním centrem posunutým vpravo od respirační vlny (Kolísko et al., 2001).

Dýchání je možné rozdělit na spontánní a volně ovládané. Oba typy jsou ovlivněny různými fyziologickými mechanismy. Spontánní dýchání (dechová automatika) je ovládána z kmenových struktur, oblongáty a pontu. Respirační centrum je však ovlivněno a regulováno chemicky i nervově. Chemická regulace je ovlivněna změnami arteriálního parciálního tlaku kyslíku a oxidu uhličitého a rovněž změnami koncentrace vodíkových iontů (Opavský, 2002). Nervová regulace je složitější, podílí se na ní regulace z různých struktur, jako například regulace z aferentních vzruchů bloudivého nervu z dýchacích cest a plic, z pontu, hypotalamu a limbického systému (Ganong, 2005).

2.4.3.2 Věk, pohlaví, genetika

Věk je jedním z hlavních determinantů HRV a je nezbytné interpretovat výsledky vyšetření HRV vzhledem k věku jedince. Doposud není jednoznačně dáno, zdali dochází ke snížení míry HRV následkem konkrétních fyziologických změn daných stárnutím nebo vlivem nemocí, mírou zdatnosti či změnou životního stylu. Je zajímavé, že mnozí autoři nepovažují za příčinu poklesu vagové aktivity v průběhu stáří snížení aerobní zdatnosti, změny ve složení těla nebo změny TK (Fukusaki, Kawakubo & Yamamoto, 2000). Závislost na věku neovlivňuje jen celkový spektrální výkon, ale i jednotlivé komponenty. Vliv sympatiku a parasympatiku je při ortostáze u starších lidí méně vyjádřen (Odemuyiwa, 1995; Stejskal et al., 1995; Šlachta et al., 2002).

Šlachta et al. (2002) dále uvádí, že parametry charakterizující aktivitu vagu klesají signifikantně rychleji než parametry charakterizující aktivitu sympatiku. Kromě parametru % HF je pro většinu parametrů zlomové období („breake point“) 30-50 let, kdy dochází ke snížení poklesu a k menšímu vyjádření (Singer & Ori, 1995; Šlachta et al., 2002).

Vliv pohlaví na HRV nebyl jednoznačně popsán a mnohé studie se značně liší. Britton et al.(2007) zaznamenali větší hodnoty ukazatele P_{LF} u mužů a u žen větší

hodnoty ukazatel P_{HF} (viz také Antelmi et al., 2004). Umetani et al.(1998) udává, že HRV je u žen významně nižší než u stejně starých mužů ve věkové skupině 10 až 29 let, avšak poté se odlišnosti u všech ukazatelů vytrácí (viz také Bonnemeier et al., 2003).

Interindividuální rozdíly HRV spočívají i v genetické predispozici. Genetickou podmíněnost HRV uvádějí Singht et al.(1999) ve své výzkumné práci s dvojčaty a sourozenci v rozmezí 13-40 %.

2.4.3.3 Vnější faktory

SAHRV se začíná stávat nadějnou oblastí i v experimentální psychologii a psychiatrii (Šiška, 2000). Podle Součka (2002) bylo opakovaně prokázáno, že dlouhodobě působící stres zvyšuje stimulaci ANS v hypotalamu, tím se narušuje rovnováha mezi tonem sympatiku a parasympatiku. Nadměrně se zvyšuje aktivita sympatiku, která je přenášena do periferie pomocí tří os krátkodobé (baroreceptory), střednědobé (neurohumorální působky), dlouhodobé (renální regulační systém). Mentální a verbální aktivita vede ke změnám dechové frekvence a aktivaci sympatiku, která odpovídá velikosti stresoru (Bernardi et al., 2000).

Z výzkumů vyplívá, že při stresu dochází k zvýšení SF, snížení HRV, snížení hodnot komponenty HF a zvýšení poměru hodnot komponenty VLF či LF k HF (Kocmánková, 2003). Během zotavení po stresovém podmětu dochází ke zvýšení vagové aktivity a zároveň ke snižování zvýšené sympatické aktivity. Pokud je tato reakce neadekvátní a nedostatečná může předpovídat míru kardiovaskulárního onemocnění (Mezzacappaes, Kelsey, Katkin & Sloan, 2001).

Mezi vnější faktory ovlivňující HRV patří příjem potravy a alkohol. Jejich požití způsobuje zvýšení SF, což vyvolává změny ukazatelů HRV. Po jídle je zvýšen poměrový ukazatel LF/HF nejméně jednu hodinu (Lu, Zou, Orr & Chen, 1999). Naopak jiná studie došla k závěru, že do dvou hodin od příjmu potravy není HRV významně ovlivněna (Ambarish, Barde, Vyas & Deepak, 2005). Požití alkoholického nápoje vede ke snížení aktivity vagu (Reed, Porges, & Newlin, 1999) a k poklesu parametrů P_{VLF} , P_{LF} , P_T (Dietrich et al., 2006).

Při dlouhodobém či opakovaném měření v průběhu dne je třeba brát v úvahu i cirkadiánní rytmicitu HRV. V průběhu dne se nejvíce mění výkon komponenty HF, do večerních hodin klesá a zvýšeného výkonu dosahuje v nočních hodinách (Fallen &

Kamath, 1995). Podle Stejskala, Jakubce, Přikryla a Salinger (2004) narušuje rychlý přesun přes časová pásma výrazně cirkadiánní rytmicitu organismu, což se také projeví na ukazatelích HRV. Ve studii Botka (2007) se prokázala existenci pravidelného kolísání aktivity ANS sportovců s periodou v rozsahu od 12 do 55 dní. Patříčná znalost těchto periodických změn v aktivitě ANS u jednotlivých sportovců je pro trenéra velmi cenná především z hlediska predikce (modelování) dalšího vývoje aktivity ANS, kterému se následně přizpůsobí sestavování krátkodobých nebo dlouhodobých tréninkových plánů (Botek, 2007).

2.4.4 HRV a sportovní trénink

Aktivita ANS patří k důležitým faktorům, které ovlivňují sportovní výkonnost. Vysoká adaptační kapacita organismu je charakterizována vysokou a rovnovážnou aktivitou parasympatiku a sympatiku. Takto disponovaný sportovec je schopen pružněji a efektivněji se vypořádat se stresovými faktory tréninkového zatížení (Ciprian, 2008). Mnozí autoři se shodují, že vedle tréninkem ovlivněného snížení srdeční frekvence dochází vlivem vytrvalostního tréninku ke zvýšení celkové HRV, nárůstu tenze parasympatické části ANS a zároveň k snížení aktivity sympatiku v klidu (Carter et al., 2003; De Meersman, 1993; Hedelin et al., 2000; Kouidi et al., 2002). De Meersman (1993) se domnívá, že vytrvalostním tréninkem zvýšená aktivita vagu koresponduje se zvýšenou aerobní kapacitou. Pouze u elitních běžců na dlouhé tratě byl nalezen pozitivní vztah mezi hodnotou $VO_2\text{max}$ a HRV (Kouidi et al., 2002). Vyšší aktivita vagu nad aktivitou sympatiku umožňuje sportovcům zkrátit dobu zotavení zrychleným přechodem organismu z katabolismu do anabolismu (Carter et al., 2003; Raczak et al., 2006).

Vyčerpávající zatížení vyvolá signifikantní snížení aktivity vagu a posun sympatovagové balance na stranu sympatiku, zatímco zatížení regeneračního charakteru zapříčiní opětovné zvýšení aktivity vagu (Pichot et al., 2000).

2.4.4.1 Využití metody SA HRV ve sportovním tréninku

Využití metody SAHRV ve sportovní praxi je dlouhou dobu známe a neustále se zdokonaluje i díky moderní a v současnosti i finančně dostupné technice. Monitorování aktivity ANS metodou SA HRV se stalo vhodným nástrojem pro posouzení efektu tréninkového zatížení na úroveň sportovní výkonnosti, pro optimalizaci tréninkového zatížení (Banzer et al., 2002; Pichot et al., 2002; Stejskal, 2002) a také může být využita jako nástroj prevence syndromu přetrénování (Baumert et al., 2006; J. Uusitalo, L. Uusitalo, & Rusko, 2000). Příliš vysoká intenzita zatížení, velký objem tréninku a nedostatečná regenerace vedou za jinak standardních podmínek k přetížení, které se ve výsledcích SAHRV projeví zhoršením komplexních ukazatelů. Jestliže snížíme intenzitu a objem tréninku a zkvalitníme regeneraci, dochází většinou po velmi krátké době ke zlepšení těchto ukazatelů (Stejskal, 2002; Stejskal & Salinger, 2002).

SAHRV je vhodným ukazovatelem stavu adaptability sportovce na zatížení a umožňuje posoudit individuální reakci na komplexní zatížení. Dále je možné využít metodu k prevenci některých onemocnění, na sledování průběhu těchto nemocí a na usměrňování sportovní přípravy ve fázi zahájení tréninku po nemoci. SAHRV se používá pro „vyladění formy“ před závody. Vyhodnocením výsledků SAHRV na notebooku může získat sportovec kdekoliv před tréninkem a závodem přehled o doporučení pro následující trénink a upravit stupeň intenzity podle aktuálního stavu výkonnosti ANS ve vztahu k velikosti objemu tréninku (Ošťádal, 2005).

Studie sledující soustavně ANS při tréninku získávají slibné výsledky (Borresen & Lambert, 2008; Hautala et al. 2009; Lamberts et al. 2009). ANS hraje pravděpodobně důležitou roli při adaptační odpovědi na pohybovou zátěž (Hautala et al., 2009) a může poskytnout informace o funkčních úpravách k dané tréninkové stimulaci (Buchheit et al. 2008, Pichot et al. 2002; Iwasaki et al. 2003; Lamberts et al. 2009). V praxi však těžké přesvědčit „rutinní“ trenéry o výhodách této diagnostické metody. Nadále zůstává problémem efektivně využít metodu i v kolektivních sportovních disciplínách (Ošťádal, 2005; Cyprian, 2008).

Postupem času se začínají uplatňovat metody SAHRV i v přípravě sportovní mládeže (Bricout et al., 2010). Mnozí autoři se domnívají, že lze podle úrovně aktivity ANS vyhledávat talentované jedince s velkou schopností zvládat nároky vrcholového sportu (Botek, 2007; Cyprian, 2008).

2.4.4.2 HRV a zotavení

Sledování rychlosti regenerace organismu po tělesné aktivitě je základním předpokladem pro optimalizaci tělesného zatížení a zvýšení efektivity ve sportovním tréninku. Rychlost zotavení je nejlépe charakterizována dynamikou funkcí ANS (Cyprian, 2008). Ke zvýšení TF při zátěži dochází nervovou stimulací srdce, zvýšením hladiny cirkulujících katecholaminů i baroreflexní regulací (Ganong, 2005). TF se nejdříve zvyšuje redukcí aktivity vagu (Perini et al., 1993), při vyšší intenzitě se přidá zvýšení sympatické aktivity (Stejskal et al., 2001). Pozátěžová velikost HRV souvisí s počátečním přizpůsobením TF na zátěž. Při rychlejším přizpůsobení TF na začátku zátěže je dosaženo rychleji rovnovážného stavu, tím vzniká menší kyslíkový deficit a zotavení trvá kratší dobu (Javorka, Žila, & Balcárek, 2002).

V první minutě zotavení dochází k výraznému poklesu SF nezávisle na velikosti intenzity předchozího zatížení, na kterém se podílí zejména reaktivace vagu, protože k poklesu hladiny noradrenalinu dochází až ve druhé minutě od ukončení zatížení (Perini et al., 1989). Autoři dále uvádějí, že na následném a již pozvolnějším poklesu SF se začíná uplatňovat snižující se aktivita sympatiku. Javorka et al. (2002) považují rychlost pozátěžového poklesu SF za ukazatel kardiální vagové reaktivace.

Změny v HRV po intenzivním fyzickém cvičení dostatečné intenzity přetrvávají až 48 hodin (Jakubec, Stejskal, Aláčová & Kalina, 2002). Jakubec (2005), stejně jako my, využíval komplexních indexů (Stejskal et al., 2002) v průběhu 48hodinového zotavení po 60minutovém dynamickém zatížení na úrovni 75 % MTR. U celkového spektrálního výkonu zaznamenal návrat nad předzátěžovou úroveň (možná superkompensace autonomní aktivity).

Podle Stejskala et al.(2001) a Task Force (1996) i z výsledků mnoha dalších studií vyplývá, že čím je relativní intenzita zatížení vyšší, tím větší je redukce jednotlivých spektrálních výkonů a tím bude i pomalejší návrat k jejich výchozím hodnotám. Objevují se mnohé studie sledující rozdíly v zotavení mezi trénujícími a netrénujícími jedinci. U trénovaných vytrvalců byl v 15. minutě zotavení naměřen vyšší výkon komponenty HF než ve skupině netrénovaných jedinců (Shin et al., 1995) a dále byla zjištěna negativní korelace mezi hodnotou $VO_2\max$ a délkou zotavení (Hutala et al, 2001).

2.5 Aerobní zdatnost a maximální spotřeba kyslíku

Aerobní zdatnost lze obecně definovat jako způsobilost organismu účelně přijímat, přenášet a využívat kyslík k pohybové činnosti. Hlavní efekt se projeví ve schopnosti svalů vykonávat práci vytrvalostního charakteru (Choutka & Dovalil, 1991). Tento složitý komplex dispozic je v literatuře často spojován s pojmy kardiovaskulární či kardiorespirační zdatnost nebo též obecná pohybová vytrvalost.

Testování aerobní zdatnosti závisí na třech komponentách. Na $VO_2\text{max}$, ekonomice pohybu a na anaerobním práhu (Basset & Howley, 2000). Ekonomika pohybu na běhátku je dána poměrem $\text{ml } (VO_2 \cdot \text{kg}^{-1})$ na 1 km běhu $[(\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1}) \cdot \text{km}^{-1}]$ nebo poměrem výkonu (P) a energetického obratu (E) $ME = P/E$ na bicyklovém ergometru. Anaerobní práh se udává v hodnotách % $VO_2 \text{ max}$ nebo stanovíme „maximální aerobní rychlost“ (maximal aerobic speed MAS) (Placheta, 1999).

Někteří autoři považují hodnotu $VO_2\text{max}$ za klíčového ukazatele vytrvalostní výkonnosti (Basset & Howley, 2000; Kučera et al., 1999; Placheta et al., 1999). Přesto nevidí rozhodujícím ukazatelem aerobních schopností $VO_2\text{max}$, ale anaerobní práh. $VO_2\text{max}$ je však podmiňující faktor anaerobního práhu. Dle Noakese (2003) je v běžeckých disciplínách skutečným parametrem výkonnosti maximální běžecká rychlost, kterou je schopen běžec vyvinout a udržet, nikoli hodnota $VO_2\text{max}$ naměřená při tomto maximálním výkonu.

Metabolická zdatnost = maximální aerobní kapacita = maximální spotřeba kyslíku byla definována Hillem a Luptonem v roce 1923 (Levine, 2008) jako maximální množství přijatého kyslíku, které je organismus schopen využít při svalové práci (Basset & Howley, 2000). $VO_2\text{max}$ je jedním z nejvíce všudypřítomných ukazatelů vědeckých studií. Využívá se ve sportovní medicíně pro testování výkonnosti populace (Tomkinson et al., 2007), pro zjišťování limitů adaptace lidského organismu (Hoppeler & Weibel, 2000; Prampero, 2003), jako marker kardiovaskulárních onemocnění (Blair et al., 1996; LaMonte et al., 2006) a náhlých srdečních selhání (Weber et al., 1987).

Konkrétní hodnoty $VO_2\text{max}$ jsou pro každého individuální a dány vzájemnou interakcí centrálních (kardiorespiračních) a periferních (svalových) faktorů (Cacek, 2008).

2.5.1. Měření VO₂max.

Zjištění hodnoty VO₂max má zásadní diagnostický význam při testování sportovce, především z hlediska posouzení fyziologických předpokladů organismu pro zátěž vytrvalostního charakteru. Při stupňovaném zatížení do maxima stoupá spotřeba kyslíku do dané úrovně, kterou již není testovaná osoba svou funkční zdatností ani při dalším zvýšení intenzity přesáhnout (Hawkins et al., 2007). Část energie pro svalovou práci hradí anaerobní způsob bez kyslíku (Robergs et. al, 2004). Příčinou je akumulace protonu vodíku (H⁺) související s produkcí laktátu. Zvýšená akumulace protonů brání při intenzivní svalové kontrakci štěpení ATP (Roberts et al., 2004) a organismus je nucen díky nastupující únavě pohyb zastavit. Ne vždy pozorujeme znatelné plató příjmu kyslíku. U dětí, netrénovaných a starších jedinců je problém posoudit, zda je spotřeba kyslíku skutečně maximální (Powers & Howley, 1997). Hamar a Lipková (2001) např. uvádějí jako kritéria relativního maxima dosažení maximální tepové frekvence, respirační kvocient vyšší jak 1,15, ventilační ekvivalent pro kyslík vyšší než 35, hladina laktátu po zátěži vyšší než 7 mmol.l⁻¹. Měření se standardně provádí v laboratořích na ergometrech (obvykle běžeckých či bicyklových). Výsledky VO₂max zjištěné na běžeckém ergometru bývají o 5 – 10 % vyšší než na bicyklovém ergometru, což způsobuje vyšší objem zapojených svalů při běhu (Cacek, 2008).

Je třeba zdůraznit, že výše VO₂max není rovnocenná s výší sportovního výkonu. Nikdy nenahradí specifika a individuální podmínky určité sportovní disciplíny. Jedná se o fyziologickou vlastnost ohraničenou parametrickými limity Fickovy rovnice (Levine, 2008). Fickova rovnice udává kapacitu transportního systému a je stanovena z minutového srdečního výdeje a arteriovenózního rozdílu (Placheta et al., 2001).

$$\text{VO}_2\text{max} = (\text{SF} \cdot \text{Q}_s)\text{max} \cdot (\text{a} - \text{v})\text{O}_2\text{max} \cdot 10^{-2}$$

Minutový srdeční výdej závisí na srdeční frekvenci (SF) a systolickém objemu (Q_s). Systolický objem se zvyšuje do SF 110 – 120 tepů, poté se výdej zvyšuje jen díky narůstající SF a od 180 tepů systolický objem dokonce klesá pro nedostatečné naplnění levé komory (Hamar & Lipková, 2001). Práce Fergusna et al. (2001) prokázala, že u sportovců se srdce rychleji naplňuje i při vysoké intenzitě cvičení a umožňuje vytrvalostním sportovcům nadále zvyšovat systolický objem na vyšší úrovni výkonu.

Arteriovenózní rozdíl je rozdíl mezi obsahem kyslíku v arteriální krvi a v krvi venózní, která se vrací do srdce. Je dána schopností svalů přijímat a využít O_2 z krve. Odvíjí se od prokrvení svalů – redistribuce krve, počtu mitochondrií a množství pracujících svalů. V klidu využije organismus 50 ml O_2 z 1 l krve a v zátěži až 170 ml O_2 z 1 l krve. Na zvýšení VO_{2max} se podílí arteriovenózní rozdíl asi jen z 20 % oproti minutovému srdečnímu výdeji ze 70- 85 % (Placheta et al., 2001).

V praxi sportovního tréninku je měření VO_{2max} nahrazováno měřením srdeční frekvence. Lineární vztah mezi % maximální tepové rezervy MTR a % VO_{2max} vedl k tomu, že se snadno kontrolovatelné % MTR začalo používat jako „náhražka“ za v praxi těžce měřitelné % VO_{2max} (Jakubec et al., 2007). Brawner et al. (2002) upřednostňují použití procenta kyslíkové rezervy ($VO_2R = VO_{2max} - VO_{2klid}$) pro těsnější vztah mezi % MTR . Podle studie Jakubec et al. (2007) vykazuje spotřeba kyslíku (vyjádřena jak pomocí % VO_2R , tak i % VO_{2max}) při práci v setrvalém stavu nižší hodnoty, než by odpovídalo intenzitě zatížení vyjádřené % MTR. Při zvyšující se intenzitě zatížení tento rozdíl narůstá. Závěrem stanovili pro preskripci intenzity zatížení při stupňované zátěži výhodnější využití procenta kyslíkové rezervy (% VO_2R), a při práci v setrvalém stavu % VO_{2max} (Jakubec et al., 2007).

Při opakovaném testování porovnáváme hodnoty VO_{2max} v delším časovém horizontu. Nižší spotřeba kyslíku při stejném nebo dokonce i vyšším zatížení, resp. rychlosti svědčí o zlepšené svalové práci, jako důsledku specifické tréninkové adaptace (Levine, 2008).

Testy pro zjištění úrovně VO_{2max} napomáhají trenérům při výběru talentů a předurčují uplatnění i výkonnost sportovce pro tu či onu disciplínu (Basset & Howley 1997, 2000). I úspěšní sprinteři mají velmi vysokou aerobní kapacitu. Aerobní systém je základem téměř všech tréninkových programů. Většina sportovních disciplin vyžaduje vysokou úroveň aerobní kapacity. Čím více aerobní kapacity (VO_{2max}), tím lépe (Novotný & Novotná, 2008).

2.5.2. Faktory ovlivňující hodnotu VO_{2max} .

VO_{2max} závisí na spolupráci a souhře tří systémů, respiračním, kardiovaskulárním a svalovém (Hamar & Lipková, 2001). Respirační systém je zodpovědný za ventilaci tedy množství vzduchu v litrech, které je jedinec schopný prodýchat za minutu. Další důležitou fází je alveolo-kapilární difuze kyslíku postavená na množství erytrocytů a hemoglobinu. Basset a Howley (2000) udávají stěžejním činitelem výkon srdce

(minutový srdeční objem) a schopnost krevního oběhu transportovat kyslík. Svalový systém určuje oxidativní kapacitu svalstva, která je dána množstvím mitochondrií a aktivitou oxidačních enzymů, hustotou kapilár ve svalech a poměrem rychlých a pomalých svalových vláken (Cacek, 2008). Dle Wassermana (1999) je hlavním limitujícím faktorem kardiovaskulární systém, který je rozhodujícím. Dýchací a svalový systém nejsou limitujícími faktory.

Průměrné hodnoty VO_2max u mužů se nalézají mezi $3 - 3,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($45 - 50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). U žen byly zjištěny hodnoty mezi $2 - 2,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ($35 - 40 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Vrcholoví sportovci mohou dosahovat absolutních hodnot až $7 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ (muži), u žen $5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$. Nižší hodnoty VO_2max u žen jsou způsobeny větším množstvím podkožního tuku (tzn. menší množství aktivní tělesné hmoty), menší velikostí srdce a plic v poměru k rozměrům těla a nižší koncentrací hemoglobinu v krvi (Grasgruber, Cacek, 2008).

Klissouras (1973) studoval na dvojčatech rozdíly v maximální spotřebě kyslíku. Zjistil, že maximální aerobní kapacita je z 81 % determinována geneticky. U monozygotního páru dvojčat, z nichž od 15 let jedno vedlo sedavý způsob života bez mimořádné tělesné aktivity a druhé pravidelně trénovalo (kopaná a lední hokej), byly nalezeny 40 % rozdíly v maximálním aerobním výkonu a 60 % v anaerobní kapacitě. I když dosahuje VO_2max dosahuje individuálního maxima, může vytrvalostní výkonnost při kvalitním vytrvalostním tréninku kontinuálně stoupat několik roků. Daniels (1978) uvádí, že pravidelným cvičením u běžné populace můžeme zvýšit úroveň VO_2max v rozmezí 5 – 15 %.

Důležitou úlohu pro maximální spotřebu kyslíku sehrává věk organismu. U dětí pozorujeme výrazné změny výkonnosti v prepubertálním období (10 – 11 r.), a pak ve fázi pubertálního růstu (14 – 15 let). Např. u mladých lyžařů běžců lze zaznamenat roční přírůstky VO_2max až $20 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-2/3}$. V adolescenci (17 – 20 r.) jsou přírůstky nižší a VO_2max se ročně zvyšuje jen o $5 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-2/3}$ (Krahulcová, 2007). Naopak po 25. roce života dochází k snížení hodnoty VO_2max za jednu dekádu (tj. 10 let) průměrně o 5 % i při standardní trénovanosti (Pollock, Foster et al. 1987). Již u 10-letých dívek a 11-letých chlapců lze na základě vyšetření funkční zdatnosti částečně posoudit potenciální trénovatelnost. U 12-letých dětí s vysokou hodnotou VO_2max se předpokládá s kvalitní vytrvalostní výkonnosti v dospělosti (Krahulcová, 2007).

V období růstu a vývoje se doporučuje vyjadřovat roční přírůstky hodnot VO_2max rozměrem $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-2/3}$, který umožňuje porovnávat jedince bez ohledu na jejich

rozdílné tělesné dimenze. Vztah mezi VO_2max ($\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$) a tělesnou hmotností je nelineární funkcí. Rychlost dodávky kyslíku se s plochou tělesného povrchu (= tělesná výška²) snižuje, zatímco spotřeba kyslíku ve tkáních stoupá s tělesnou hmotností a objemem těla (= tělesná výška³). Proto by relativní hodnoty VO_2max v $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ mohli podhodnotit těžší a rozměrnější sportovce. Pokud je ale užit přepočít na $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-2/3}$, jsou prakticky shodné (Cacek, 2008). U vytrvalostních běžců se využívá ještě vyjádření VO_2max v $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-3/4}$, které lépe vyjádří podíl svalstva na těle (Nevill et al., 2004).

VO_2max a výkon souvisejí se změnami nadmořské výšky. S jejím nárůstem upadají především výkony běžeckých disciplín na větší vzdálenost jak 800 m (události trvající déle než 2 min) (Peronnet et al., 1991). Studie Wehrlin a Hallen (2006) prováděla opakované supramaximální testy u trénovaných sportovců v nastavené nadmořské výšce od 300 m do 2800 m. I přes dodržení konstantní rychlosti ve všech výškách, byla VO_2max snížena lineárně o 0,6 % na 100 m nadmořské výšky, v přímé úměře k poklesu kyslíkové saturace. Výkon byl snížen o 1,4 % na 100 m nadmořské výšky v přímé úměře k poklesu VO_2max . Tato studie poskytla jasný důkaz, že VO_2max je úzce vázán na transport kyslíku, i když rozdíly jsou poměrně malé, zejména v dobře trénovaných vytrvalostních sportovců (Wehrlin & Hallen, 2006).

2.5.3. VO_2max a laktátový práh

Během posledních téměř 50 let, krevní laktátová křivka a laktátový práh sehrály důležitou roli v diagnostice vytrvalostní výkonnosti. Laktátový práh slouží jako nejkonzistentší prediktor výkonnosti ve vytrvalostních sportech. Opakovaně byla zjištěna vysoká korelace mezi vytrvalostní výkonností (běh, cyklistika a závodní chůze) a maximální setrvalou intenzitou zatížení při laktátovém prahu (McArdle et al., 1996).

V klidu a za podmínek setrvalého stavu je rovnováha mezi produkcí a eliminací krevního laktátu (Brooks, 2000). Laktátový práh udává nejvyšší intenzitu zatížení, při které ještě nedochází k prudkému vzestupu hladiny krevního laktátu (Robergs & Roberts, 1997). Při práci nad laktátovým prahem se zpožďuje degradace laktátu za jeho tvorbou (Katz & Sahlin, 1988). Anaerobní systém (glykolýza a makroergní fosfáty) však nikdy (ani za maximální intenzity zatížení) kompletně nepřevzme úkol regenerace ATP (Robergs et al., 2004).

Mezi odborníky se vede intenzivní a dlouhodobá diskuse na téma terminologii a fyziologického pozadí laktátového prahu (Faude et al., 2009). Dříve bylo přijímáno dělení na aerobní a anaerobní práh, které se již pro nové poznatky o využívání energetických zdrojů nepoužívá (Stejskal, 2006). Využití zůstalo jen z didaktických důvodů (Vojtěchovský, 2009). Anaerobní práh odpovídá nejbližší maximální intenzitě stabilního laktátu MLSS (Maximum Lactate Steady State), při které je ještě koncentrace krevního laktátu stabilní. Laktátový práh vyjádříme intenzitou zátěže (výkon na ergometru, rychlost pohybu při běhu, plavání apod.) nebo příslušnými fyziologickými ukazateli (koncentrace laktátu v krvi, úbytek bázi v krvi, ventilace, srdeční frekvence, dechová frekvence, příjem kyslíku, stupeň subjektivního pociťování zátěže atd.).

Tréninkem je možno laktátový práh výrazně posunout. U netrénované populace se pohybuje kolem 60 % VO_2max , u vysoce trénovaných na úrovni 80-90 % VO_2max i více (Novotný & Novotná, 2008). Takže sportovec s VO_2max 85 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ a anaerobním prahem 75 % VO_2max (tj. 64 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$) bude zřejmě výrazně horším vytrvalcem, než-li sportovec s VO_2max 76 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$, ale anaerobním prahem 95 % VO_2max (72 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$) (Cacek, 2008).

2.6 Kardiorespirační adaptace na sportovní trénink

Adaptace se bere jako obecný biologický děj, který představuje soubor morfologických, biochemických, funkčních i psychologických změn v organismu. Změny organismů vedou k zachování homeostatické rovnováhy. Na každé narušení homeostázy reaguje organismus regulačními mechanismy, které podmiňují změny orgánové funkce tak, aby se narušení minimalizovalo. Adaptace mohou nastat na úrovni metabolismu jako celku, orgánů, buněk i na úrovni metabolické. Mohou v sobě zahrnovat, jak poměrně jednoduché chemické děje, tak i změny v chování jedinců nebo dokonce celé společnosti. Činnost orgánů je kontrolována prostřednictvím CNS a systémy hormonální regulace, kde většinou uplatní systém tzv. funkce „zpětné“ vazby. Člověk má geneticky zafixovány požadavky na minimální (optimální) pohybový režim, který je nutno splnit, aby se struktura orgánů, metabolické procesy i fyziologické funkce vyvíjely na dostatečné úrovni (Krahulcová, 2007).

Aby fyzická zátěž vyprovokovala adaptační změny, musí mít určitou (minimální) frekvenci, intenzitu a trvání („overload“). Různé druhy cvičení vedou k různým výsledkům. Specifickou stimulací lze dosáhnout adaptace určitých metabolických a fyziologických funkcí. Tréninková adaptace je přechodná (princip reverzibility). Bez tréninku dochází k ztrátě tréninkové adaptace – k detréninku. Při nadměrném tréninku se objevuje riziko přetížení („overreaching“). V případě jeho vzniku většinou stačí několik dnů až 1-2 týdny odpočinku, aby nedošlo k další kumulaci únavy a rozvoji přetrénování („overtraining syndrom“). Jeho rozvoj a řešení se stává problémem měsíců až roků (Novotný & Novotná, 2008).

Důležitým faktorem při zatěžování organismu je jeho trénovanost, tj. úroveň jeho adaptace na zatěžování. Tréninkový režim by měl být individualizován pro každého jedince, zvláště co se týče intenzity cvičení a délky intervalu mezi cvičeními, ale i počtu opakování cvičení v jednom cyklu apod. Přitom nám mohou být pomocníkem např. sledovaná rychlost běhu, velikost hodnoty srdeční frekvence, energetický výdej, hladina La v krvi v průběhu nebo po skončení činnosti (Lehnert et al., 2001).

Frekvenci tréninkových podnětů při rozvoji všeobecné zdatnosti (u populace) volíme nejméně 3 – 4 x týdně, při rozvoji trénovanosti 4 – 6 x týdně, denně nebo i několikrát denně. V přestávkách mezi jednotlivými tréninkovými jednotkami by mělo docházet k úplnému odstranění následků akutní únavy, která vznikla vlivem předchozí tréninkové dávky. Přestávku volíme tak dlouhou, aby z hlediska

optimálního tréninkového efektu došlo k dalšímu zatížení ve fázi superkompenzace, což není vždy jednoduché odhadnout. U rychlostních a silových činností dochází k nahromadění většího množství energetického potenciálu dříve (s kratší dobu trvání) nežli u činností vytrvalostního typu. Důležitý je také alespoň jeden den v týdnu odpočinkový, popř. s lehkým kondičním tréninkem. Při vícefázovém tréninku je nutné postupovat obdobně, např. střídat tělesnou přípravu s taktickou či technickou (Krahulcová, 2007).

2.6.1 Adaptace kardiovaskulární soustavy

Trénink u sportovců představuje pro srdce zátěž, která vede na úrovni srdce ke dvěma prokazatelným změnám: k hypertrofii levé komory a ke snížení klidové tepové frekvence. Zátěžové EKG vyšetření prokazuje u sportovců oproti netrénovaným jedincům nižší klidové i zátěžové hodnoty tepové frekvence. Byly pozorovány extrémně nízké SF pohybující se mezi 30-35 tepy. Tzv. sportovní bradykardie je výrazem převahy vlivu parasympatické větve autonomního nervového systému (vago-tonie) nad sympatikem a zvýšeným systolickým objemem srdce (Wilmore, 2004).

Netrénované srdce při intenzivní svalové práci zvyšuje systolický objem ze 70 ml na 100 ml, adaptované srdce vytrvalce ze 100 ml až na 200 ml. Na zvýšení systolického objemu se podílí nárůst celkového objemu cirkulující krve a fyziologické zvětšení srdce. Při vrcholném výkonu minutový srdeční objem stoupá na maximální hodnoty 30-35 l krve, vyjímečně i 45 l za minutu. Vysoké minutové objemy srdeční jsou podmíněny již zmíněným zvýšením systolického srdečního objemu a zvýšením tepové frekvence na 180-200 tepů.min⁻¹. Maximální tepová frekvence je však srovnatelná jako u netrénované populace, či dokonce vyšší. Je jí ovšem dosahováno při nesrovnatelně vyšší úrovni zátěže. Fáze zotavení je rychlejší než u netrénovaných. Většina rytmů a depolarizačních změn spojených s vysokým tonem vagu během zátěže mizí (Hamar & Lipková, 2001).

Objemové zatížení srdeční svaloviny při vytrvalostních aktivitách vede ke zvětšení srdečních dutin při normální nebo jen hraniční šíři stěn. Dochází k tzv. regulativní dilataci s dobrou kontraktilitou, lepším využíváním laktátu jako energetického zdroje. Má menší nároky na dodávku kyslíku. Po ukončení tréninku tyto adaptační změny ustupují, velikost dutin i šíře srdečních stěn se postupně vracejí k výchozímu stavu (Oakley, 2001). Hypertrofie levé srdeční komory nejčastěji představuje

adaptační proces na zatížení tlakové (zvýšení dotížení) nebo objemové (zvýšení předtížení), popřípadě jde o kombinaci obou faktorů. Sportovní hypertrofie může sice dosáhnout značného stupně, udává se však, že by tloušťka stěn hodnocená pomocí echokardiografie rozhodně neměla u většiny sportovců přesáhnout 13 mm (Hildick-Smith & Shapiro, 2001). Z výše uvedených pravidel se vymykají ultramaratonci a jiní extrémní vytrvalci. Japonští autoři prokázali u více než 11 % těchto sportovců velikost levé komory nad 70 mm v diastole a tloušťku septa dosahující až 19 mm (Nagashima, Musha & Takada et al., 2003).

Tlakové zatížení srdeční svaloviny při silových disciplínách stimuluje paralelní zmnožení (replikaci) sarkomer a může vést ke ztluštění srdečních stěn s normální nebo dokonce zmenšenou velikostí dutin (koncentrická hypertrofie). Silový trénink je charakteristický výrazným vzestupem tlaku krve. Dynamické i izometrické svalové kontrakce vedou ke stlačení periferních cév a tím ke zvýšení periferního odporu. Potřeba fixace hrudníku (tzv. Valsalvův efekt) zvyšuje nitrohrudní tlak. Vedle fyziologicky zvětšeného srdce se velmi často setkáváme s patologicky zvětšeným srdcem, ale zde je hlavní rozdíl ve výkonnosti a slabé kontraktilitě svaloviny (Hamar & Lipková, 2001).

Adaptační změny na srdci pozorujeme jen zřídka dříve jak za dva roky intenzivního vytrvalostního tréninku. Podstatně rychleji reagují na zatížení jednotlivé periferní mechanismy (Hamar & Lipková, 2001). Nejdříve se zvyšuje objem plazmy (po 2 až 3 týdnech fyzické aktivity) i počet červených krvinek a celkové množství hemoglobinu. Nárůst objemu plazmy je však výraznější. To se projeví (přestože je absolutní počet červených krvinek vyšší) snížením hematokritu a snížením viskozity krve s následným příznivým ovlivněním krevního oběhu (cirkulace). Všechny adaptace vedou k usnadnění přisunu kyslíku k aktivním svalům (Wilmore, 2004).

Za adaptační změnu považujeme i zvýšení množství červených krvinek, ke kterému dochází při pobytu ve vysokohorském prostředí. Zvyšování počtu červených krvinek zlepšuje podmínky pro transport kyslíku z plic do pracujících orgánů. Stimulační účinek erytropoetinu se uplatňuje i u zdravých jedinců s normálními hodnotami krevního obrazu. Při jeho zneužití hrozí nadměrné zvýšení počtu červených krvinek, a tím zhoršení podmínek pro proudění krve, zvýšení krevní srážlivosti i pravděpodobnosti komplikací. Zvyšuje se i krevní tlak. Adaptace periferie se projevuje i zvýšením kapilarizace činných svalů. Současné zvětšení počtu a ploch mitochondrií i zvýšení aktivity oxidačních enzymů vede ke zvětšení extrakce a utilizace nabízeného kyslíku i energetických zdrojů (Krahulcová, 2007)

2.6.2 Adaptace respirační soustavy

Hlavní funkcí kardiovaskulárního a dýchacího systému je zajistit přísun O_2 a energetických zdrojů pracujícím svalům i dalším tkáním a odsun CO_2 s dalšími metabolity. Systematický trénink vede ke zvýšení síly a celkové výkonnosti dýchacích svalů i propustnosti membrán mezi plicními měchýřky a kapilárami pro kyslík. Zvyšuje se vitální kapacita plic. Plicní objem zůstává po vytrvalostním tréninku nezměněný. Dechový objem zůstává nezměněný v klidu, ale při submaximální práci a při maximální práci se zvyšuje. Frekvence dýchání se také v klidu nemění, při submaximální práci se mírně snižuje, při maximální práci se významně zvyšuje. Kombinovaný vliv zvýšeného dechového objemu a frekvence dýchání se projevuje zvětšením plicní ventilace při maximální práci. Plicní difuze se při maximální práci zvyšuje (důsledek zvýšené ventilace a zvýšeného prokrvení plic). A-v difference po vytrvalostním tréninku významně stoupá (zejména při maximální práci). To vede ke zvýšení extrakce kyslíku a efektivnější distribuci krve. Poklesem ventilačního ekvivalentu pro O_2 stačí “předýchat” méně vzduchu. Koncentrace O_2 ve vydechaném vzduchu u netréňovaného je okolo 18 % = extrakce 3 %. U trénovaného to bývá 15 – 14 % = extrakce 6 – 7 % (Hamar & Lipková, 2001).

Nejlepší indikátor kardiorespirační vytrvalosti je VO_{2max} . I když dosahuje VO_{2max} individuálního maxima, může vytrvalostní výkonnost při kvalitním vytrvalostním tréninku kontinuálně stoupat několik roků. Aerobní kapacita s věkem klesá - příčinou může být redukováná pohybová aktivita i ztráta svalové hmoty. Ženy mají hodnoty $VO_2 max$ asi o 10% nižší než muži. Jestliže je trénink specifický a odpovídá typu závodní aktivity, je nárůst kardiorespirační kapacity největší. Je důležité podotknout, že silový trénink kombinovaný s vytrvalostním tréninkem neredukuje zlepšení aerobní kapacity a může pomoci zvyšovat krátkodobou vytrvalost. Naopak zvýšení aerobní kapacity je důležité pro každého sportovce i silově a rychlostně zaměřeného (Krauhlová, 2007)

3 CÍLE A HYPOTÉZY

Hlavní cíl práce

Zjistit vztah mezi aktivitou autonomního nervového systému (ANS) sportovců a vybranými fyziologickými parametry (především mezi maximální spotřebu kyslíku).

Dílčí cíle

1. Posoudit úroveň aerobní kapacity, maximálního výkonu a aktivity ANS u prvoligových fotbalistů.
2. Najít vztah mezi vybranými fyziologickými parametry, aktivitou vagu a sympatovagovou rovnováhou.

Hypotézy

H₁: Mezi maximální spotřebou kyslíku a aktivitou ANS existuje vztah.

Komentář k H₁:

Maximální spotřeba kyslíku byla stanovena u fotbalistů v testu do „vita maxima“. Aktivita ANS je reprezentována komplexním indexem celkové skóre (CS).

H₂: Mezi maximální spotřebou kyslíku a aktivitou vagu existuje vztah.

Komentář k H₂:

Maximální spotřeba kyslíku byla stanovena u fotbalistů v testu do „vita maxima“. Aktivita vagu je reprezentována komplexním indexem vagové aktivity (VA).

Výzkumné otázky

1. Jaká je úroveň autonomní aktivity u sledovaných sportovců?
2. Jaké aerobní kapacity dosahují prvoligový fotbalisté?
3. Jakým způsobem se liší komplexní indexy VA, SVB a CS fotbalistů od průměrné mužské populace?
4. Jaká je úroveň vybraných fyziologických a somatických parametrů u fotbalistů?

4 METODIKA

4.1 Metodologický přístup

Metodologický přístup k předkládané práci bych klasifikoval jako experimentální a korelační (Blahuš, 1996). Mezi korelační faktory patří výsledky vyšetření SA HRV a vybrané fyziologické parametry maximálního zátěžového testu. Experimentální efekt vyšetření SA HRV a testu do „vita maxima“ mohly ovlivnit vnější podmínky i vnitřní stav organismu, proto se průběh celého výzkumu řídil přísnými limity. K pasivně sledovaným patřil věk, pohlaví, aktuální zdravotní stav, konzumace jídla a alkoholu, fyzické zatížení předcházející den. Mezi nesledované vstupní proměnné spadá dechová frekvence při měření HRV, psychický stav během vyšetření, roční období a aktuální trénovanost probanda.

4.2 Charakteristika souboru

Do experimentu bylo vybráno celkem 115 fotbalistů z prvoligových mužstev České a Slovenské republiky. Všichni hráči se věnují fotbalu na profesionální úrovni a podstoupili dlouholetý sportovní trénink, který u nich zaručoval získání fyziologických adaptací k pohybové aktivitě. V tabulce 2 je shrnuta jejich základní charakteristika.

Tabulka 2. Základní charakteristika fotbalistů (n=115)

N=115	Průměr	SD	Medián	Minimum	Maximum
Hmotnost [kg]	78,0	7,189	77,8	60,5	97,4
Výška [cm]	181,0	6,326	181,0	163,5	198,0
BMI [kg.m ⁻²]	23,8	1,567	23,6	20,8	28,6
VO₂max [ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹]	59,5	6,219	59,6	44,2	72,3
Věk [roky]	25,1	4,355	24,5	17,0	35,3

Vysvětlivky: N – počet vyšetření; SD – směrodatná odchylka hodnot; BMI – Body Mass Index, VO₂max – maximální spotřeba kyslíku.

4.3 Metodika sběru dat

4.3.1 Časové a prostorové vymezení

Do výzkumu se shromáždily data z vyšetření provedených od června roku 2006 do prosince 2008. Za celé období nedošlo k porušení standardních podmínek a bylo použito stejných přístrojů. Veškerá vyšetření se uskutečnila v zátěžových laboratořích Fakulty tělesné kultury (FTK) Univerzity Palackého v Olomouci.

4.3.2 Průběh vyšetření

Každý fotbalista nejdříve podstoupil základní antropometrické měření (výška, hmotnost a stanovení BMI), poté vyšetření aktivity ANS metodou SAHRV, po kterém následoval test do „vita maxima“. Měření probíhala vždy mezi 8. a 10. hodinou ranní.

Všichni sportovci byli již před začátkem vyšetření obeznámeni s průběhem výzkumu a patřičně poučeni o negativních vlivech pro výsledky vyšetření. Den před vyšetřením jim bylo doporučeno vyhnout se náročnější fyzické i psychické aktivitě, konzumaci alkoholu a na vyšetření se dostavit nalačno.

4.3.3 Vyšetření aktivity ANS

K vyšetření aktivity ANS jsme využili diagnostický systém VariaCardio TF4 snímající a vyhodnocující SA HRV. HRV je monitorována během standardizovaného ortoklinostatického manévru v polohách leh – stoj – leh (L-S-L). První leh slouží pouze ke standardizaci výchozích podmínek měření. Stoj zaujímá ortostatickou stimulaci sympatiku a následující leh vyvolává klinostatickou stimulaci vagu.

Nejdříve je sportovci zapnut na hrudník vysílač a zkontrolován signál vysílače modulu systému VariaCardio TF4. Poté se sportovec připoutá z důvodu bezpečnosti v oblasti pasu k trakčnímu lehátku a je pasivně transportován do lehu. Po uběhnutí 30 sekund se spouští snímání EKG záznamu. Po uplynutí minimálně 5 min (300 R–R intervalů) v lehu je sportovec pomalu pasivně přetočen do stoje, kde se znovu po 30 s intervalu změní další záznam. Po 5 min intervalu ve stoji následuje opětovné pasivní přemístění do polohy v lehu. Stejně jako u předešlých dvou poloh bylo před spuštěním posledního záznamu odpočítáno 30 sekund. Po zaznamenání posledního

statistického intervalu zůstal sportovec ještě 30 sekund v klidu ležet a poté byl informován o konci vyšetření. V průběhu vyšetření je sportovec izolován od rušivých podmětů poslechem relaxační hudby ze sluchátek a má zavřené oči.

4.3.3.1 Diagnostický systém VariaCardio TF4

Mikropočítačový diagnostický systému 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. Jako snímací jednotky EKG signálu jsme užívali hrudního pásu od firmy Polar, s vestavěnými elektrodami a procesorem. Vysílač umožňuje zesílení a filtrování rušivých složek snímaného EKG signálu. 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).

4.3.3.2 Výpočet parametrů SA HRV

Výsledkem vyšetřovací metody v polohách LEH-STOJ-LEH je prostorové zobrazení dynamiky aktivity ANS během měření (Příloha 3). K výpočtu parametrů SA HRV se využívá metody rychlá Fourierova transformace (FFT) s částečně upraveným algoritmem CGSA (Course Graining Spectral Analysis) (Yamamoto & Hughson, 1991). V předkládané práci byly definovány fluktuace frekvenčního rozsahu od 20 do 500 mHz do jednotlivých komponent následovně:

- 1, VLF (very low frequency) – velmi pomalá frekvence v rozsahu od 20 do 50 mHz,
- 2, LF (low frequency) – pomalá frekvence v rozsahu od 50 do 150 mHz,
- 3, HF (high frequency) – vysoká frekvence v rozsahu od 150 do 500 mHz.

Výsledkem FFT s částečně upraveným algoritmem CGSA (Course Graining Spectral Analysis) (Yamamoto & Hughson, 1991) je výpočet výkonové spektrální

hustoty – PSD (Power Spectral Density) jednotlivých spektrálních komponent PSD_{VLF} , PSD_{LF} a PSD_{HF} [$ms^2 \cdot Hz^{-1}$] (Salinger et al., 1998). Výpočet PSD dle algoritmu CGSA spočívá ve výpočtu rozdílu výkonové spektrální hustoty S_{xx} datového souboru $x(t)$ a absolutní hodnoty vzájemné výkonové spektrální denzity S_{xy} souborů $x(t)$ a $y(t)$ (Salinger et al., 1994).

Výpočet probíhá podle níže uvedené rovnice:

$$PSD = S_{xx} - S_{xy} = F[x(t)] \cdot F^*[x(t)] - F[x(t)] \cdot F^*[y(t)]$$

- $x(t)$ – soubor hodnot R–R intervalů analyzovaného úseku
- $y(t)$ – pomocný soubor vytvořený zdvojením souboru $x(t)$ pro výpočet dle algoritmu CGSA
- $F[x(t)]$ – Fourierova transformace funkce $x(t)$
- $F^*[x(t)]$ – komplexně sdružená Fourierova transformace funkce $x(t)$
- $F^*[y(t)]$ – komplexně sdružená Fourierova transformace funkce $y(t)$

Parametr PSD se používá pro výpočet dalších odvozených parametrů SAHRV. Máme běžně užívané ukazatele HRV, které vypočítáme z jednotlivých krátkodobých záznamů HRV a komplexní věkově standardizované indexy, jejichž výpočet získáme ze záznamů HRV ve stoji a druhém lehu zkoušky L-S-L (Salinger et al., 1998; Stejskal et al., 2002). V předkládané práci byly zpracovány a posuzovány pouze komplexní věkově standardizované indexy SA HRV.

4.3.3.3 Komplexní věkově standardizované ukazatele HRV

K hodnocení krátkodobého záznamu HRV byly použity komplexní indexy (Stejskal, Šlachta, Elfmark, Salinger, & Gaul-Alačová, 2002). Autoři se pokusili všechny věkově závislé ukazatele SAHRV získané během ortoklinostatického manévru co nejvíce zjednodušit. Věkově závislé ukazatele získané ze stoje a druhého lehu ortoklonostatického manévru byly rozděleny na základě faktorové analýzy do pěti faktorů (Tabulka 3). U každého faktoru byl zvolen na základě korelačního koeficientu daného ukazatele a kalendářního věku „reprezentant“ faktoru. Parametry % HF v lehu, R–R a LF/HF ve stoji byly svým vztahem na věk nezávislé (Stejskal et al., 2002).

Tabulka 3. Rozdělení ukazatelů se stejným průběhem závislosti na věku

Faktor	Reprezentant faktoru a další zahrnuté parametry
F1	L_CC_{HF} a L_P _T , L_P _{HF} , L_MSSD
F2	S_CC_{LF} a S_P _T , S_P _{LF}
F3	S_CC_{HF} a S_P _{HF} , S_%HF, S_MSSD
F4	L_LF/HF a L_%LF
F5	L_VLF/HF a L_%VLF, L_VLF/LF

Vysvětlivky: S – ukazatel získaný ze stoje zkoušky L-S-L; L – ukazatel získaný z druhého lehu zkoušky, (upraveno podle Stejskala et al., 2002; Šlachty et al., 2002).

Následně byly věkově závislé ukazatele rozděleny do čtyř skupin (S1–S4):

S1 – v lehu, descendentní průběh (F1+%HF v lehu);

S2 – po ortostatické stimulaci, descendentní průběh (F2+F3);

S3 – v lehu, ascendentní průběh (F4+F5);

S4 – po ortostatické stimulaci, ascendentní průběh (intervaly R–R ve stoji a LF/HF ve stoji) (Stejskal et al., 2002).

Komplexní index vagové aktivity (VA) byl získán sloučením ukazatelů S1 a S2, který v sobě sdružuje faktory a ukazatele, jejichž hodnota má klesající tendenci s rostoucím věkem a se zvyšující se intenzitou zatížení (F1, F2, F3 a %HF v lehu). Komplexní index sympatovagové balance (SVB) vznikl sloučením ukazatelů S3 a S4, který reprezentuje faktory a ukazatele, jejichž hodnota se s věkem a zvyšující se intenzitou zatížení zvyšuje (F4, F5, R–R ve stoji a LF/HF ve stoji) (Botek, 2007). Ukazatel celkového skoré HRV (CS) je získán sdružením VA a SVB (Stejskal et al., 2002).

Hodnoty komplexních ukazatelů jsou vyjádřeny na bodech v rozsahu od -5 do +5. Normální fyziologické hodnoty CS se pohybují od -1,5 do +1,5 bodu. Normální hodnoty komplexních indexů VA a SVB jsou v rozmezí od -2 do +2 bodů a normální hodnota věkově závislého ukazatele P_T se pohybuje v rozmezí od -2,5 do +2,5 bodu. Obecně platí, že čím vyšší je bodová hodnota toho kterého ukazatele, tím výhodnější je ladění ANS; vysoká hodnota SVB tedy svědčí o převaze vagu nad sympatikem (Stejskal et al., 2004).

Těsnost statisticky významné závislosti jednotlivých faktorů nebo samostatných ukazatelů na věku se výrazně liší. Proto byla každému parametru na základě jeho korelace s věkem přiřazena váha. Váha byla vypočítána na základě hodnoty korelačního koeficientu faktoru nebo ukazatele s věkem (Stejskal et al., 2004).

Tabulka 4. Váha jednotlivých věkově závislých ukazatelů při jejich sdružování do komplexních ukazatelů (VA a SVB)

Ukazatel	L_CCV _{HF}	L_VLF/HF	S_CCV _{HF}	L_%HF	S_CCV _{LF}	L_LF/HF	S_R-R	S_LF/HF
Váha (v)	1,00	0,99	0,88	0,77	0,76	0,68	0,60	0,05

Vysvětlivky: L – ukazatel získaný ve druhém lehu zkoušky L-S-L; S – ukazatel získaný ve stoji zkoušky L-S-L, (upraveno podle Stejskala et al., 2002 a Šlachty, 1999).

Podle Stejskala (in Jakubec, 2005) jsou komplexní indexy vypočítány ze vztahů, kdy se zprůměrují jednotlivé skupiny ukazatelů (S1 s S2 v případě VA; S3 s S4 v případě SVB) a vynásobí se jejich váhou. CS sdružuje VA a SVB tedy všechny věkově závislé ukazatele.

Při vztažení hodnoty komplexního indexu CS ke kalendářnímu věku probanda dostaneme tzv. funkční věk (FV) ANS (Stejskal et al., 2002), který je referenční hodnotou aktuálního stavu ANS a vyjadřuje se způsobem kalendářního věku.

$$VA = \frac{L_CCV_{HF} \cdot 1 + L_ \% HF \cdot 0,77 + S_CCV_{LF} \cdot 0,76 + S_CCV_{HF} \cdot 0,88}{4}$$

$$SVB = \frac{L_LF/HF \cdot 0,68 + L_VLF/HF \cdot 0,99 + S_RR \cdot 0,6 + S_LF/HF \cdot 0,5}{4}$$

$$CS = \frac{L_CCV_{HF} \cdot 1 + L_ \% HF \cdot 0,77 + S_CCV_{LF} \cdot 0,76 + S_CCV_{HF} \cdot 0,88 + L_LF/HF \cdot 0,68 + L_VLF/HF \cdot 0,99 + S_R - R \cdot 0,6 + S_LF/HF \cdot 0,5}{8}$$

4.3.4 Test do „vita maxima“

Po základním antropometrickém měření a vyšetření aktivity SA HRV podstoupili fotbalisté test do „vita maxima“. Použili jsme modifikovaný protokol zátěžového testu, který popisuje Saltin a Åstrand (in Åstrand & Rodahl, 1977). Sloužil především pro získání zátěžových parametrů TFmax, VO₂max a Wmax. Pro co nejvyšší soulad s pohybem prováděným ve fotbalovém utkání bylo použito běžického ergometru Technogym Runrace HC 1200.

Protokol maximálního zátěžového testu na běžecím ergometru se skládal ze dvou částí:

1, Rozcvičení a zahřátí organismu trvalo osm minut. Výchozí rychlost byla nastavena 8 km.hod⁻¹. Po čtyřech minutách se rychlost zvýšila na 10 km.hod⁻¹.

2, Vlastní test plynule navázal na rozcvičení s počáteční rychlosti 12 km.hod⁻¹. Od druhé minuty vlastního testu se zvyšoval sklon o 2,5 % na konci každé další minuty až do odmítnutí (subjektivní pocit maxima).

Součástí testů byla analýza výměny plynů pomocí přístroje Oxycon Delta firmy Jäger. Spiroergometrie měla za úkol vyšetřit transportní systém pro kyslík a poměr vydechovaných plynů, za účelem spolehlivého ukazatele metabolického vytížení organismu. Jinými slovy jsme si mohli i kontrolovat, zdali podstoupili fotbalisté test naplno.

4.4 Statistické zpracování dat

Hodnoty komplexních ukazatelů jsou vyjádřeny v bodech (ve formátu matice dat), což umožňuje statistické zpracování dat prostřednictvím počítačového software MS Excel 2007. Ke statistickému zpracování jsem použil programy SPSS 10.0 a STATISTICA. K vyjádření vzájemných souvislostí mezi vybranými jevy byl využit Pearsonův korelační koeficient. Podle Pett (1997) byla závislost hodnocena následovně: <0,30 slabá závislost, 0,30–0,49 nízká závislost, 0,50–0,69 střední závislost, 0,70–0,89 silná závislost, >0,90 extrémně silná závislost.

Pro porovnání hodnot posuzovaných parametrů mezi herními pozicemi byla použita jednofaktorová ANOVA (post hoc Fischerův LSD test). Antropometrické a fyziologické ukazatele jsou dále prezentovány i ve formě základních statistických charakteristik – aritmetický průměr, směrodatná odchylka, maximální a minimální hodnota.

5 VÝSLEDKY

5.1 Základní antropometrické míry

Všech 115 fotbalistů se podrobilo základnímu antropometrickému měření. Průměrná tělesná hmotnost souboru činila $78,0 \pm 7,2$ kg a průměrná výška $181,0 \pm 6,3$ cm. Následně vypočítaný BMI se nacházel v rozmezí 20,8 až 28,6 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$. Věk sportovců se pohyboval od 17 po 35 let.

Tabulka 5. Základní antropometrické míry sportovců

N=115	Průměr	SD	Medián	Minimum	Maximum
Hmotnost [kg]	78,0	7,189	77,8	60,5	97,4
Výška [cm]	181,0	6,326	181,0	163,5	198,0
BMI [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]	23,8	1,567	23,6	20,8	28,6
Věk [roky]	25,1	4,355	24,5	17,0	35,3

Vysvětlivky: N – počet vyšetření; BMI – Body Mass Index; SD – směrodatná odchylka hodnot.

5.2 Výsledky vyšetření aktivity ANS

Jak je patrné z tabulky 6, nejvyšší hodnota komplexního indexu CS byla naměřena 3,26 a na druhou stranu nejnižší záporná hodnota -4,94 bodů. I z dalších výsledků vyplývá, že mezi sportovci jsou velké interindividuální rozdíly. Jak u parametrů VA i SVB jsou průměrné hodnoty okolo 0 bodů, ale někteří jedinci dosáhli okrajových hodnot třikrát až čtyřikrát vyšších či nižších.

Tabulka 6. Charakteristika komplexních indexů

N=115	Průměr	SD	Medián	Minimum	Maximum
CS	-0,08	1,983	0,24	-4,94	3,26
VA	0,11	1,992	0,27	-4,47	3,74
SVB	-0,24	2,091	-0,19	-4,81	3,87

Vysvětlivky: N – počet vyšetření; CS – komplexní index celkového skóre; VA – komplexní index vagové aktivity; SVB – index sympatovagové balance; SD – směrodatná odchylka hodnot.

5.3 Výsledky zátěžových vyšetření

Při stupňovaném testu do „vita maxima“ jsem sledoval u sportovců tepovou frekvenci, výkon a spotřebu kyslíku. Fotbalisté dosáhli v průměru maximální tepové frekvence 188 tepů.min⁻¹. Maximální spotřeba kyslíku se pohybovala v průměru na 59,5 ml.kg⁻¹.min⁻¹ s nejlepším výsledkem 72,3 ml.kg⁻¹.min⁻¹. V maximálním výkonu se vyšplhaly průměrné výsledky na 534 W a v přepočtu na kg váhy na 6,9 W.kg⁻¹. U klidové tepové frekvence byly nejnižší hodnoty naměřeny i 40 tepů/min s průměrnou hodnotou celého souboru 55,3 tepů.min⁻¹.

Tabulka 7. Ukazatelé maximálního zátěžového testu

N=115	Průměr	SD	Medián	Minimum	Maximum
VO₂max [ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹]	59,5	6,219	59,6	44,2	72,3
TFklid [TF.min ⁻¹]	55,3	9,779	53,5	40	90,1
TFmax [TF.min ⁻¹]	188	7,948	188	172	207
Wmax [W]	534	90,403	552	341	723
Wmax/kg [W.Kg ⁻¹]	6,9	1,088	7,0	3,9	8,4

Vysvětlivky: N – počet vyšetření; TFklid – klidová tepová frekvence; TFmax – maximální tepová frekvence; VO₂max – maximální spotřeba kyslíku; Wmax – maximální výkon; Wmax/kg – maximální výkon na kg hmotnosti; SD – směrodatná odchylka hodnot.

5.4 Výsledky podle herních postů

Veškeré výsledky byly analyzovány a vyhodnoceny i na základě jednotlivých hráčských postů ve fotbale (Tabulka 8). Obránci získali překvapivě prvenství v průměru VO_2max , který dosáhl nad $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Taktéž získali nejlepší průměrné výsledky v maximálním výkonu ($561,62 \text{ W}$), v maximálním výkonu v přepočtu na kg ($7,21 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$) a jejich průměr klidové srdeční frekvence činil $54 \text{ tepů}\cdot\text{min}^{-1}$. Záložníci disponovali téměř totožnou VO_2max nad $60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ a v maximálním výkonu v přepočtu na kg získali srovnatelné výsledky s útočníky. U útočníků došlo k mírnému snížení průměru VO_2max na $58 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. Společně s gólmany dosahují nejvyšší tělesné váhy a výšky. U gólmanů dochází k razatnému snížení maximálního výkonu a průměr VO_2max klesá téměř k $53 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

Tabulka 8. Průměrné hodnoty sledovaných parametrů podle herní pozice

Herní post	Obrana (n=37)		Záloha (n=42)		Útok (n=26)		Gólmani (n=10)		ANOVA-p
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	
Hmotnost [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]	77,61	6,31	75,33	5,55	80,28	8,76	85,57	5,81	0,0000
Výška [cm]	181,20	5,97	179,09	5,57	182,26	7,93	185,10	3,38	0,0290
BMI [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$]	23,62	1,35	23,50	1,58	24,12	1,56	24,99	1,80	0,0390
CS	-0,29	1,86	0,20	1,82	-0,22	2,45	-0,23	1,97	0,7590
VA	-0,14	1,93	0,43	1,98	0,15	2,19	-0,43	1,82	0,6010
SVB	-0,39	1,96	-0,23	1,99	-0,18	2,28	0,16	2,72	0,9430
VO_2max [$\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$]	60,80	5,74	60,65	5,20	58,26	5,82	53,19	8,94	0,0010
TFklid [$\text{TF}\cdot\text{min}^{-1}$]	54,18	8,72	55,89	10,33	56,08	11,12	54,90	8,43	0,9170
TFmax [$\text{TF}\cdot\text{min}^{-1}$]	187,08	7,75	188,49	7,62	188,08	8,57	191,70	8,60	0,5350
Wmax [W]	561,62	97,53	512,28	79,24	547,36	91,52	489,60	75,88	0,0180
Wmax/kg [$\text{W}\cdot\text{Kg}^{-1}$];	7,21	1,07	6,85	0,98	6,86	1,04	5,79	1,12	0,0010
věk	25,69	4,23	24,38	4,38	24,72	4,49	26,53	4,36	0,3840

Vysvětlivky: M – aritmetický průměr; SD – směrodatná odchylka hodnot, n – počet vyšetření, BMI – Body Mass Index; CS – komplexní ukazatel celkového skóre; VA – komplexní ukazatel vagové aktivity; SVB – komplexní ukazatel sympatovagové balance; TFklid – klidová tepová frekvence; TFmax – maximální tepová frekvence; VO_2max – maximální spotřeba kyslíku; Wmax – maximální výkon; Wmax/kg – maximální výkon na kg hmotnosti; ANOVA-p – Fischeruv LSD post hoc test, statisticky významné hodnoty * $p\leq 0,05$; ** $p\leq 0,01$.

Při vzájemném porovnávání komplexních indexů SAHRV mezi jednotlivými herními pozicemi pomocí jednofaktorové ANOVY (LSD) nebyl zjištěn žádný signifikantní rozdíl. Hlavní rozdíly jsem shledal v somatických dispozicích, v maximálním výkonu a ve VO₂max. Souhrn signifikantních rozdílů je znázorněn v tabulce 9.

Tabulka 9. Statisticky významné rozdíly sledovaných parametrů podle herní pozice (N=115)

Herní post	U vs O	U vs Z	U vs G	O vs Z	O vs G	Z vs G
hmotnost	ns	ns	**	**	ns	ns
výška	ns	ns	ns	ns	ns	**
BMI	ns	ns	ns	ns	ns	**
CS	ns	ns	ns	ns	ns	ns
VA	ns	ns	ns	ns	ns	ns
SVB	ns	ns	ns	ns	ns	ns
VO₂max	ns	ns	**	ns	*	**
TFklid	ns	ns	ns	ns	ns	ns
TFmax	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Wmax	*	ns	*	ns	ns	ns
Wmax/kg	ns	ns	ns	ns	**	**
věk	ns	ns	ns	ns	ns	ns

Vysvětlivky: U – útočníci; O – obránci; Z – záložníci; G – gólmáni, vs – versus; BMI – Body Mass Index; CS – komplexní ukazatel celkového skóre; VA – komplexní ukazatel vagové aktivity; SVB – komplexní ukazatel sympatovagové balance; TFklid – klidová tepová frekvence; TFmax – maximální tepová frekvence; VO₂max – maximální spotřeba kyslíku; Wmax – maximální výkon; Wmax/kg – maximální výkon na kg hmotnosti; statisticky významné hodnoty (post hoc Fisherův LSD test) *p≤0,05; **p≤0,01; ns – statisticky nevýznamné.

5.5 Vztah mezi komplexními indexy SAHRV a vybranými fyziologickými parametry

Výsledky obou vyšetření se podrobily statistickému zpracování. Závislost mezi proměnnými jsem vyhodnotil pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. Vzniklo tak 114 korelačních dvojic. Z tabulky 10 je patrné, že ani u jednoho komplexního ukazatele HRV nebyla prokázána pozitivní korelace s parametry zátěžového testu. Ani v případě VO₂max nebyl nalezen žádný vztah s komplexními indexy. Pouze se potvrdil vztah mezi klidovou tepovou frekvencí a všemi komplexními indexy CS, VA a SVB, kde jsem našel negativní nízkou až střední závislost. Co se týče parametrů samostatného zátěžového testu, byla shledána nízká pozitivní závislost mezi VO₂max a Wmax/kg. Další zvýrazněné závislosti v tabulce 10 jsou slabé nebo nevýznamné. Silné závislosti mezi komplexními ukazateli HRV i mezi maximálním výkonem a maximálním výkonem na kg hmotnosti jsou samozřejmostí.

Tabulka 10. Hodnoty Pearsonova korelačního koeficientu významné na hl. p <0,05 (n = 115)

Pearson Correlation	BIM	CS	VA	SVB	VO ₂ max	TFklid	TFmax	Wmax	Wmax/kg
BMI	1								
CS	0,036	1							
VA	0,027	0,941**	1						
SVB	0,043	0,801**	0,635**	1					
VO₂max	-0,220*	0,012	0,014	-0,018	1				
TFklid	0,030	-0,525**	-0,477**	-0,515**	-0,068	1			
TFmax	-0,173	0,042	0,100	-0,106	0,038	0,138	1		
Wmax	0,099	0,013	0,078	-0,008	0,265**	0,074	-0,263**	1	
Wmax/kg	-0,240**	0,007	0,075	-0,050	0,378**	0,084	-0,170	0,850**	1

Vysvětlivky: BMI – Body Mass Index; CS – komplexní ukazatel celkového skóre; VA – komplexní ukazatel vagové aktivity; SVB – komplexní ukazatel sympatovagové balance; TFklid – klidová tepová frekvence; TFmax – maximální tepová frekvence; VO₂max – maximální spotřeba kyslíku; Wmax – maximální výkon; Wmax/kg – maximální výkon na kg hmotnosti; statisticky významné hodnoty *p≤0,05; **p≤0,01.

5.5.1 Vyjádření k hypotézám

H₁: Mezi maximální spotřebou kyslíku a aktivitou ANS existuje vztah.

Mezi maximální spotřebou kyslíku a aktivitou ANS, která byla stanovena komplexním indexem CS, nebyla nalezena žádná souvislost.

Proto hypotézu **H₁ zamítám.**

H₂: Mezi maximální spotřebou kyslíku a aktivitou vagu existuje vztah.

Mezi maximální spotřebou kyslíku a aktivitou vagu nebyl na základě Pearsonova korelačního koeficientu u sportovců prokázán žádný vztah.

Proto hypotézu **H₂ zamítám.**

6 DISKUZE

6.1 Antropometrické a fyziologické parametry elitních fotbalistů

Česká republika se řadí k zemím, kde jsou rozsáhlé antropologické výzkumy dlouholetou tradicí. Základní rozměry, které se pravidelně sledují, jsou tělesná výška a hmotnost. Podle celostátního antropologického výzkumu dětí a mládeže 2001 měřil mladý český muž 180,2 cm (před 10 lety 179,1 cm). Dlouhodobě docházelo ke zvyšování postavy, v průměru to činilo u nás za 50 let o 8 cm u mužů a u žen o 6 cm (Bláha et al., 2003). Námi naměřená průměrná tělesná výška hráčů byla 181,0 cm tedy pouze mírně nad celostátním průměrem.

Ve světovém fotbale panuje nadále trend zvyšování průměrné tělesné výšky hráčů (Joksimovic et al., 2008). Psotta et al. (2006) uvádí možné příčiny např. lepší ekonomiku běhu v submaximálních rychlostech a soustředění se týmů na strategii aktivní zónové obrany. Rozdíly v tělesné výšce jsou dány, jak hráčskou funkcí, tak i národností. Na Poháru FIFA 2005 v Německu se nejvyšší průměrná výška vyskytla u týmu Německa 185 cm. Na opačném pólu se nacházel tým Mexika s průměrem 175 cm (Psotta et al., 2006). Ve funkci útočníků i obránců se uplatňují hráči vyšší tělesné výšky a naopak ve funkci středových hráčů spíše jedinci relativně nižší. Studie naměřila průměrnou výšku pro útočníky (182,3 cm) a pro obránce (181,2 cm). Taktéž byla prokázána snížená tělesná hmotnost a výška pro záložníky, která více vyhovuje jejich technicko-taktickým povinnostem. Při srovnání průměrné tělesné hmotnosti se studii dalších evropských lig dle Stolen et al. (2005) dosáhli fotbalisté téměř totožných výsledků. Stanovený Body Mass Index hráčů byl v rozmezí 20,8 - 28,6. Kdy vyšší hodnoty vyplývaly spíše ze svalnaté postavy hráče a nikoliv z nadbytku tuku. Dalšími údaji o somatotypu sportovců jsme se nezabývali, protože nebyly cílem předkládané práce.

Sportovní trénink a pravidelná pohybová aktivita vede u fotbalistů k dlouhodobým adaptacím v několika oblastech: biochemické, strukturální, metabolické, humorální i nervové. Charakteristickou adaptační změnou je pokles TF v klidu i při zatížení v submaximální intenzitě. Hlavně díky vytrvalostnímu tréninku dochází ke zvětšení objemu srdce k tzv. regulativní dilataci bez výraznější hypertrofie levé komory (Placheta et al., 2001). Díky vyššímu systolickému objemu se sníží klidová TF se zachováním stejného minutového srdečního výdeje (Aubert et al., 2003). Skupina

fotbalistů dosáhla průměrné klidové TF 55 tepů.min⁻¹ s nejnižší hodnotou 40 tepů.min⁻¹. U netréovaného člověka se pohybuje v rozmezí od 60 do 80 tepů.min⁻¹ (Trojan et al., 2003). Sníženou hodnotu klidové TF u sportovců vzhledem k běžné populaci označujeme obecně jako sportovní bradykardie, což potvrzuje adaptaci kardiovaskulárního systému, který zajišťuje transport kyslíku ke tkáním.

Při posuzování aerobního výkonu je VO₂max považován za nejdůležitější determinant. Profi-hráči dosahují oproti netréovaným relativně vysokých hodnot v rozmezí 55 - 70 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (Casajús, 2001; Kemi et al., 2003, Stolen et al., 2005). Naopak při srovnání s jedinci adaptovanými na vytrvalostní výkony (běžci na střední a dlouhé tratě, běžci na lyžích) dosahují fotbalisté výrazně nižší úrovně VO₂max. Naše skupina disponovala průměrnou VO₂max 59,5 ml.min⁻¹.kg⁻¹. Podle studii světových lig se pohybuje průměrná hladina VO₂max právě nad touto hranicí 60 ml.min⁻¹.kg⁻¹. Některé uvádějí vyšší aerobní kapacity vítězných týmů evropských lig s porovnáním s týmy, které končili na spodních místech (Wisløff et al., 1998; Stolen et al., 2005). Srovnáme-li např. průměrnou VO₂max naší profesionální ligy, podle Bunce a Psoty (2001) s průměrem 61.0 ml.min⁻¹.kg⁻¹, s mnohem kvalitnější španělskou ligou s průměrem 66,4 ml.min⁻¹.kg⁻¹ (Casajús, 2001) dospějeme k podobným závěrům. Jen doplním, že se u všech fotbalistů pohybovala hodnota VO₂max nad průměrem mužské populace (43 ml.min⁻¹.kg⁻¹) (Hamar & Lipková, 2001; Åstrand et al., 2003).

Vysoká hladina VO₂max a kvalitní aerobní zdatnost jsou velmi důležité neboť celková vzdálenost překonaná hráči v utkání se stále zvyšuje. V současnosti se pohybuje mezi 8-14 km se zřetelnými rozdíly v herní pozici hráče (Bangsbo et al., 2006; Barros et al., 2007; Di Salvo et al., 2007). Dle Di Salvo et al. (2007) je považovanou normou pro elitní hráče dosažení v průměru 11 km. Napříč tomu uvádí, že celková dráha hráče s míčem se pohybuje jen mezi 119-286 m, což odpovídá 1,2 až 2,4% z celkově dosažené vzdálenosti.

Navýšení aerobní kapacity hráče nese sebou mnohé výhody. Helgerud et al. (2001) provedl studii s využitím 4 x 4 min. intervalem zátěže na 90 – 95 % maximální tepové frekvence proložené 3 min. uvolněním. Fotbalový tým trénoval třikrát týdně po dobu 8 týdnů, druhá polovina hráčů sloužila jako kontrolní skupina a plnila svou běžnou fotbalovou přípravu. Individuální VO₂max experimentální skupiny se zvýšila o 6 ml.min⁻¹.kg⁻¹, což bylo doprovázeno o 1700 m větší vzdáleností dosaženou během hry, o 24 % více kontaktů s míčem a 100 % nárůstem v počtu sprintů, vše více než u kontrolní skupiny. Tato vylepšení výkonu jsou spojována s větší schopností

odolávat únavě prostřednictvím zvýšené oxidace lipidů, šetření si glykogenu a nižší produkcí laktátu (Henriksson & Hickner, 1996).

Aerobní zdroje přispívají k potřebnému množství energie v průběhu asi 90 % zápasu s nízkou intenzitou činností, jako je stání, chůze a jogging. Anaerobní zdroje přispívají menší částkou z celkové energie, přesto jsou velmi důležité při vysoké intenzitě zatížení, odrazech a práci s míčem (Bangsbo, 1997). V zátěžovém testu dosáhli naši probandi maximálního výkonu od 341 do 732 W s individuálními rozdíly podle hmotnosti a hráčského postu (nejlépe dopadli obránci). Srovnáme-li výkon v testu Wingate, pohybuje se průměr dle studie Davis et al. (1992) od 637 do 841 W opět podle postu hráče. Zde měli brankaři nejvyšší anaerobní výkon, zatímco záložníci disponovali nižšími hodnotami. Průměrná hodnota W_{max} zjištěná u zdravé čs. populace při výzkumu IBP byla u 25letých mužů 283 W (Seliger et al., 1977: in Placheta et al., 1999). Fotbalisté se vyznačují vyšší úrovní maximálního anaerobního výkonu a vyšší svalovou silou než vytrvalostní sportovci. Na druhou stranu je nelze srovnávat se sportovci zaměřujícími se na rychlostně silové výkony. Studie zabývající se velikostí anaerobní kapacity pro různé sportovní disciplíny uvádějí vyšší hodnoty např. pro bojové sporty (judo a box), volejbal a basketbal (Panorac et al., 2007; Popadic et al., 2009).

Ačkoliv se většina trenérů mládeže zaměřuje především na dovednosti hráčů, neměli by přehlížet důležitou roli fyziologických norem při výběru talentů. Antropometrické a fyziologické kritéria mají klíčovou úlohu při komplexním sledování talentovaných mladých hráčů (Reilly et al., 2000). Podle výsledků Bunce a Psota (2001) by měly být fyziologické vlastnosti mladých fotbalistů již v 8 letech následující: $VO_2max.kg^{-1}$ vyšší než $55 ml.kg^{-1}.min^{-1}$ u obránců, pro záložníky a útočníky vyšší než $60 ml.min^{-1}.kg^{-1}$ a VO_2max u anaerobního prahu na úrovni vyšší než 77 %. Předkládaná práce shledala pro dospělé hráče mírný nárůst aerobní kapacity, v extrémních případech až k $65-70 ml.kg^{-1}.min^{-1}$ především pro středové záložníky.

6.2 Úroveň aktivity ANS u fotbalistů

Pro hodnocení aktivity ANS jsme využili nový postup 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 HRV (Stejskal et al., 2002). Z výsledků vyplynulo, že mezi sportovci jsou ve všech parametrech velké interindividuální rozdíly. Naměřené průměrné hodnoty komplexních indexu CS ($-0,08 \pm 1,98$), VA ($0,11 \pm 1,99$) a SVB ($-0,24 \pm 2,09$) nepoukázali na vysokou adaptibilitu a trénovatelnost naší skupiny, jak by se očekávalo. Hodnota komplexního indexu CS se pohybovala od +3,24 do -4,94 bodu). 55 % sportovců se vyskytovalo v pásmu fyziologických (normálních) hodnot (-1,5 až 1,5 bodů) a 23 % dosáhlo nad hranici fyziologických hodnot, což u sportovců signalizovalo vysokou aktivitu ANS (jak vysokou aktivitu vagu, tak i vzájemně vysoký poměr mezi aktivitou obou větví ANS). Přesto ale hodnota CS dosáhla u 22 % sportovců pod hranici fyziologických hodnot (-1,5 až -5).

Sníženou aktivitu ANS u sportovců si můžeme vysvětlit z několika různých pohledů. Např. 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).

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. Zde bych doporučoval provést opakovaně vyšetření SA HRV, upravit tréninkovou zátěž a nalézt příčinu snížení aktivity ANS. Pokud by byla hladina vagové aktivity přirozeně nízká, je tu předpoklad snížené fyzické trénovatelnosti sportovce a pro trenéra nejsou tito hráči příliš lukrativní do budoucnosti.

Hodnoty SVB byly podprůměrné u 20 % jedinců a 18 % sportovců dosáhlo nad hranici fyziologických hodnot 2,0 bodů u SVB. Retek et al. (1999) uvádějí, že i během zotavení po tělesné zátěži je pro organismus důležitější dosáhnout rovnováhy v aktivitě obou větví ANS, než úroveň, na které jí bude dosaženo. Stejskal (2004) dodává, že při ladění formy u špičkových sportovců je nutné zvyšování aktivity obou

větví ANS, které bude eliminovat vznik dysbalance v aktivitě ANS. Nejoptimálnější strategií se je podle něj redukce objemu a frekvence tréninků o 50 až 90 % při zachování vysoké intenzity zatížení (Stejskal, 2004).

Na základě vyšetření SAHRV lze aktivitu vagu (index VA) a sympatovagovou rovnováhu (index SVB) shrnout do čtyřdimenzionálního grafu (viz graf 1), který rozděluje sportovce do čtyř skupin (kvadrantů). Hodnoty komplexních ukazatelů jsou vyjádřeny v bodech v rozsahu od -5,0 do +5,0 bodů. Normální hodnoty průsečíků jsou ohraničeny hodnotami -2,0 a +2,0 bodů na obou osách (Stejskal, 2004). Pravý horní kvadrant (PHK) je vymezen pro kladné hodnoty VA a SVB a odpovídá i kladným hodnotám CS. U této skupiny (zelené pole) dominuje vysoká aktivita parasympatiku (VA), která umožňuje sportovcům podstupovat intenzivní tréninky. Vůči tréninkovým i mimotréninkovým podnětům jsou adaptabilnější a odolnější než sportovci s nižší úrovní aktivity ANS. Sportovci jsou dobře zregenerovaní a schopni nadále zvyšovat svou sportovní výkonnost. Hráči zeleného pole s vysokou VO_{2max} patří mezi vytrvalostně výborně připravené sportovce.

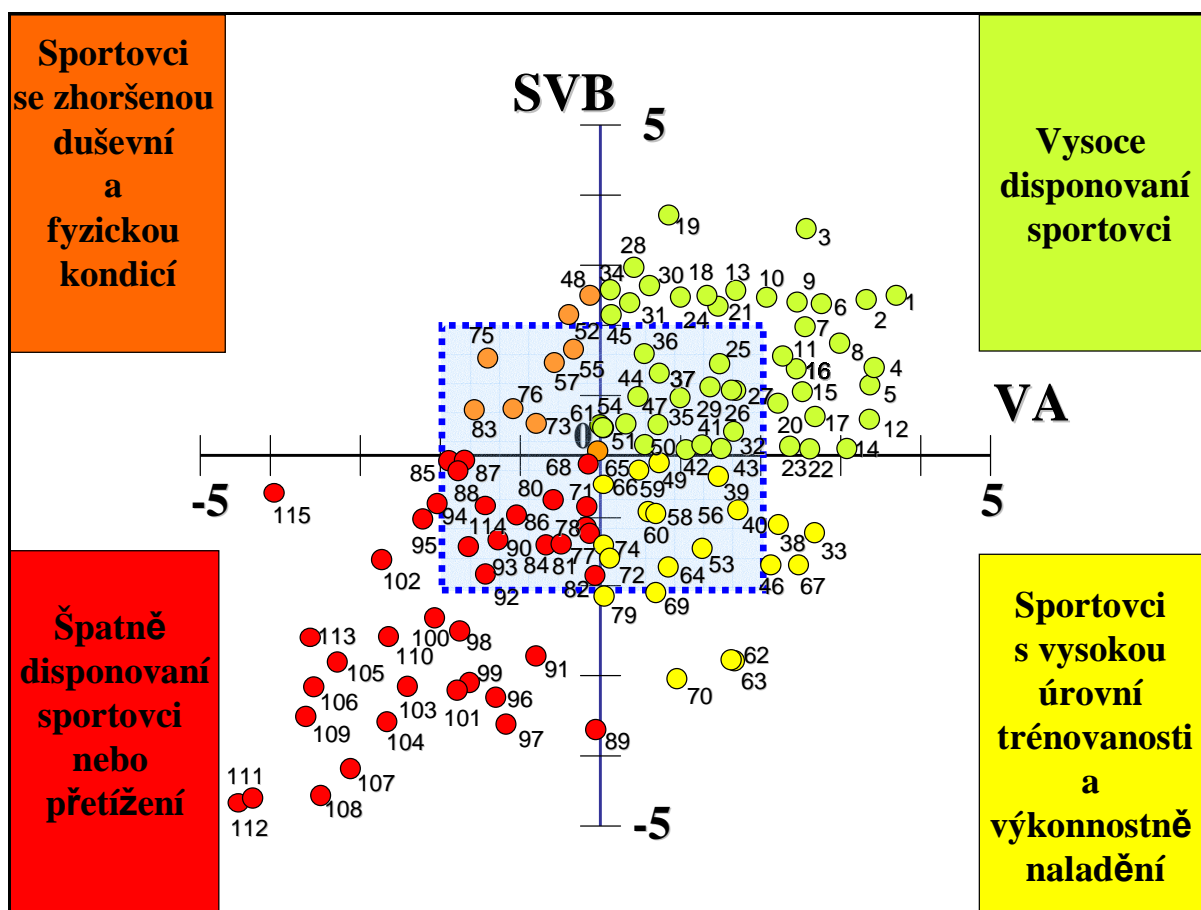
V pravém dolním kvadrantu (PDK) nacházíme průsečíky kladných hodnot VA a negativních hodnot SVB. Druhá skupina (žluté pole) je charakteristická navíc zvýšenou aktivitou sympatiku (vysoká aktivita vagu, ještě vyšší aktivita sympatiku), která poukazuje na vysoce intenzivní tréninkové zatížení. Výraznější vzestup aktivity sympatiku je obrazem celkového ladění organismu se zřetelným střídáním katabolických a anabolických stavů (Stejskal, 2007).

Třetí skupina (oranžové pole) se vyznačuje sníženou aktivitou obou větví ANS. To vede ke zhoršení duševní a fyzické kondice. Předpokladem dobrého využití fyzických a psychických schopností je vysoká a vyrovnaná aktivita obou větví ANS, která se projeví optimální reakcí na zatížení, optimální sportovní výkonností a dobrou trénovatelností. Naopak dlouhodobá výrazná dysbalance mezi sympatikem a vagem, jejíž příčinou je redukováná aktivita jedné z větví ANS, má za následek zhoršení reaktivity i schopnosti adaptace, snížení trénovatelnosti a pokles sportovní výkonnosti (Ošťádal, 2005).

U hráčů s nízkými hodnotami VA i SVB je důležité najít příčiny snížení aktivity ANS. Pokud jde o aktuální snížení, způsobené negativními vnějšími nebo vnitřními faktory, měly by se hodnoty indexů VA a SVB po jeho odstranění dostat opět mezi fyziologicky normální hodnoty. Otázkou pro další bádání zůstává, zdali i sportovci s přirozeně velmi nízkou aktivitou ANS, mohou dospět k vysoké kardiorespirační zdatnosti.

Do čtvrté skupiny (červené pole) patří sportovci s nízkou aktivitou vagu. Ta může být geneticky dána nebo je způsobená vysokým stupněm únavy a nedostatečnou regenerací. U sportovců s přirozeně nižší aktivitou vagu (hodnoty VA jsou menší než 2,0, většinou se pohybují kolem 0,0 nebo v záporných hodnotách) mohou drobné chyby v dávkování zatížení vyvolat větší změny v aktivitě ANS. Tyto změny se projeví dysbalancí aktivity obou větví ANS a poklesem sportovní formy. Obecně se dá mluvit o špatně fyzicky disponovaných sportovcích. Přesto nemůžeme vyloučit, že mnozí elitní hráči zřejmě dané dysfunkce nahrazují vyjimečnými taktickými a herními dovednostmi s míčem.

Graf 1. Postavení fotbalistů na bodové škále indexů sympatovagové rovnováhy (SVB) a vagové aktivity (VA)



Vysvětlivky: VA – komplexní ukazatel vagové aktivity; SVB – komplexní ukazatel sympatovagové balance; ● – průsečík hodnoty VA a SVB; vertikální osa – hodnoty komplexního indexu SVB; horizontální osa – hodnoty VA.

6.3 Využití metody SAHRV ve fotbale

Studie monitorující skupiny vytrvalostních běžců ukázali na potenciál SA HRV pro hodnocení a prognózování vlivu aerobního tréninku na vytrvalostní běžecký výkon. Model metody SA HRV pro optimalizaci zátěže tréninku musí odrážet individuality každého sportovce nikoli absolutní měřítko celé skupiny. Přesto se postupně objevují první studie sledující determinanty variability srdeční frekvence u kolektivních sportů v průběhu soutěžního období (Buchheit et al., 2010).

HRV je bráno za objektivní a non-invazivní monitoring řízení přípravy i mladých sportovců. HRV analýza umožňuje upozornit na jakékoliv neurovegetativní úpravy v závislosti na fyzické zátěži (Bricout et al., 2010). Ale přímé využití diagnostiky aktivity ANS při hledání nových talentovaných sportovců nenašlo ještě své zastánce.

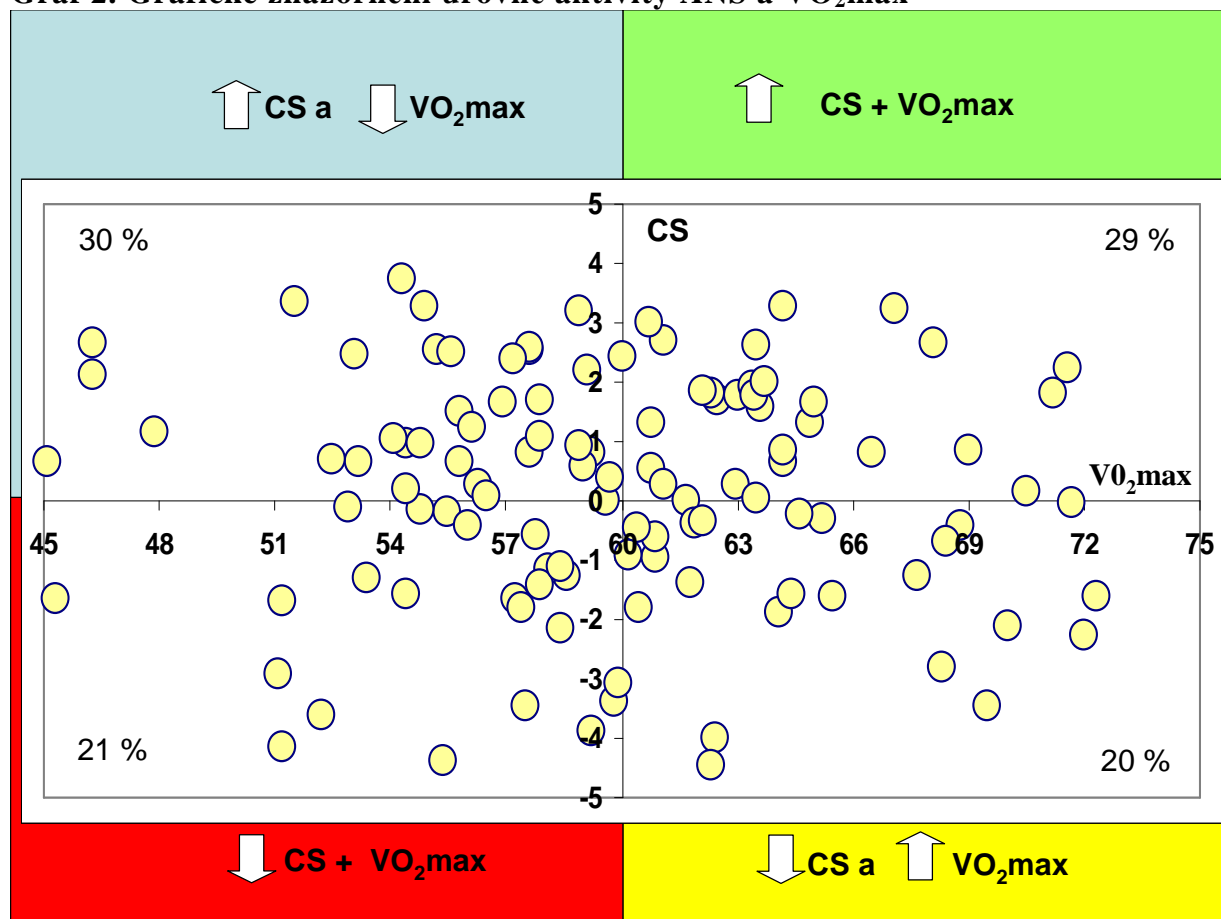
Podle výsledků naší studie i někteří prvoligoví hráči fotbalu disponují sníženou úrovní aktivity ANS. Podle Botka (2007) se na rozdílné úrovni aktivity ANS podílí především délka sportovní kariéry, typ a velikost absolvovaného tréninkového zatížení, kvalita regenerace, dosažená sportovní výkonnost, sportovní disciplína a životní styl. Vyšší aktivita ANS by mohla být důležitá především pro kvantitativně trénované sportovce, jako jsou například běžci na lyžích, běžci na střední dlouhé tratě, silniční cyklisti (Botek, 2007). Ve fotbale, kde je kladen spíše důraz na kvalitativní složku tréninkového zatížení, proto mohou sportovci disponovat i relativně nižší úrovní aktivity ANS. Ale stále platí, že hráč s vysokou úrovní HRV má daleko větší šanci dosáhnout vyšší výkonnosti, než hráč s dlouhodobě sníženou HRV.

Křížový graf 2 znázorňuje úroveň aktivity ANS a dosaženou VO_2max jednotlivých hráčů. V pravém horním kvadrantu (zelené pole) nacházíme hráče s vysokou aktivitou ANS (vyjádřena komplexním index CS) i s vysokou VO_2max . Tito hráči disponují vysokou adaptibilitou organismu na aerobní trénink. Hráči jsou aktuálně dobře fyzicky připraveni a mají potenciál dalšího výkonnostního růstu do budoucnosti. Naopak sportovci, kteří dlouhodobě setrvávají v levém dolním kvadrantu (snížená aktivita ANS i aerobní kapacita), mají omezené schopnosti trénovatelnosti i omezené šance dosáhnout vyšší sportovní výkonnosti (Stejskal, 2007).

Zbývající výsledky jsou pro hledaný vztah mezi aktivitou ANS a VO_2max paradoxní. Přesto mezi ně spadá téměř 50 % hráčů. U hráčů v levém horním kvadrantu (modré pole) s vysokou aktivitou ANS, ale nízkou VO_2max

předpokládáme značné rezervy v aerobní kapacitě. Proto se u těchto hráčů doporučuje cíleně zvyšovat zátěž v tréninku, aby se schopnost vysoké adaptability mohla projevit. Obráceně u hráčů s vysokou VO_2max , ale sníženou aktivitou ANS se snažíme lépe zoptimalizovat velikost tréninkového zatížení, neboť dochází u hráče k pravděpodobnému přetěžování.

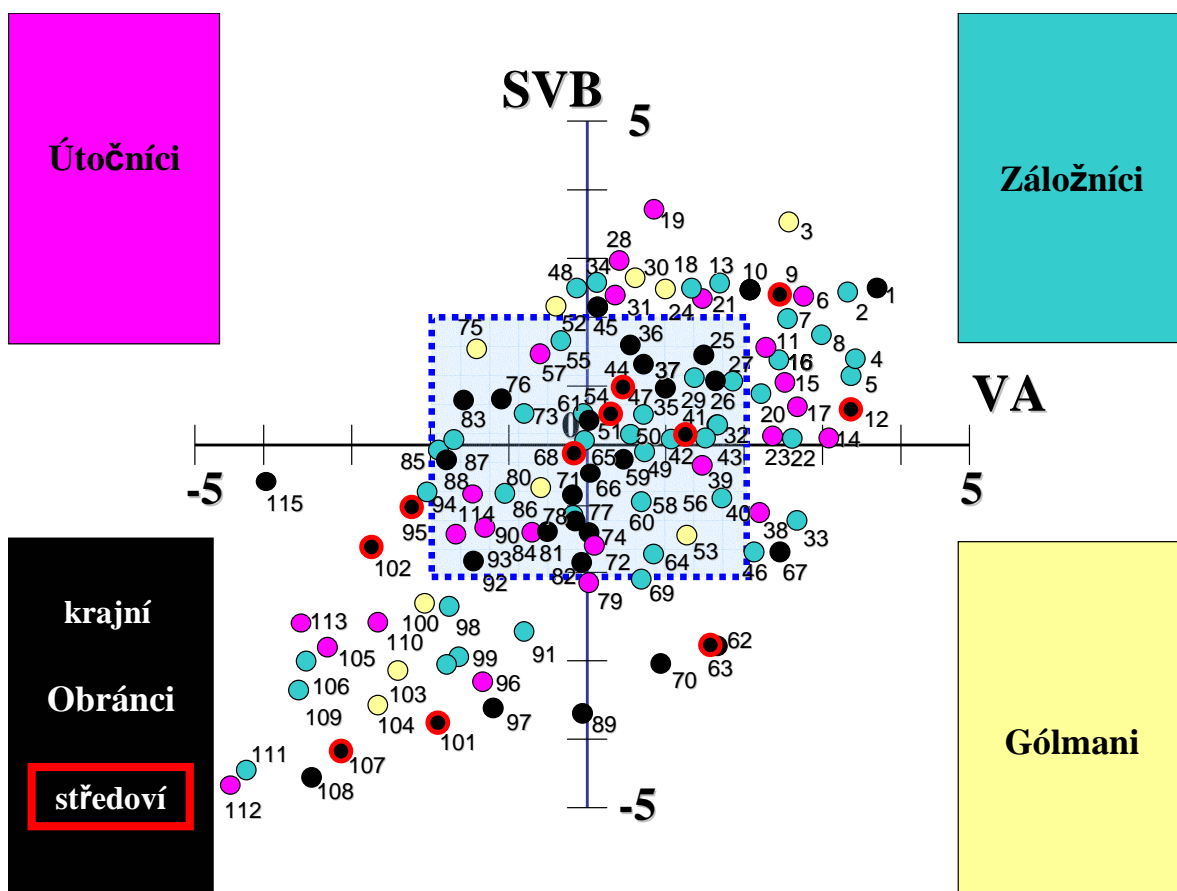
Graf 2. Grafické znázornění úrovně aktivity ANS a VO_2max



Vysvětlivky: CS – komplexní ukazatel celkového skóre; VO_2max – maximální spotřeba kyslíku;
 ● – průměrná hodnota CS a VO_2max ; vertikální osa – hodnoty komplexního indexu CS; horizontální osa – hodnoty VO_2max .

Hlavním využitím SAHRV zůstává kontrola tréninkového procesu, optimalizace velikosti tréninkového zatížení a možnost využití při ladění sportovní formy. Ale nelze brát fotbalisty v tomhle směru jako tým nebo je řadit do skupin. Ukázalo se, že aktivita ANS je nezávislá na herní pozici (graf 3) nebo na jakékoliv fyzické zdatnosti. Přístup ke každému hráči musí být individuální, jinak ztrácí na efektivitě. Při longitudinálním sledování hodnotíme každého jednotlivce zvlášť. Podle konkrétního průběhu změn SAHRV volíme adekvátní objem a intenzitu tréninku i dobu regenerace hráče. Moc dobře uvědomuji, že tento přístup je pro kolektivní sport náročný a někdy těžko proveditelný.

Graf 3. Postavení fotbalistů na bodové škále indexů sympatovagové rovnováhy (SVB) a vagové aktivity (VA) podle herního postu



Vysvětlivky: VA – komplexní ukazatel vagové aktivity; SVB – komplexní ukazatel sympatovagové balance; ● – průsečík hodnoty VA a SVB; vertikální osa – hodnoty komplexního indexu SVB; horizontální osa – hodnoty VA.

6.4 Aktivita ANS a kardiorespirační zdatnost

Hlavním cílem práce bylo zjistit, do jaké míry budou spolu korelovat aktivita ANS posuzovaná metodou spektrální analýzy (SA) variability srdeční frekvence (HRV) a hodnoty vybraných parametrů maximálního zátěžového testu (především $VO_2\max$). Nejjednodušším způsobem, jak prokázat účinky autonomní modulace na srdce, bylo sledování funkce síno-arteriálního uzlu, tj. změny v srdeční frekvenci (Goldberg et al., 1994; Lacko et al., 2004). Nepočítám-li podmínky přetrénování (Uusitalo et al., 1998; Hedelin et al., 2000), pozoruje většina autorů vyšší HRV u dobře trénovaných sportovců a u zdravých jedinců (Aubert et al., 2003; Carnethon et al., 2005; Darr et al., 1988) nebo u pacientů po účasti na srdečních rehabilitačních programech (Kligfield et al., 2003). Ale nedaří se najít přímou souvislost mezi vysokou aerobní zdatností a zvýšenou aktivitou ANS (Byerne et al., 1996) nebo jen někteří autoři zmiňují nevýznamné zlepšení HRV po tréninku (Sackonoff et al., 1994; Boutcher et al., 1995; Loimaala et al., 2000; Catai et al., 2002). Pouze studie Kouidi et al. (2002) našla významný vztah mezi úrovní $VO_2\max$ a HRV u vytrvalostních běžců. Naše studie ovšem nepotvrdila jakoukoliv souvislost mezi HRV a vybranými fyziologickými parametry fotbalistů.

Vztah mezi HRV a objemem zatížení můžeme částečně vysvětlit nižší klidovou srdeční frekvencí u vytrvalostních sportovců. V předkládané práci byla nalezena střední závislost mezi klidovou tepovou frekvencí a aktivitou ANS. Existuje jen velmi málo předchozích údajů, které potvrzují tento vztah (Boutcher & Stein, 1995; De Meersman, 1993; Shin et al., 1997). Klidovou bradykardii způsobuje u trénovaných jedinců predominance vagové aktivity (Brooks et al., 1995; Furlan et al., 1993). Avšak k poklesu klidové srdeční frekvence může docházet i bez zvýšení parasympatické aktivity (Boutcher & Stein, 1995; Catai et al., 2002). A to například poklesem sympatické aktivity (Leicht et al., 2003) nebo i změnou vestavené TF na úrovni SA uzlu (Catai et al., 2002). K tomu Martinelli et al. (2005) dodávají, že na základě analýzy dat metodou frekvenční oblasti, můžeme soudit, že u sportovců klidová bradykardie mnohem více souvisí se změnami vnitřních mechanismů, než se změnami v autonomní regulaci.

Ve studii Kouidi et al. (2002) byla pozorována zvýšená HRV rovněž u sprinterů a silově zaměřených sportovců v porovnání se sedavými jedinci. Ale neexistoval u těchto sportovců vztah mezi HRV a $VO_2\max$ jako u vytrvalostních běžců. Podobná zlepšení HRV u vytrvalostně trénovaných sportovců se prokázaly i dalšími studiemi

(Sztajzel et al., 2008), zatímco kontroverzní výsledky byly zaznamenány u anaerobně nebo silově trénujících sportovců (Furlan et al., 1993; Shin et al., 1997; Bonaduce et al., 1998; Pigozzi et al., 2001). Podobně Berkoff et al. (2007) testovali HRV u 145 sportovců (58 žen) pomocí Omegawave Sport Technologie systému. Sportovci byli zařazeni do skupin podle trénovanosti, sportovní disciplíny a pohlaví. Ale výsledky poukázaly jen na rozdíly mezi pohlavími, ale nikoliv mezi aerobně a silově zaměřenými sportovci.

Buchheit et al. (2006) upozornili, že průřezové studie zkoumající vztah mezi $VO_2\max$ a HRV neberou vážně individuální trénovanost, nebo porovnávají zdravé a trénované jedince se „sedavými“. Z dlouhodobého hlediska, tak může být maskována původní kardiorespirační zdatnost sportovců, která je zlepšená účinkem aerobního tréninku (Iwasaki et al., 2003; Tulppo et al., 2003). Takový matoucí vliv by podle Buchheit et al. (2006) nenastal u sedavých jedinců s přirozeně vysokou kardiorespirační zdatností bez jakékoliv trénovanosti. U těchto jedinců by bylo možné najít spojitost mezi fyzickou zdatností a autonomní modulací bez maskovacího účinku trénovanosti. Proto Buchheit et al. (2006) seřadili jednotlivce do 4 skupin na základě jejich kardiorespirační zdatnosti (prostřednictvím $VO_2\max$) a odhadované týdenní tréninkové zátěže (dle Baeckova skóre). Přesto pouze dospěli už ke známým výsledkům, že indexy vagové aktivity HRV více souvisí s kardiorespirační zdatností a HRV v zotavení je více spojena s trénovaností (Buchheit et al., 2006). I Perini et al. (2006) ověřovali v průběhu plavecké sezóny změny spektrálních parametrů HRV a $VO_2\max$. Fyzická zdatnost však nijak nekorespondovalo s úrovní autonomní aktivity.

Ani studie Kolářové (2009) zabývající se regulovaným i spontánním dýcháním nepotvrdila skutečnost, že trénovaní probandi mají v porovnání se skupinou netrénuvaných mužů zvýšený celkový spektrální výkon HRV. U parametru celkového spektrálního výkonu neobjevila ani při jednom měření u trénované skupiny jedinců vůči netrénuvané skupině signifikantní nárůst (Kolářová, 2009).

6.5 Limity studie

Aktivita ANS se stále mění a periodicky je ovlivňována řadou faktorů. Z vnitřních faktorů můžeme zmínit regulační mechanismy jako je např. dýchání, baroreflexní senzitivita, chemorecepce, cirkulující hormony (katecholaminy), reninangiotenzinový systém a termoregulace. K zevním faktorům, které mohou negativně ovlivnit výsledky měření, můžeme zařadit spánkovou deprivaci (Zhong et al., 2005), přijímání potravy a hlavně mentální koncentraci aj. (Hlavoňová, 2001). Vnitřní a vnější faktory nelze při testování 100 % kontrolovat a zamezit jejich působení.

K základním limitům předkládané studie patří pouze jedno vstupní vyšetření HRV. Možné nedodržení podmínek při vstupu fotbalistů k vyšetření (porušení životosprávy, mentální stres či kumulace únavy, přetěžování hráčů v přípravě) mohlo ovlivnit výsledky předkládané práce a její spolehlivost. Doporučuji proto sledovat HRV několik dnů po sobě a vytvořit tak pro každého probanda objektivní obraz autonomní aktivity. Stejně tak, jako se provádí opakované vyšetření při optimalizaci tréninku nebo ladění sportovní formy. Vše by mělo proběhnout během jednoho týdne a sportovec musí být v tuto dobu zcela zdravý a dostatečně regenerován. To znamená, že vytváření "mapy" ANS sportovce musí probíhat v období, kdy intenzita tréninkového zatížení není příliš vysoká (Botek, 2007). Obvykle jsou pro účely "mapování" ANS dostatečná čtyři měření, za nestandardních podmínek jich však může být až deset (počet "mapovacích" měření určuje software). Ne vždy je to z časových nebo finančních důvodů možné, jako tomu bylo i v předkládané práci.

7 ZÁVĚRY

V předkládané práci se podařilo splnit všechny vytyčené cíle i dílčí cíle, ale nemožu potvrdit vztah mezi fyziologickými parametry a aktivitou ANS fotbalistů. Aktuálně snímaný spektrální výkon HRV sportovců jsem nenalezl v signifikantní závislosti s mírou maximální spotřeby kyslíku ($VO_2\max$) ani s dalšími vybranými fyziologickými parametry. Ze všech vybraných fyziologických parametrů byla pouze u klidové tepové frekvence nalezena střední závislost s komplexními indexy HRV.

Výsledky vyšetření SAHRV prvoligových fotbalistů prokázaly velké interindividuální rozdíly v úrovni autonomní aktivity. Mnozí hráči disponovali relativně nízkou úrovní aktivity ANS. Podílejí se na tom hlavně genetické predispozice, ale i možné nedodržení podmínek při vstupu fotbalistů k vyšetření (porušení životosprávy, mentální stres či kumulace únavy). Ovšem, podíváme-li se na to z druhé strany, jsou tyto faktory běžnou součástí života každého sportovce. Proto je pro hráče důležité, aby se aktivita ANS dlouhodobě nepohybovala na této nízké úrovni, jinak nejsou schopni si udržet výkonnost, jejich trénovatelnost slábné a pravděpodobně dosahují hranice svých biologických možností.

Zařazení metody SAHRV pro optimalizaci velikosti tréninkového zatížení je velmi cenným nástrojem pro fotbalové trenéry, hlavně v průběhu kondiční tréninkové přípravy. Ovšem ale s důrazem na individuální přístup ke každému hráči, který je u kolektivního sportu náročný a někdy těžko proveditelný.

Tělesná hmotnost fotbalistů se nacházela na $78,0\pm 7,2$ kg a průměrná výška $181,0\pm 6,3$ cm. Hranicí úspěšnosti v nejvyšší české fotbalové soutěži je dosažení 60 ml. $kg^{-1}\cdot min^{-1}$ $VO_2\max$. V maximálním výkonu dosahují elitní hráči v průměru 534 W a v přepočtu na kg váhy $6,9$ W. kg^{-1} . Z pohledu hráčských postů získali překvapivé prvenství obránci, jak v maximálním výkonu, tak i v $VO_2\max$. Přesto zde nebyly nalezeny razantní fyziologické a antropomotorické rozdíly (výjma gólmanů), které by převýšily technicko-taktické i další důležité dovednosti hráče pro jednotlivé herní posty.

8 SOUHRN

Hlavním cílem diplomové práce bylo ověřit vztah mezi aktivitou ANS a vybranými fyziologickými parametry v maximálním zátěžovém testu. Experimentální soubor tvořilo celkem 115 prvoligových fotbalistů, ve věku $26,15 \pm 9,15$ let. Všichni sportovci podstoupili vstupní vyšetření, které se skládalo z maximálního zátěžového testu a vyšetření autonomního nervového systému (ANS) metodou SA HRV. Aktivita ANS byla snímána neinvazivní metodou SAHRV a vyhodnocena komplexními indexy CS, VA, SVB (Stejskal, Šlachta, Elfmark, Salinger, & Gaul-Alačová, 2002).

Ani u jednoho komplexního ukazatele HRV nebyla prokázána pozitivní korelace s parametry zátěžového testu. V případě $VO_2\max$ nebyl nalezen žádný vztah s celkovou aktivitou ANS ani s aktivitou vagu. Pouze se potvrdil vztah mezi klidovou tepovou frekvencí a všemi komplexními indexy CS, VA a SVB.

Díličními cíly bylo zhodnocení úrovně aktivity ANS, antropometrických a fyziologických parametrů u prvoligových fotbalistů. Průměrná tělesná hmotnost souboru činila 78,0 kg s průměrnou výškou 181,0 cm. Při stupňovaném testu do „vita maxima“ dosáhli fotbalisté průměrné maximální tepové frekvence $188 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$. $VO_2\max$ se pohybovala od 44,2 až po 72,3 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$. V maximálním výkonu bylo dosaženo v průměru 534 W a v přepočtu na kg váhy $6,9 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$. U klidové tepové frekvence byly nejnižší hodnoty naměřeny i $40 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$ s průměrnou hodnotou celého souboru $55 \text{ tepů} \cdot \text{min}^{-1}$.

Aktivita ANS dosáhla mezi fotbalisty velkých interindividuálních rozdílů. Průměrné hodnoty komplexních indexu byly u CS ($-0,08 \pm 1,98$), VA ($0,11 \pm 1,99$) a SVB ($-0,24 \pm 2,09$). Možné příčiny shledávám v nedodržení podmínek pro vstup k vyšetření, ke kterým patří únava a fyzické i psychické přetížení organismu. Působením stresových podnětů došlo ke snížení všech komplexních indexů pod hranici fyziologických (normálních) hodnot téměř u 20 % hráčů. Což může být způsobeno přetěžováním hráčů v přípravě. Pouze dlouhodobější snímání SAHRV by zajistilo objektivnější obraz HRV, kterým lze odhalit přirozeně sníženou autonomní aktivitu nebo např. vysokou tréninkovou zátěž společně s nedostatečnou regenerací.

8 SUMMARY

The main aim of this diploma thesis was to verify the relationship between ANS activity and chosen physiologic parameters during maximum charge test. The population consisted of 115 first league footballers, ranging in age $26,15 \pm 9,15$ years. All the sportsmen underwent an entering anthropometric checkup, that consisted of maximum charge test and ANS measurement with the use of SA HRV method. Activity of ANS was monitored with the use of non-invasive method of SA HRV and evaluated through complex indices CS, VA, SVB (Stejskal, Šlachta, Elfmark, Salinger, & Gaul-Alačová, 2002).

Not a single complex HRV index showed any positive correlation with the maximal charge test parameters. In case of maximal consumption of oxygen also was not found any relation with the complex indices. The only relation proved was between steady state heart rate and all the complex indices CS, VA and SVB.

Partial objectives were the evaluation of level of ANS activity, anthropometric and physiologic parameters in first league footballers. Mean body mass of the population was 78.0 kg and mean height was 180.98 cm. In the maximum charge test the footballers reached average maximum heart rate of $188 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$. Maximal consumption of oxygen varied between 44.2 and $72.3 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$. Maximal performance was on average 534 W or $6.9 \text{ W}\cdot\text{kg}^{-1}$ if counted per body mass. Steady state heart rate was on the lowest value even at level of $40 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$ with average value of whole population $55 \text{ b}\cdot\text{min}^{-1}$. The ANS activity reached in the footballers vast interindividual differences, average value of CS (-0.08 ± 1.98), VA (0.11 ± 1.99) and SVB (-0.24 ± 2.09). I find the main reasons in not respecting the requirements for entering the examination, among which are fatigue and physical and psychical overcharge of the organism. The stress stimuli effects caused decrease of all complex indices even below the border of physiological (i.e. normal) values in almost 20 % of the players. This might be caused by overcharging of the players in preparation cycle. Only longterm observation of SA HRV would show more objective HRV count, that can reveal naturally decreased autonomic activity or e.g. too high training charge together with insufficient regeneration.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

- Ambarish, V., Barde, P., Vyas, A., & Deepak, K. K. (2005). Comparison between pre-prandial and post-prandial heart rate variability (HRV). *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 49(4), 436-442.
- Antelmi, I., de Paula, R. S., Shinzato, A. R., Peres, C. A., Mansur, A. J., & Grupi, C. J. (2004). Influence of age, gender, body mass index, and functional capacity on heart rate variability in a cohort of subjects without heart disease. *The American Journal of Cardiology*, 93(3), 381-385.
- Arts, F.J., Kuipers, H.(1994). The relation between power output, oxygen uptake and heart rate in male athletes. *Journal Sports Medicine*, 15(5), 228-31.
- Åstrand, P.-O., & Rodahl, K. (1977). *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercise* (2nd ed.). New York, NY: McGraw-Hill.
- Åstrand, P-O., Rodahl, K., Dahl, H. A., & Strømme, S. B. (2003). *Textbook of work physiology: Physiological bases of exercises* (4th ed.). Windsor, Canada: McGraw-Hill.
- Aubert, A., Seps, B., Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33, 889–919.
- Bangsbo, J. (1997). The physiology of intermittent activity in football. In Reilly, T., Bangsbo, J. & Hughes, M. (Eds.), *Science and Football III* (pp. 43-53) London: E & FN Spon.
- Bangsbo, J., Mohr, M., Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal Sports Science*, 24(7), 665–674.
- Barevný, P. et al. (1995). *Stručný přehled lékařské fyziologie*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Masarykovy univerzity.
- Barros, R.M.L., Misuta, M.S., Menezes, R.P., Figueroa, P.J., Moura, F.A., Cunha, S.A., Anido, R., Leite, N.J. (2007). Analysis of the distances covered by First Division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 233-242.
- Bassett, D.R. Jr. & Howley, E.T. (1997). Maximal oxygen uptake: ‘classical’ versus ‘contemporary’ viewpoints. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 29, 591–603.
- Bassett, D.R., Jr., & Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine and Science in*

Sport and Exercise, 32 (1), 70-84.)

- Baumert, M., Brechtel, L., Lock, J., Hermsdorf, M., Wolff, R., Baier, V., & Voss, A. (2006). Heart rate variability, blood pressure variability, and baroreflex sensitivity in overtrained athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 16(5), 412-417.
- Berkou, D.J., Cairns, C.B., Sanchez, L.D., Moorman, C.T. (2007). Heart rate variability in elite American track-and-field athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 227-231.
- Bernardi, L., Wdowczyk-Szulc, J., Valenti, C., Castoldi, S., Passino, C., Spadacini, G., Sleight, P. (2000). Effects of controlled breathing, mental activity and mental stress with or without verbalisation on heart rate variability. *J. A m. College Cardiol.*; 35, 1462–1469.
- Bláha, P., Vígnerová, J., Riedlová, J., Kobzová, J., Krejčovský, L. (2003). VI. celostátní antropologický výzkum dětí a mládeže 2001. *Čes.- slov. Pediat*, 58, 766–770.
- Blain, G., Meste, O., Bermon, S. (2005). Influences of breathing patterns on respiratory sinus arrhythmia in humans during exercise. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 288(2), 887- 895.
- Blair, S.N., Kampert, J.B., Kohl, H.W., Barlow, C.E., Macera, C.A., Paffenbarger, R.S. Jr. , Gibbons, L.W. (1996). Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *Journal of the American Medical Association*, 276, 205-210.
- Bloomfield, J., Polman, R., Butterfly, R., O'Donoghue, P. (2005). Analysis of age, stature, body mass, BMI and quality of elite soccer players from 4 European Leagues. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45(1), 58-67.
- Bonaduce, D., Petretta, M., Cavallaro, V., Apicella, C., Laniciello, A., Romano, M., Breglio, R. & Marciano, F. (1998). Intensive training and cardiac autonomic control in high level athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 691-696.
- Bonnemeier, H., Richardt, G., Potratz, J., Wiegand, U.K., Brandes, A., Kluge, N., Katus, H.A. (2003). Circadian profile of cardiac autonomic nervous modulation in healthy subjects: differing effects of aging and gender on heart rate variability. *J. Cardiovasc. Electrophysiol*, 14(8), 791-9.
- Borresen, J. & Lambert, M.I. (2008). Autonomic control of heart rate during and after exercise. *Sports Medicine*; 38, 633–646.

- Boutcher, S. H., & Stein, P. (1995). Association between heart rate variability and training response in sedentary middle-aged men. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, *70*(1), 75-80.
- Brawner, C. A., Keteyian, S. J., & Ehrman, J. K. (2002). The relationship of heart rate reserve to VO₂ reserve in patients with heart disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *34*, 418-422.
- Brewer, J., Davis, J.A. (1992). A physiological comparison of English professional and semi-professional soccer players. *Journal Sports Science*, *10*, 146-147.
- Britton, A., Shipley, M., Malik, M., Hnatkova, K., Hemingway, H., Marmot, M. (2007). Changes in heart rate and heart rate variability over time in middle-aged men and women in the general population (from the Whitehall II Cohort Study). *Am. J. Cardiol.*, *100*(3), 524-527.
- Brooks, G. A., Fahey, T. D., & White, T. P. (1995). *Exercise physiology: human bioenergetics and its applications* (2nd ed.). Mountain View, CA: Mayfield.
- Brooks, G.A. (2000). Intra- and extra-cellular lactate shuttles. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, *32* (4), 790-799)
- Buchheit, M., Gindre, C. (2006). Cardiac parasympathetic regulation: respective associations with cardiorespiratory fitness and training load. *American Journal of Physiology, Heart and Circulatory Physiology*, *291*(1), 451-458.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M., Bourdon, P. (2010). Determinants of the variability of heart rate measures during a competitive period in young soccer players. *Journal of Applied Physiology*, *109*(5), 869-78.
- Bunc, V., Psotta, R. (2001). Physiological profile of very young soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *41* (3), 337-341.
- Byrne, E.A., Fleg, J.L., Vaitkevicius, P.V., Wright, J., Porges, S.W. (1996). Role of aerobic capacity and body mass index in the age-associated decline in heart rate variability. *Journal of Applied Physiology*, *81*, 743-750.
- Carnethon, M.R., Jacís, D.R., Sydney, S., Sternfeld, B., Gidding, S.S., Shoushtari, C., Liu, K. (2005). A longitudinal study of physical activity and heart rate recovery: CARDIA, 1987-1993. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *37*, 606-612.
- Carter, J. B., Banister, E. W., & Blaber, A. P. (2003). The effect of age on heart rate variability after endurance training. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, *35*(8), 1333-1340.
- Casajús, J. A. (2001). Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *41*, 463-469.

- Catai, A.M., et al. (2002). Effects of aerobic exercise training on heart rate variability during wakefulness and sleep and cardiorespiratory responses of young and middle-aged healthy men. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 35, 741–752.
- Čihák, R. (1997). *Anatomie 3*. Praha: Grada.
- D'Ottavio, S., Castagna, C., editor. (2002). *Physiological aspects of soccer refereeing*. London: Routledge.
- Daniels, J., Daniels, N. (1978). Running Economy of elite Male and Female Runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 24, 483-489
- Darr, K.C., Bassett, D.R., Morgan, B.J., Thomas, D.P. (1988) Effects of age and training status on heart rate recovery after peak exercise. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 254, 340–343.
- Davis, J.A., Brewer, J., Atkin, D. (1992). Pre-seasonal physiological characteristics of English first and second division soccer players. *Journal Sports Science*, 10 (6), 541-7.
- DeMeersman, R. E. (1993). Heart rate variability and aerobic fitness. *American Heart Journal*, 125, 726-731.
- Dencker, M., Thomson, O., Karlsson M.K., Lindén, C., Wolker, P., Andersen, L.B. (2008). Maximal oxygen uptake versus maximal power output in children. *Journal Sports Science*, 26(13), 1397-402.
- di Prampero, P.E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 90(3-4), 420-429.
- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F.J., Bachl, N., Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 222-227.
- Dietrich, F. D., Schindler, C., Schwartz, J., Barthelemy, J.C., Tschopp, J.M., Roche, F., et al. (2006). Heart rate variability in an ageing population and its association with lifestyle and cardiovascular risk factors: results of the SAPALDIA study. *Europace*, 8, 521–529.
- Duhan, M. (2006). *Výběr a výchova talentů pro vrcholový fotbal*. Bakalářská práce, Masarykova Univerzita, Brno.
- Fallen, E., & Kamath, V. (1995). Circadian rhythms of heart rate variability. In: M. Malík & J. Camm (Eds.), *Heart rate variability* (pp. 293-309). New York, NY: Futura.

- Farrell, P.A., Gustafson, A.B., Morgan, W.P., Pert, C.B. (1987). Enkephalins, catecholamines, and psychological mood alterations: effects of prolonged exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19(4), 347-53.
- Faude, O., Kindermann, W., Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts: how valid are they? *Sports Medicine*, 39(6), 469-490.
- Ferguson, S., Gledhill, N., Jamnik, V.K., Wiebe, C., Payne, N. (2001). Cardiac performance in endurance-trained and moderately active young women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33, 1114–1119.
- FIFA Confederations Cup. Germany 2005.* (2005). Gütersloh: Medienfabrik Gütersloh GmbH.
- Fráňa, P., Souček, M., Řiháček, I., Bartošíková, L., Fráňová, J. (2005). Hodnocení variability srdeční frekvence, její klinický význam a možnosti ovlivnění. *Farmakoterapie*, 4/05, 375-377
- Fukusaki, C., Kawakubo, K., & Yamamoto, Y. (2000). Assessment of the primary effect of aging on heart rate variability in humans. *Clinical Autonomic Research*, 10(3), 123-130.
- Furlan, R. et al. (1993). Early and late effects of exercise and athletic training on neural mechanisms controlling heart rate. *Cardiovascular Research*, 27(3), 482-488.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie (20th ed.)*. Praha: Galén.
- Gil, S.M., Gil, J., Ruiz, F., Irazusta, A., Irazusta, J. (2007). Physiological and anthropometric characteristics of young soccer players according to their playing position: relevance for the selection process. *J. Strength Cond. Res.*, 21, 438–445
- Grasgruber, P., Cacek, J. (2008). *Sportovní geny*. Brno: Computer press.
- Guyton, A.C. (1992). Kidneys and fluids in pressure regulation. Small volume but large pressure changes. *Hypertension*, 191, I2–I8.
- Hainsworth, R. (1996). The physiological approach to cardiovascular reflexes. *Clinical Science*, 91, 43-49
- Hainsworth, R. (1998). Physiology of the cardiac autonomic system. In M. Malik (Ed.), *Clinical guide to cardiac autonomic tests* (pp.3-28). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.ed.). Brno: Masarykova Universita.
- Hamar, D., & Lipková, J. (2001). *Fyziológia telesných cvičení*. Bratislava: Universita Komenského.
- Hartikainen, J.E.K. et al.(1998). Short –term measurement of hear rate variability. In M. Malik (Ed.), *Clinical guide to cardiac autonomic tests* (pp.149-176). Dordrecht:

Kluwer Academic Publishers.

- Hautala, A., Tulppo, M.P., Mäkikallio, T.H., Laukkanen, R., Nissilä, S., Huikuri, H.V. (2001). Changes in cardiac autonomic regulation after prolonged maximal exercise. *Clinical Physiology*, 21(2), 238-45.
- Hautala, A.J., Kiviniemi, A.M., Tulppo, M.P. (2008) Individual responses to aerobic exercise: the role of the autonomic nervous system. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2009, 33(2), 107-15.
- Havlíčková, L. (1993). *Fyziologie tělesné zátěže. II., Speciální část. 1. díl.* Havlíčková et al. 1. vyd. Praha : Karolinum.
- Hawkins, M.N., Raven, P.B., Snell, P.G., Stray-Gundersen, J., Levine, B.D. (2007). Maximal oxygen uptake as a parametric measure of cardiorespiratory capacity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(1), 103-7.
- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P., Henriksson-Larsen, K. (2000). Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9), 1531-1533.
- Helgerud, J., Engen, L.C., Wisloff, U. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11, 1925–1931.
- Helgerud, J., et al. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(4), 665-671.
- Heller, J., Bunc, V., Buzek, M. et al. (1995). Anaerobic power and capacity in young and adult football (soccer) players. *Acta Univ. Carol. Kinaanthropologica*, 31(1), 73-83.
- Henriksson, J., Hickner, R.C. (1996) Skeletal muscle adaptation to endurance training. In: *Intermittent high intensity exercise*. Eds: MacLeod, D.A.D, Maughan, R.J. Williams, C., Madeley, C.R., Sharp, J.C.M. and Nutton, R.W. E&FN Spon, London. 5-26.
- Hildick-Smith, D.J.R., Shapiro, L.M. (2001). Echocardiographic differentiation of pathological and physiological left ventricular hypertrophy. *Heart*, 85, 615 – 619.
- Hlavoňová, D. (2001). *Variabilita srdeční frekvence a vytrvalostní výkon*. Brno: Masarykova univerzita v Brně. Dizertační práce.
- Hoff, J., Gran, A., Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 12(5), 288-295.

- Honzíková, N. (2004). Citlivost baroreflexu u dospívající mládeže. In *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech - od teorie ke klinické praxi*. (1st ed.). Olomouc: Fakulta tělesné kultury UP. 23-26.
- Hoppeler, H. & Weibel, E.R. (2000). Structural and functional limits for oxygen supply to muscle. *Acta. Physiol. Scand.*, 168, 445–456.
- Charkoudian, N., Joyner, M.J., Johnson, C.P., Eisenach, J.H., Dietz, N.M. & Wallin, B.G. (2005). Balance between cardiac output and sympathetic nerve activity in resting humans: role in arterial pressure regulation. *J.Physiol.*, 568, 315-321.
- Choutka, M., Dovalil, J. (1991). *Sportovní trénink*. 1. vyd. Praha: Olympia.
- Iaia, F.M., Rampinini, E., Bangsbo, J. (2009). High-intensity training in football. *Int J.Sports Physiol .Perform.*, 4(3), 291-306.
- Iellamo, F. et al. (2002). Conversion from vagal to sympathetic predominance with strenuous training in high-performance world class athletes. *Circulation*, 105(23), 2719-2724.
- Iwasaki, K., Zhang, R., Zuckerman, J.H., Levine, B.D. (2003). Dose-response relationship of the cardiovascular adaptation to endurance training in healthy adults: how much training for what benefit? *Journal of Applied Physiology*, 95, 1575–1583.
- Jakubec, A. (2005). *Spektrální analýza variability srdeční frekvence v průběhu zotavení po dynamické práci*. Disertační práce, Universita Palackého, Fakulta tělesné kultury, Olomouc.
- Jakubec, A., Stejskal, P., Kuchyňka, P., Botek, M., Řehová, I., Šlachta, R., Pavlík, F., Vlčková, E., Gaddur, E. Maximální tepová rezerva: ukazatel intenzity zatížení. In D. Martiník (Ed.) Sborník z interdisciplinární konference s mezinárodní účastí „Optimální působení tělesné zátěže a výživy“ (75-79). Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové.
- Javorka, K. (1996). *Klinická fyziologie pre pediatrov*. Martin: Osveta.
- Joksimovic, A. et al. (2009). Morphological characteristics of 2008 EU football championship participants. *Serb. J. Sports. Sci.*, 3(1-4), 71-79
- Kalina, M., Stejskal, P., Jakubec, A., & Gaul-Aláčová, P. (2002). Vliv ortoklinostatického manévru na rychlost zotavení autonomního nervového systému po tělesném zatížení. In Thurzo (Ed.), *Sborník referátů z interdisciplinární konference Optimální působení tělesné zátěže a výživy* [CD-ROM]. Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové
- Katz, A. & Sahlin, K. (1988). Regulation of lactic acid production during exercise.

- Journal of Applied Physiology*, 65 (2), 509-518.
- Kautzner, J. et al. (1998). Variabilita srdečního rytmu a její klinická použitelnost, I.část. *Cor Vasa*, 40 (4), 182 – 187.
- Kemi, O.J., Hoff, J., Engen, L.C., Helgerud, J., Wisløff, U. (2003). Soccer specific testing of maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43, 139-144.
- Kligfield, P., McCormick, A., Chai, A., Jacobson, A., Feuerstadt, P., Hao, S.C. (2003). Effect of age and gender on heart rate recovery after submaximal exercise during cardiac rehabilitation in patients with angina pectoris, recent acute myocardial infarction, or coronary bypass surgery. *American Journal of Cardiology*, 92, 600–603.
- Klissouras, V. (1973). Erbllichkeit und Training. *Leistungssport*, 5, 357.
- Kocmánková, P. (2003). *Vliv psychického zatížení na TF a variabilitu srdeční frekvence při pobytu v lanovém centru*: diplomová práce (vedoucí Radim Šlachta). Olomouc: Univerzita Palackého – FTK.
- Kolář, J., et al. (2003). *Kardiologie pro sestry intenzivní péče a studenty medicíny*. 3. vyd. Praha: Akcenta.
- Kolářová, K. (2009). *Sledování a vyhodnocování fyzikálních parametrů oběhové soustavy v zátěži*. Brno: Masarykova Univerzita, Diplomová práce.
- Kolisko, P., Salinger, J., Opavský, J., Stejskal, P., Jandová, D., Slováček, K. et al. (2001). Vliv řízeného a spontánního dýchání na změny funkčního stavu autonomního nervového systému (ANS). In H. Válková & Z. Hanelová (Eds.), *Pohyb a zdraví: sborník z 2. mezinárodní konference* (pp. 269-276). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Kouidi, E., Haritonidis, K., Koutlianos, N., & Deligiannis, A. (2002). Effects of athletic training on heart rate variability triangular index. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22(4), 279-284.
- Koukolík, F. (2002). *Lidský mozek: funkční systémy: norma a poruchy*. 2., aktualiz. a rozš. vyd. Praha: Portál.
- Krahulcová, S. (2007). *Echokardiografické a spiroergometrické parametry u vytrvalostních sportovců, mužů ve věku od 20 do 30 let*. Rigorózní práce. Brno: Masarykova Univerzita.
- Kučera, M. et al. (1999). *Sportovní medicína*. 1. vyd. Praha : Grada Publishing.
- La Rovere, M. T., Bigeer, J. T., Marcus, F. I. et al. (1998). Baroreflex sensitivity and heart rate variability in prediction of total cardiac mortality after myocardial

- infarction: ATRAMI (Autonomic Tone and reflexes After Myocardial Infarction) investigators. *Lancet*, 351, 478 – 484.
- Lacko, A., Navrátilová, M., Hruboň, A., Starka, J., Bestvina, D. (2004). Vlyv stresu na autonómnú reguláciu srdcovej činnosti. In Salinger, J. *Variabilita srdeční frekvence v biomedicínských oborech: od teorie k praxi. 1. vyd.* Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 59-61.
- Lamberts, R.P., Swart, J., Capostagno, B., Noakes, T.D., Lambert, M.I. (2010). Heart rate recovery as a guide to monitor fatigue and predict changes in performance parameters. *Scand .J. Med. Sci. Sports*, 20(3), 449-57.
- LaMonte, M.J., Fitzgerald, S.J., Levine, B.D., Church, T.S., Kampert, J.B., Nichaman, M.Z., Gibbons, L.W., Blair, S.N. (2006). Coronary artery calcium, exercise tolerance, and CHD events in asymptomatic men. *Atherosclerosis*, 189(1), 157-62.
- le Gall, F., Carling, C., Williams, M., Reilly, T. (2010). Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *J. Sci. Med. Sport*, 13(1), 90-5.
- Lehnert, M., Novosad, J., & Neuls, F. (2001). *Základy sportovního tréninku.* Olomouc: Hanex.
- Leicht, S. A., Allen, D. G., Hoey, J. A. (2003). Influence of intensive training on heart rate variability during rest and exercise. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(6), 898-909.
- Levine, B.D. (2007). VO₂max: what do we know, and what do we still need to know? *Journal Physiology*, 586(1), 25-34.
- Lipková, J. (2001). *Fyziologie tělesných cvičení.* Bratislava, Univerzita Komenského.
- Loimaala, A., Huikuri, H., Oja, P., Pasanen, M., Vuori, I. (2000). Controlled 5-mo aerobic training improves heart rate but not heart rate variability or baroreflex sensitivity. *Journal of Applied Physiology*, 89, 1825–1829.
- Lu, C.-L., Zou, X., Orr, W.C. & Chen J.D. (1999). Postprandial changes of sympathovagal balance measured by heart rate variability. *Dig. Dis. Sciences*, 44(4), 857-861.
- Martinelli, F.S., Chacon-Mikahil, M.P., Martins, L.E., Lima-Filho, E.C., Golfetti, R., Paschou, M.A., Gallo-Junior, L. (2005). Heart rate variability in athletes and nonathletes at rest and during head-up tilt. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 38(4), 639-647.
- McArdle, W.D., Katch, F.I., Katch, V.L. (1996). *Exercise Physiology: Energy,*

- Nutrition, and Human Performance*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins.
- Mezzacappa, E.S., Kelsey, R.M., Katkin, E.S., Sloan, R.P. (2001). Vagal rebound and recovery from psychological stress. *Psychosom Med.*, 63(4), 650-657.
- Nagashima, J., Musha, H., Takada, H. et al. (2003). New upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in Japanese participants in the 100-km ultramarathon. *J. Am. Coll. Cardiol.*, 42, 1617 – 1623.
- Nevill, A. M. et al. (2004). Are adult geometry similar? The danger of allometric scaling using body mass power laws. *Am. J. Physic. Antrop.*, 124, 177 -182.
- NOAKES, T. (2003). *Lore of Running*. Human Kinetics. Oxford University Press s. 41.
- Novotný, J. & Novotná, M. (2008). Fyziologické principy tréninku a testy běžců. *Atletika*, 60(11), 1-8.
- Oakley, D. (2001). The athlete's heart. *Heart*, 86, 722 - 726.
- Odemuyiwa, O. (1995). Effect of age on heart rate variability. In: Malik, M. & Camm, A.J. (Eds). *Heart Rate Variability* (pp. 235–239). Armonk, New York.
- Ogoh, S., Brothers, R.M., Barnes, Q., Eubank, W.L., Hawkins, M.N., Purkayastha, S., O-Yurvati, A., Raven, P.B. (2005). Cardiopulmonary baroreflex is reset during dynamic exercise. *Journal of Applied Physiology*, 100(1), 51-9.
- Olšák, S. (2000). Catalogue for examples & experiences based on application of spectral analysis of heart rate variability using VariaPulse TF3 and Variacardio TF4 systems in professional, top sports in training. *Report to Advanced Medical Diagnostic Group Ltd*.
- Opavský, J. (2002). *Autonomní nervový systém a diabetická autonomní neuropatie: Klinické aspekty a diagnostika*. Praha: Galén.
- Opavský, J., Salinger, J., & Stejskal, P. (2004). Spectral analysis of heart rate variability and cardiovascular autonomic function tests in diabetic neuropathy – in patients with different severity of nervous system involvement. In Salinger (Ed.), *IV. Odborný seminář s mezinárodní účastí Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi – Sborník článků a abstrakt* (p. 163). Olomouc: Univerzita Palackého.
- Ošťádal, R. (2005). Řízení tréninku atletů podle spektrální analýzy variability srdeční frekvence. In D. Martiník (Ed.) *Sborník z interdisciplinární konference s mezinárodní účastí „Optimální působení tělesné zátěže a výživy“* (107-113). Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové.
- Peronnet, F., Thibault, G., Cousineau, D. (1991). A theoretical analysis of the effect

- of altitude on running performance. *Journal of Applied Physiology*, 70, 399–404.
- Pigozzi, F., Alabiso, A., Parisi, A., Disalvo, V., Di Luigi, L., Sparato, A. & Ielammo, F. (2001). Effects of aerobic exercise training on 24hr profile of heart rate variability in female athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 41, 101-107.
- Pichot, V. et al. (2002). Autonomic adaptations to intensive and overload training periods: a laboratory study. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(10),1660-1666.
- Pinna, G. D., Maestri, R., La Rovere, M. T., Gobbi, E., & Fanfulla, F. (2006). Effect of paced breathing on ventilatory and cardiovascular variability parameters during short-term investigations of autonomic function. *Am. J. Physiol. Heart Circ. Physiol.*, 290, 424– 433.
- Placheta, Z. et al. (1996). *Zátěžová funkční diagnostika a preskripce pohybové léčby ve vnitřním lékařství. 1. vyd.* Brno: Masarykova univerzita.
- Placheta, Z., Siegllová, J., Štejf, M. et al.(1999). *Zátěžová diagnostika v ambulanci a klinické praxi.* Praha: Grada.
- Pollock, M.L., Foster, C., Knapp, D., Rod, J.L., Schmidt, D.H. (1987). Effect of age and training on aerobic capacity and body composition of master athletes. *Journal of Applied Physiology*, 62(2), 725-31.
- Ponorac, N., Matavulj, A., Rajkovaca, Z., Kovacević, P. (2007). The assessment of anaerobic capacity in athletes of various sports. *Med .Pregl.*, 60(9-10), 427-430.
- Popadic Gacesa, J.Z., Barak, O.F., Grujic, N.G. (2009). Maximal anaerobic power test in athletes of different sport disciplines. *J. Strength. Cond. Res.*, 23(3), 751-755.
- Přerovská, S., & Maršík, F. (2002). *Interakce respiračního a kardiovaskulárního systému člověka.* Praha: Grada Publishing.
- Psotta, R. et al. (2006). *Fotbal- kondiční trénink.* Praha: (Grada).
- Raczak, G., Danilowicz-Szymanowicz, L., Kobuszewska-Chwirot, M., Ratkowski, W., Figura-Chmielewska, M., & Szwoch, M. (2006). Long-term exercise training improves autonomic nervous system profile in professional runners. *Kardiologia polska*, 64(2), 135-142.
- Rajendra Acharya, U., Paul Joseph, K., Kannathal, N., Lim Choo Min, Suri Jasjit, S. (2006).Heart rate variability: a review. *Medical & biological engineering & computing*,44(12), 1031-1051.

- Reed, S. F., Porges, S. W., & Newlin, D. B. (1999). Effect of alcohol on vagal regulation of cardiovascular function: Contributions of the polyvagal theory to the psychophysiology of alcohol. *Experimental and Clinical Psychopharmacology*, 7(4), 484-492.
- Reilly, T., Bangsbo, J., Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18(9), 669-683.
- Robergs, R. A., Ghiasvand, F., Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology: Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 287, 502-516.
- Robergs, R.A., & Roberts, S. (1997). *Exercise Physiology: Exercise, performance, and clinical applications*. St Louis, MO: Mosby.
- Rokyta, R. et al. (2000). *Fyziologie, pro bakalářské studia v medicíně, přírodovědeckých a tělovýchovných oborech*. Praha: ISV.
- Sacknoff, D.M., Gleim, G.W., Stachenfeld, N., Coplan, N.L. (1994). Effect of athletic training on heart rate variability. *American Heart Journal*, 127, 1275-1278.
- Salinger, J., Opavský, J., Bůla, J., Vychodil, R., Novotný, J., & Vaverka, F. (1994). Programové vybavení měřicího systému, typ TF-2, určené pro spektrální analýzu variací R-R intervalů v kardiologii. *Lékař a technika*, 25, 58-62.
- Salinger, J., Opavský, J., Stejskal, P., Vychodil, R., Olšák, S., & Janura, M. (1998). The evaluation of heart rate variability in physical exercise by using the telemetric variapulse TF3 system. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 28, 13-23.
- Shephard, R.J. (2007). Fitness of Canadian children: range from traditional Inuit to sedentary city dwellers, and assessment of secular changes. *Med .Sport Sci.*, 50, 91-103.
- Shin, K, Minamitani, H., Onishi, S., Yamazaki, H., & Lee, M. (1997). Autonomic differences between athletes and nonathletes: spectral analysis approach. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29, 1482-1490.
- Singer, D. M, & Ori, Z. (1995). Changes in heart rate variability associated with sudden cardiac death. In: Malik, M. & Camm, A.J. (Eds), *Heart Rate Variability* (pp. 429-448), Armonk, New York.
- Singh, J.P, Larson, M.G., O'Donnell, C.J, Tsuji, H., Evans, J.C., Levy, D. (1999). Heritability of heart rate variability: The Framingham heart study. *Circulation*, 99(17), 2251-2254.

- Souček, M. (2002). Sympatoadrenergická blokáda v léčbě hypertenze. *Remedia*, 12, 133 – 140.
- Souček, M., Fraňa, P., Řáháček, I. (2005). Hodnocení variability srdeční frekvence, její klinický význam a možnosti ovlivnění. *Farmakoterapie*, 1, 167 - 171.
- Sporis, G., Jukic, I., Ostojic, S.M., Milanovic, D. (2009). Fitness profiling in soccer: physical and physiologic characteristics of elite players. *Journal Strength Cond. Res.*, 23(7), 1947-53.
- Stejskal, P. (2002). Trénink v oblasti přetížení a možné důsledky. Možnosti časné diagnostiky a prevence přetrénování a optimalizace tréninku. In D. Tomajko (Ed.), *Sborník referátů ze 4. mezinárodního vědeckého semináře Efekty pohybového zatížení v edukačním prostředí tělesné výchovy a sportu* (pp. 333-359). Olomouc: Univerzita Palackého, Fakulta tělesné kultury.
- Stejskal, P. (2004). Využití nové metodiky hodnocení SA HRV pomocí komplexních indexů v klinické a sportovní praxi. In SALINGER, Jiří. Variabilita srdeční frekvence v biomedicínských oborech: od teorie k praxi. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 105-115.
- Stejskal, P. (2006). *Konec tradičního pojetí energetických zón?* Olomouc.
- Stejskal, P. (2007). Spektrální analýza srdeční frekvence při rekreačních pohybových aktivitách a při sportovním tréninku. In D. Martiník (Ed.) *Sborník z interdisciplinární konference s mezinárodní účastí „Optimální působení tělesné zátěže a výživy“* (10-20). Hradec Králové: Univerzita Hradec Králové.
- Stejskal, P. et al. (2001). Power spectrum of heart rate variability in exercising humans: The effect of exercise intensity. *Sports Medicine, Training and Rehabilitation*, 10(1), 39-57.
- Stejskal, P., & Salinger, J. (1996). Spektrální analýza variability srdeční frekvence – základy metodiky a literární přehled o jejím klinickém využití. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 5(2), 33-42.
- Stejskal, P., Jakubec, A., Příkryl, P., & Salinger, J. (2004). Vliv osmihodinového časového posunu po přeletu přes poledníky na východ na spektrální analýzu variability srdeční frekvence u špičkového sportovce (kasuistika). *Medicina sportiva Bohemica et Slovaca*, 13(1), 2-10.
- Stejskal, P., Šlachta, R., Elfmark, M., Salinger, J., & Gaul-Aláčová, P. (2002). Spectral analysis of heart rate variability: New evaluation method. *Acta Gymnica Universitatis Palackianae Olomucensis*, 32(2), 13-8.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., Wisloff, U. (2005) Physiology of soccer: an

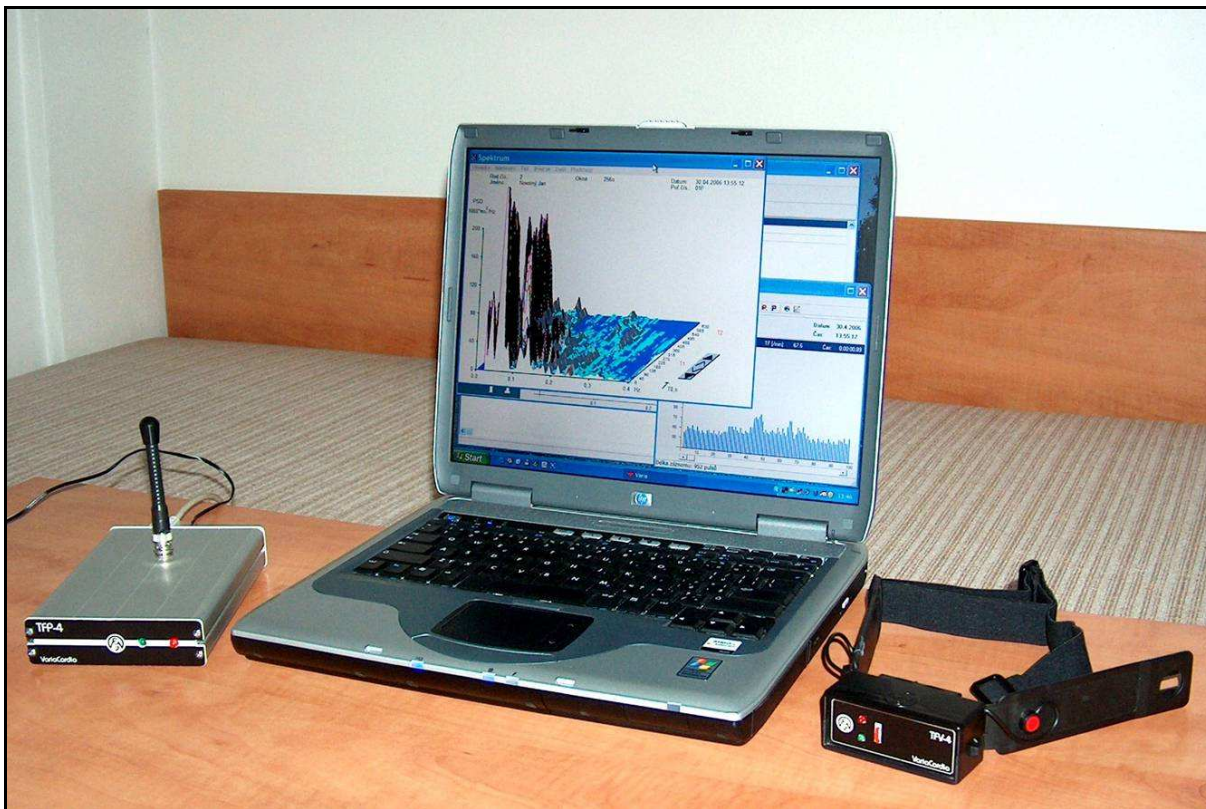
- update. *Sports Medicine*, 35(6), 501-536.
- Sztajzel, J., Jung, M., Sievert, K., Bayes De Luna, A. (2008). Cardiac autonomic profile indifferent sports disciplines during all-day activity. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(4), 495-501.
- Šiška, E. (2000). Variabilita srdeční frekvence - možnosti využití ve výzkumu a v klinické praxi. *Československá psychologie*, 44 (3), 266-278.
- Šlachta, R., Stejskal, P., Elfmark, M., Salinger, J., Kalina, M., & Řehová, I. (2002). Age and spectral analysis of heart rate variability. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 32(1), 59-67.
- Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996). Heart rate variability. Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Special report. *Circulation*, 93(5), 1043-1065.
- Tomkinson, G.R., Olds, T.S. (2007). Secular changes in aerobic fitness test performance of Australasian children and adolescents. *Medicine and Sport Science*, 50,168-182.
- Tulppo, M.P., Hautala, A.J., Makikallio, T.H., Laukkanen, R.T., Nissila, S., Hughson, R.L., Huikuri, H.V. (2003). Effects of aerobic training on heart rate dynamics in sedentary subjects. *Journal of Applied Physiology*, 95, 364–372.
- Umetani, K., Singer, D.H., McCraty, R., Atkinson, M. (1998). Twenty-four hour time domain heart rate variability and heart rate: relations to age and gender over nine decades. *J. Am. Coll Cardiol.*, 31(3), 593-601.
- Uusitalo, A.L., Uusitalo, A.J., Rusko, H.K. (1998). Endurance training, overtraining and baroreflex sensitivity in female athletes. *Clinical Physiology*, 18, 510–520.
- Vojtěchovský, O., Sekera, J. (2009). *Cyklistika průvodce tréninkem*. Praha: GRADA.
- Wasserman, K, Hansen, JE, Sue, DY, et al.(1999). *Principles of the exercise testing and interpretation*. 3rd ed. Lippincott Williams & Wilkins. Baltimore, MD:
- Weber, K.T., Janini, J.S., McElroy, P.A. (1987). Determination of aerobic capacity and the severity of chronic cardiac and circulatory failure. *Circulation*, 76(2), 140-145.
- Wehrin, .J.P. & Hallen, J. (2006). Linear decrease in. VO₂max and performance with increasing altitude in endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 404–412.
- Weltman, A. (1995). *The Blood Lactate Response to Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics)

- Wichterle, D., Němec, J. (1993). Variabilita srdečního rytmu a náhlá smrt. *Noninvazivní kardiologie*, 2, 173 - 177.
- Wilmore, J. H., Costil, D. L. (2004). *Physiology of sport and exercise*. Third edition. Human Kinetics.
- Wisloff, U., Helgerud, J., Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30, 462-467.
- Wong, P.L., Chamari, K., Dellal, A., Wisloff, U. (2009). Relationship between anthropometric and physiological characteristics in youth soccer players. *J. Strength and Conditioning Res.*, 23(4), 1204-1210.
- Yamamoto, Y., & Hughson, R. L. (1991). Coarse - graining spectral analysis: new method for studying heart rate variability. *J. Appl. Physiol.*, 71(3), 1143-1150.
- Žujová, E., Stejskal, P., Jakubec, A., Gaul-Aláčová, P., Salinger, J. (2004). Respiration frequency and spectral analysis of heart rate variability. *Gymnica*, 34(1), 43-47.
- Anonymus (n.d.). Zajacová, M. (2006). Retrieved 3. 12. 2010 from the Word wild web: <http://ktl.lf2.cuni.cz/text/diplomky/zajacova/>.

11 SEZNAM PŘÍLOH

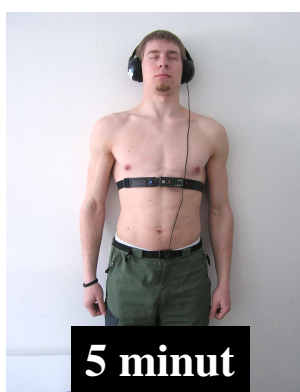
Příloha 1

Mikropočítačový měřicí systém VariaCardio TF4.



Příloha 2

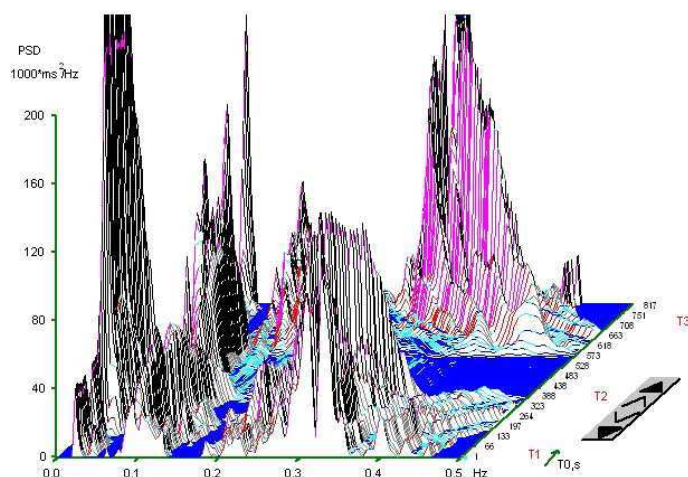
Ortoklinostatický manévr (pasivní forma provedení).



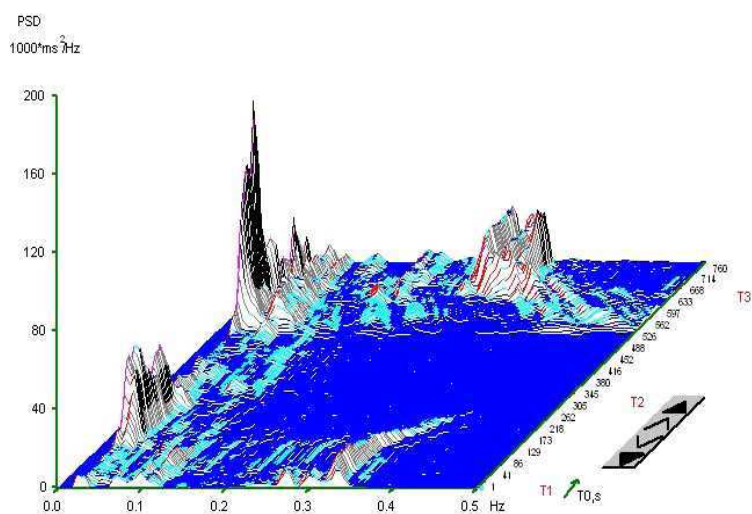
Příloha 3

Trojrozměrný graf výkonového spektra HRV a tabulka základních komplexních ukazatelů intenzivně trénujícího sportovce (věk 17,4 roky).

a) reakce na ortostatický manévr za obvyklých (normálních) podmínek



b) v podmínkách redukované výkonnosti ANS



c) tabulka základních komplexních ukazatelů

Ukazatel	a)	b)
CS (body)	2,0696	-0,9426
VA (body)	2,0647	-1,1527
SVB (body)	2,0791	-0,5430

Vysvětlivky: CS – komplexní ukazatel celkového skóre, VA – komplexní ukazatel aktivity vazu, SVB – komplexní ukazatel aktivity sympatogové rovnováhy. Maximální rozsah bodového hodnocení -5,0 bodů až +5,0 bodů.