

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



---

Fakulta  
tělesné kultury

## **VLIV ÚNAVY, PŘETÍŽENÍ A PŘETRÉNOVÁNÍ NA VARIABILITU SRDEČNÍ FREKVENCE**

Bakalářská práce

Autor: Denisa Soukupová

Studijní program: Rekreatologie – pedagogika volného času

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

Olomouc 2024

## **Bibliografická identifikace**

**Jméno autora:** Denisa Soukupová

**Název práce:** Vliv únavy, přetížení a přetrénování na variabilitu srdeční frekvence

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

**Pracoviště:** Katedra přírodních věd v kinantropologii

**Rok obhajoby:** 2024

### **Abstrakt:**

Variabilita srdeční frekvence je objektivní ukazatel, který se hojně se využívá nejen v oblasti sportu. Jedná se o dostupný a citlivý ukazatel, který přináší cenné informace o stavu autonomní kardiální regulace u sportovců. Variabilita srdeční frekvence se mění v důsledku fyziologické i patologické únavy. Sledování změn variability srdeční frekvence může napomoci prevenci přetížení či přetrénování. Cílem této bakalářské práce bylo zmapovat literární prameny zabývající se odezvou autonomní kardiální regulace a výkonnosti ve vztahu k fyziologické a patologické únavě. Vyhledávání odborných studií proběhlo pomocí databází Web of Science a PubMed. Celkem bylo vybráno dvacet pět studií, z čehož se sedm zabývalo vlivem únavy na variabilitu srdeční frekvence, jedenáct vlivem přetížení na variabilitu srdeční frekvence a sedm studií se zabývalo vlivem přetrénování na variabilitu srdeční frekvence. Z výsledků dostupných studií vyplývá, že ve stavech únavy, popřípadě přetížení či přetrénování dochází ke snížení sportovní výkonnosti a celkové variability srdeční frekvence. Proto ji lze využít pro monitorování funkčního stavu organismu a předcházení chronické a patologické únavě.

### **Klíčová slova:**

Autonomní nervový systém, srdce, sympatovagová balance, stres, sportovní výkon, homeostáza

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

**Bibliographical identification****Author:** Denisa Soukupová**Title:** Effect of fatigue, overreaching and overtraining on heart rate variability**Supervisor:** doc. PhDr. Michal Botek, Ph.D.**Department:** Department of Natural Sciences in Kinanthropology**Year:** 2024**Abstract:**

Heart rate variability is an objective indicator that is widely utilized not only in sports. It is an accessible and sensitive indicator that provides valuable insights into the state of autonomic regulation in athletes. Heart rate variability changes due to physiological and pathological fatigue. Monitoring changes in heart rate variability can help prevent overreaching or overtraining. The aim of this bachelor thesis was to review literature concerning the relationship between autonomic cardiac regulation, performance, and both physiological and pathological fatigue. The search for peer-reviewed studies was conducted using the Web of Science and PubMed databases. A total of twenty-five studies were selected, of which seven dealt with the effect of fatigue on heart rate variability, eleven with the effect of overreaching on heart rate variability, and seven with the effect of overtraining on heart rate variability. The findings of these studies suggest that during states of fatigue, overreaching, or overtraining, there is a decline in athletic performance and, notably, in overall heart rate variability and its indicators. Consequently, heart rate variability monitoring can serve as a tool for assessing the functional state of the organism and for preventing chronic and pathological fatigue

**Keywords:**

Autonomic nervous system, heart, sympathovagal balance, stress, sports performance, homeostasis

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

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně pod vedením doc. PhDr. Michala Botka, PhD., uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 30. dubna 2024

.....

Děkuji vedoucímu práce doc. PhDr. Michalu Botkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a ochotu, které mi při zpracování této bakalářské práce poskytl.

## OBSAH

1	Úvod.....	9
2	Přehled poznatků.....	10
2.1	Sportovní trénink .....	10
2.1.1	Charakteristika sportovního tréninku.....	10
2.1.2	Optimalizace sportovního tréninku .....	12
2.2	Únava .....	13
2.2.1	Fyziologická únava .....	13
2.2.2	Patologická únava.....	14
2.2.3	Změna výkonnosti ve vztahu k únavě, přetížení a přetrénování.....	16
2.2.4	Monitoring únavy .....	19
2.2.5	Prevence únavy.....	20
2.3	Kardiovaskulární soustava .....	20
2.3.1	Srdce .....	21
2.3.2	Srdeční frekvence .....	21
2.4	Nervová soustava.....	22
2.4.1	Centrální nervová soustava .....	23
2.4.2	Periferní nervová soustava .....	23
2.5	Autonomní nervový systém .....	24
2.5.1	Centrální část ANS .....	24
2.5.2	Periferní část ANS .....	24
2.5.3	Funkce ANS.....	25
2.5.4	Stres a stresová osa .....	26
2.6	Variabilita srdeční frekvence .....	27
2.6.1	Faktory ovlivňující VSF .....	28
2.6.2	Měření VSF.....	30
2.6.3	Význam měření VSF .....	33
2.7	Ukazatele VSF.....	34
2.7.1	Časové a geometrické ukazatele .....	34
2.7.2	Frekvenční ukazatele .....	36

2.7.3	Nelineární ukazatele.....	38
2.7.4	Interpretace výsledků měření VSF .....	39
2.8	Význam variability srdeční frekvence v tréninkovém procesu .....	41
2.8.1	Vliv zatížení na VSF .....	41
2.8.2	VSF a zotavení.....	43
2.8.3	VSF a únava .....	45
2.8.4	VSF a přetížení.....	48
2.8.5	VSF a přetrénování .....	51
2.8.6	Změna výkonu ve vztahu k VSF .....	55
2.8.7	Prevence únavy, přetížení a přetrénování pomocí monitoringu VSF .....	56
2.8.8	Výhody a nevýhody měření VSF v tréninkovém procesu.....	57
3	Cíle.....	58
3.1	Hlavní cíl.....	58
3.2	Dílčí cíle.....	58
3.3	Výzkumné otázky.....	58
4	Metodika .....	59
4.1	Strategie výběru odborných studií .....	59
4.1.1	Strategie výběru odborných studií pro část „vliv únavy na VSF“ .....	59
4.1.2	Strategie výběru odborných studií pro část „vliv přetížení na VSF“ .....	60
4.1.3	Strategie výběru odborných studií pro část „vliv přetrénování na VSF“ .....	61
5	Výsledky a diskuse.....	62
5.1	Vliv únavy na VSF .....	62
5.2	Vliv přetížení na VSF .....	66
5.3	Vliv přetrénování na VSF.....	72
5.4	Limity studií .....	75
5.5	Praktická doporučení.....	76
6	Závěry .....	77
7	Souhrn .....	78
8	Summary .....	79
9	Referenční seznam .....	80

## PŘEHLED VYBRANÝCH ZKRATEK

<b>ANS</b>	Autonomní nervový systém
<b>CNS</b>	Centrální nervová soustava
<b>DF</b>	Dechová frekvence
<b>EKG</b>	Elektrokardiogram
<b>FFT</b>	Rychlá Fourierova transformace
<b>FOR</b>	Funkční přetížení
<b>HF</b>	Vysokofrekvenční pásmo
<b>LF</b>	Nízkofrekvenční pásmo
<b>NFOR</b>	Nefunkční přetížení
<b>OT</b>	Přetrénování
<b>OTS</b>	Syndrom přetrénování
<b>PNS</b>	Periferní nervová soustava
<b>RPE</b>	Škála vnímaného úsilí
<b>SA VSF</b>	Spektrální analýza variability srdeční frekvence
<b>SD</b>	Směrodatná odchylka
<b>SF (HR)</b>	Srdeční frekvence (Heart rate)
<b>SVB</b>	Sympatovagová balance
<b>ULF</b>	Pásmo ultra nízkých frekvencí
<b>VAS</b>	Vizuální analogová škála
<b>VLF</b>	Pásmo velmi nízkých frekvencí
<b>VSF (HRV)</b>	Variabilita srdeční frekvence (Heart rate variability)



# 1 ÚVOD

V současném světě je sport nastaven na podávání co nejvyšších výkonů, překonávání rekordů a extrémní zátěži, kterou musí tělo sportovce zvládat. Na druhou stranu někteří sportovci zapomínají na důležitost kvalitního odpočinku a regenerace. Dlouhodobé ignorování či dokonce potlačování stavů fyziologické únavy může vést k mnoha změnám organismu. V pokročilejších stádiích únavy se setkáváme se s pojmy funkční a nefunkční přetížení a v extrémních případech může potlačování únavy vést až ke stavu přetrénování. Tento jev je velmi závažnou diagnózou, která může vyřadit sportovce z tréninkového procesu nejen na několik týdnů či měsíců, ale dokonce i let. Nejen sportovci, ale také jejich trenéři by neměli zapomínat na důležitost vnímání a poslouchání vlastního těla a počátečních příznaků únavy.

Variabilita srdeční frekvence velmi starý koncept. Již první lékaři pozorovali variace v srdeční frekvenci, ale teprve až v posledních 150 letech začaly vznikat konkrétnější metody a myšlenky (Ernst, 2014). Původně se VSF využívala pro predikci náhlé srdeční smrti nebo u diabetické autonomní neuropatie, nicméně se setkáváme s využitím ve sportovním odvětví (Hottenrott et al., 2006). Měření VSF se využívá nejen na úrovni diagnostiky, ale také hlavně k monitorování sportovců. V současné době je měření variability srdeční frekvence dostupným a oblíbeným ukazatelem, který pomáhá odhalovat funkční změny v organismu. K oblíbenosti přispívá fakt, že se jedná o neinvazivní metodu a sportovci často měření zvládnou sami v domácích podmínkách. Trenérům naopak nejrůznější aplikace pomáhají s vyhodnocováním naměřených údajů a doporučují další vhodné postupy, aby se správně optimalizoval trénink.

V této práci se zaměříme na dostupné studie týkající se vlivu únavy, přetížení a přetrénování na variabilitu srdeční frekvence. Dále se snažíme popsat, k jakým změnám dochází na úrovni srdeční autonomní kontroly při výše zmíněných jevech a zda se dají tyto změny spolehlivě odhalit pomocí měření variability srdeční frekvence. Zaměřením této práce bude také změna výkonnosti sportovců při fyziologické a patologické únavě.

## 2 PŘEHLED POZNATKŮ

### 2.1 Sportovní trénink

Než se dostaneme k samotným pojmům, jako je únava, přetížení a přetrénování, je důležité si vymezit i pojem sportovní trénink, který s danými pojmy úzce souvisí. Se sportovním tréninkem se pojí zatížení, zátěž či zotavení, které mají svůj význam v této práci. Také se setkáváme se srdeční frekvencí a variabilitou srdeční frekvence, kterým se budeme věnovat dále.

Sportovní trénink chápeme jako proces, kde probíhá složitá bio-psycho-sociální adaptace. To znamená, že sportovec se musí přizpůsobit požadavkům tréninku a výkonu. (Perič & Dovalil, 2010) Jedná se o dlouhodobý a řízený proces, který je zaměřený na přípravu sportovce a zvyšování výkonnosti v daném sportu (Lehnert et al., 2001). Havlíčková (1991) dodává, že v tomto procesu sportovec nemůže jen pasivně vykonávat příkazy, ale je nutný jeho aktivní přístup, samostatnost a iniciativnost, jinak se trénink promění v neefektivní proces. Trénink dále vychází z daných zkušeností trenérů a řídí se principy, které jsou ověřené výzkumy laboratorními i terénními. (Sharkey & Gaskill, 2019)

#### 2.1.1 Charakteristika sportovního tréninku

Hlavním cílem tréninku je dosáhnout maximální výkonnosti v daném sportu. Mezi základní charakteristické znaky můžeme řadit aktivní a dobrovolný přístup každého sportovce. Trénink se orientuje na maximální výkon, je důležitá také silná motivace. Správný trénink by měl být pravidelný a zatěžování by mělo být racionální s tendencí k osobnímu maximu. Trénink je dlouhodobý, rozdělený na jednotlivé etapy, je silně individuální a specializovaný k danému sportovci a sportovnímu odvětví. Je také systémově řízen. (Lehnert et al., 2001)

Sharkey a Gaskill (2019) popisují, že důležitý pojem v tréninku je adaptace. Není možné měřit pouze každodenní změny, ale k měření adaptace je třeba týdnů i měsíců tvrdé dřiny. Problém nastává v případě, kdy chceme výsledky vidět ihned a často tak uspěcháme tempo, což často vede ke zranění, popřípadě nemoci. Trénink podle autorů zkrátka nelze uspěchat, je třeba být trpělivý.

#### **Zátěž a zatížení**

Působení zátěže vyvolává zatížení. Mezi zátěž můžeme řadit překonávání hmotnosti těla, odpor vnějšího prostředí, odpor zátěže posilovacích strojů aj. Působení zátěže je spojeno s výdejem energie. (Lehnert et al., 2001) Při zatížení se stimulují změny v daných svalech, které v daném okamžiku využíváme. Dochází ke vzniku nových bílkovin, aby organismus lépe zvládl další tréninkové zatížení. Změny se netýkají pouze svalů, ale i podpůrných systémů. Nervový

system lépe aktivuje svalová vlákna a oběhový systém efektivněji dodává pracujícím svalům kyslík a živiny. (Sharkey & Gaskill, 2019)

Pokud chceme v tréninkovém procesu dosáhnout požadovanou adaptaci, je důležité, aby trénink kladl na svaly zvýšené požadavky. Na začátku by měl sportovec překračovat obvyklou zátěž, ale při postupné adaptaci na zvýšený výkon je nutné zvyšovat i zatížení, ovšem přiměřeně. (Sharkey & Gaskill, 2019)

### **Výkon a výkonnost**

Se sportovním tréninkem taktéž souvisí pojmy výkon a výkonnost. Pokud se zaměříme na výkon, jedná se o výsledek sportovní činnosti. Výkonnost znamená dispozici podávat sportovní výkon. Úspěch ve sportu je dán sportovní výkonností. (Pecha et al., 2016)

Autoři Neumann et al. (2005) zmiňují důležitost rozvoje obecných výkonnostních předpokladů. Ty jsou nutné pro dosažení speciální výkonnosti a taktéž stabilní úrovně aerobních vytrvalostních, silových a rychlostních schopností. Obecně je výkonnost brána jako výchozí předpoklad pro zvýšení schopnosti zatěžovat organismus a pro obnovu sil a regeneraci. (Neumann et al., 2005)

U sportovců může dojít ke krátkému poklesu výkonnosti. Pokud se dále neprojeví jiné závažné psychické nebo jiné příznaky, nejedná se o závažný stav. Tento jev se nazývá jako funkční přetížení. (Neumann et al., 2005) Funkční přetížení bude popsáno dále v této práci.

### **VO<sub>2</sub>max**

VO<sub>2</sub>max je považován za jeden z hlavních ukazatelů výkonnosti. Jedná se o maximální objem kyslíku, které je tělo schopno využít a přenést během intenzivního výkonu. (Granero-Callegos et al., 2020)

### **Zotavení**

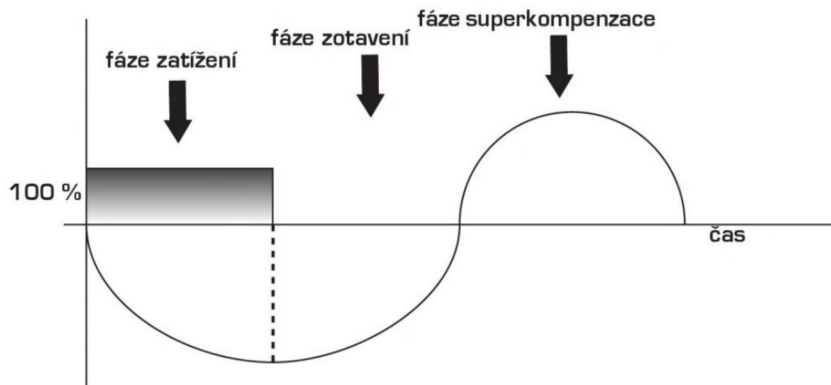
Odpočinek je nedílná součást našeho života a jinak tomu není ani v tréninkovém procesu. Bez něho nedojde k rozvoji trénovanosti, jakožto výsledku specifické adaptace. Měli bychom umět optimálně střídat odpočinek a tréninkové jednotky, protože se jedná o základní východisko procesu zatěžování. Toto střídání vyvolává vlastní adaptační pochody. (Lehnert et al., 2001)

Organismus sportovce spotřebovává energii kvůli zatížení v průběhu tréninkové jednotky. Zatížení snižuje práceschopnost a vyvolává únavu, následně i pokles funkčních možností a v neposlední řadě narušuje homeostázu. Ve fázi zotavení se nejen že obnoví spotřebované energetické rezervy, ale vytvářejí se i nové, které přesahují výchozí úroveň před zatěžováním organismu. V tomto případě hovoříme o superkompenzaci. (Lehnert et al., 2001) Pokud se organismus nachází ve fázi superkompenzace, znamená to, že nastal nejlepší čas pro zahájení tréninkového zatížení. Pokud bychom ho zařadili později, trénink nepovede k procesu a adaptace a pokud naopak dříve, mohlo by dojít k nakumulování vzniklé únavy. Nicméně

superkompensace nenastává pokaždé ve stejný čas, závisí na intenzitě výkonu a dobu, po kterou trvá. (Bernaciková, Hrnčířiková et al., 2020)

### Obrázek 1

*Změny energetických rezerv ve fázi zatížení a zotavení podle Periče a Dovalila (2010)*



Regenerace neslouží pouze k doplnění zásob organismu. Je důležitá jako prevence přetížení pohybového aparátu, ale také jako prevence přetížení či dokonce poškození organismu. Regenerace by měla obsahovat nesespecifické, nestrukturované aktivity prováděné v nízké intenzitě. Mnoho sportovců má svůj další oblíbený sport, kterému se věnuje hlavně v přechodném období neboli odpočinku po závodech. Je dokázáno, že sice se v tomto období sportovcům snižuje kondice, ale v následující sezóně podávají mnohem lepší výkony. (Bernaciková, Hrnčířiková et al., 2020; Sharkey & Gaskill, 2019)

### 2.1.2 Optimalizace sportovního tréninku

K rozvoji sportovního výkonu je třeba delšího časového úseku, na což je důležité nezapomínat. Ve vytrvalostních sportech se uvádí doba mezi 10-15 lety, abychom dosáhli špičkové úrovně. Je nutné tedy plánovat nejen obsah tréninku, ale i časovou strukturu. (Neumann et al., 2005) Vyšší trénovanost sportovce umožňuje dosahování lepších výsledků v daném sportu (Lehnert et al., 2001).

Řízení tréninku je nedílnou součástí celého procesu a pokud je efektivní, můžeme očekávat také vynikající účinnost celého konceptu (Neumann et al., 2005). Optimalizace tréninku a jeho obsahu je důležitá nejen pro vrcholové sportovce, ale i pro začátečníky (Bourdillon et al., 2018).

Neumann et al. (2005) dále rozlišují tři základní řízení tréninku – krátkodobé, střednědobé a dlouhodobé. Krátkodobé je důležité pro trenéry, slouží k udržení a kontrole kvality zatěžování v probíhajících tréninkových jednotkách. Součástí může být sledování vhodných biologických

parametrů. Střednědobé je založeno na laboratorních a terénních testech. Dosažená úroveň adaptace je vyhodnocována ve větším časovém úseku, cca 4-6 týdnů. Dlouhodobé řízení tréninku se zaměřuje na víceletý rozvoj výkonnosti. Řeší se souvislosti mezi výsledky komplexní diagnostiky, ale také i výsledky závodů. (Neumann et al., 2005)

## **2.2 Únava**

Sportovní výkon je úzce spojen s únavou. Únavu by žádní sportovci, ať už amatérští či elitní, neměli ignorovat a rozhodně ne potlačovat.

Hošková et al. (2015) popisují, že únava je stav, kdy dochází ke sníženému výkonu na základě přechozí buď tělesné anebo duševní aktivity. Všechny činnosti, které vykonáváme, vedou k únavě. Únava nás nutí k přerušení činností, které děláme, popřípadě ke snížení intenzity. Únavu můžeme definovat jako subjektivní vnímání nebo objektivní pozorované změny, které jsou spojené se zátěží (Hošková et al., 2015). Máček, Radvanský et al. (2011) rozlišují dvě základní příčiny únavy. Únava může vznikat při tělesné práci, ale také se setkáváme s únavou mentální.

Pastucha (2014) upozorňuje, že s únavou se ve sportu setkáváme běžně. Negativně ovlivňuje nejen činnost svalů, CNS, endokrinních žláz, ale i celého organismu. Při sportovním výkonu dochází k vyčerpání pohotovostních energetických zásob, k nahromadění zplodin organismu a také další fyzikálně chemické změny v tkáních. Bernaciková, Hrnčířiková et al. (2020) zmiňují, že to, jakým způsobem se únava projeví záleží na vnitřních a vnějších faktorech. Mezi řadí teplotu, vlhkost vzduchu či atmosférický tlak. Mezi vnitřní řadí stupeň trénovanosti či aktuální zdravotní stav.

Na únavu bychom ale měli nahlížet také v pozitivní rovině. Mezi pozitivní fenomény únavy zařazujeme superkompenzaci (Bernaciková, Hrnčířiková et al., 2020), která byla popsána výše. Pokud sportovec vnímá vysokou míru únavy, nemusí to hned znamenat závažný problém, pokud po výkonu nastane ideální doba odpočinku. Pokud bude sportovec odpočívat 24 až 36 hodin po výkonu, nedochází k poklesu výkonnosti. Důležité je hlídat období superkompenzace, jelikož zde dochází k nejlepšímu času začít nový trénink a kdy výkon sportovce bude nejvyšší. (McGuigan, 2017)

### **2.2.1 Fyziologická únava**

Fyziologická únava je únava, která vzniká při každé činnosti. Jejím základním projevem je postupné snížení výkonu. Únava je subjektivní pocit každého jedince. (Pastucha, 2014) Bernaciková, Hrnčířiková et al. (2020) dodávají, že objektivně se tato únava projeví poklesem

celkového výkonu sportovce. Je to přirozený stav organismu, který je ale vratný. Takováto únava nepředstavuje pro organismus nebezpečí.

### **2.2.2 Patologická únava**

Akutní únava nepředstavuje pro organismus až takový problém při zařazení optimální délky odpočinku. V takový moment je únava následována pozitivní adaptací nebo zlepšením výkonnosti, což je pro tréninkové programy žádoucí. Nicméně si sportovci musí dávat pozor na kombinaci nadměrné zátěže a nedostatečné regenerace. Pokud se tato rovnováha mezi zátěží a regenerací naruší, může docházet ke vzniku řady negativních jevů. (Meeusen et al., 2013) Těmto jevům se budeme dále věnovat. Botek, Krejčí a McKune (2017) popisují, že pro trenéry i sportovce je velmi složité stanovit ideální kombinaci objemu, intenzity, doby trvání, frekvence zatížení a intervalu zotavení. Bernaciková, Hrnčířiková et al. (2020) dodávají, že špatně naplánovaný trénink může vyvolat i přímé poškození organismu či patologický stav, který dále může narušovat proces adaptace.

Bernaciková, Hrnčířiková et al. (2020) dodávají, že patologickou únavu můžeme rozdělit na dva typy – na akutní a chronickou. Akutní patologickou únavu označujeme jako přetížení, chronickou patologickou únavu jako přetrénování.

#### ***Přetížení (Akutní patologická únava)***

Obecně se v dostupných studiích i literatuře setkáváme se dvěma typy přetížení. Prvním typem je funkční přetížení (*functional overreaching – „FOR“*). Funkční přetížení je stav, kdy jsou tréninkové dávky vysoké a sportovci nejsou schopni zvládat tréninky ve vysoké intenzitě. Projevem je snížená výkonnost. V takovém případě je nutné přistoupit k úpravě tréninku. Po dvou týdnech může dojít opět k plnému zotavení a proces přetížení může stimulovat superkompenzaci. (Tian et al., 2013) Botek, Krejčí a McKune (2017) dodávají, že nejčastěji se s tímto pojmem setkáme na tréninkových soustředěních, kde sportovci trénují často vícefázově a nemají dostatečnou dobu pro regeneraci.

Jako nefunkční (strukturální) přetížení (*nonfunctional overreaching – „NFOR“*) nazýváme stav, kdy se výkon sportovce nezlepší ani po snížení tréninkové dávky. V extrémních případech může sportovec dojít do fáze přetrénování (*overtraining – „OT“*). (Tian et al., 2013) Mezi příznaky patří dlouhodobá snížená výkonnost. Rozlišení NFOR a OT je obtížné a vyslovovat tyto diagnózy by měl lékař. (Meuseen et al., 2013)

Složitost rozlišení diagnóz spočívá v tom, že sportovec vykazuje stejné klinické, hormonální a jiné příznaky u obou typů patologické únavy. Autoři zkoumají změny v jednotlivých

ukazatelích VSF souvisejících s přetížením a přetrénováním. (Kajaia et al., 2017) Ty podrobně rozebereme v dalších kapitolách této práce.

### ***Přetrénování (Chronická patologická únava)***

Lehnert et al. (2001) uvádí, že pokud budeme organismus dlouhodobě přetěžovat, může vzniknout stav přetrénování. Jednotlivé tréninky jsou plánované příliš za sebou, organismus se nestihne zotavit a může dojít k chybné adaptaci, kterou nazýváme jako desadaptace. Jedná se o vážný stav a mezi jeho hlavní příznaky patří mnohem delší a trvalejší pokles výkonnosti, než je tomu u NFOR. (Meeusen et al., 2013) Neumann et al. (2005) dodávají, že organismus utlumí své funkce, což se nejefektivněji děje pomocí vegetativního (autonomního) nervového systému. Tím je organismus ochráněn před negativními účinky další intenzivní zátěže. Svalová únava pak může kumulovat v rámci více dnů či týdnů. Aby organismus tuto únavu překonal, reakcí bude spuštění stresové regulace.

Neumann et al. (2005) upozorňují, že přetrénování se mnohem častěji týká sportovců v týmech či skupinách než jednotlivců. Při tréninku ve skupině se zapomíná na individuální výkonnost. V mnoha případech se intenzita tréninků řídí podle těch nejvýkonnějších sportovců. Sportovci, kteří se snaží udržet tempo skupiny, musí vykonávat vyšší úsilí, a to dokonce o 3-5 %. Další problém podle Neumanna et al. (2005) nastává u mladých sportovců, kteří jsou až příliš motivovaní a v důsledku toho dochází k podceňování kvalitního odpočinku.

### ***Syndrom přetrénování (Overtaining syndrome, dále jen „OTS“).***

Při dlouhodobém nadměrném tréninkovém zatížení, v kombinaci s dalšími stresory, může dojít k nevysvětlitelnému poklesu výkonnosti. To může vést k chronickým maladaptacím, které mohou vyústit v OTS (Meeusen et al., 2010). Pro OTS je typický pokles výkonnosti trvajícím i přes několikátýdenní či dokonce měsíční období zotavování. Dokonce se uvádí, že zotavení z OTS se může pohybovat v řádu let. (Meeusen et al., 2013) Změny v organismu se podle Lehnerta et al. (2001) netýkají pouze vegetativní oblasti a oblasti výkonnosti, ale také oblasti psychické.

Autoři rozlišují dva typy přetrénování – sympatický typ OTS a parasympatický (vagový) typ OTS. Sympatický typ OTS se vyskytuje v počátečních fázích a je tedy těžké ho vůbec identifikovat. Dochází zde k významné převaze sympatiku. (Botek, Krejčí & McKune, 2017)

Druhým typem OTS je typ vagový. Botek, Krejčí a McKune (2017) popisují, že k vagovému OTS dochází v moment, kdy dochází k obratu od převahy sympatiku k postupnému útlumu celkové autonomní kardiální regulace. Autoři dodávají, že vagový typ je diagnostikován mnohem častěji než předchozí typ, jelikož se vyskytuje v pozdější fázi OTS. U tohoto typu vzniká vyčerpání sympatiku, kdy na základě toho dochází k převaze aktivity vagu.

U OTS se setkáváme s velkým množstvím příznaků, které Máček, Máčková a Radvanský (2003) odhadují na devadesát. Kreher a Schwartz (2012) uvádí příznaky OTS, přičemž vagové

změny jsou častější u aerobních sportů (únava, deprese, bradykardie, ztráta motivace) a sympatické změny jsou častější u sportů aerobních (nespavost, podrážděnost, tachykardie, hypertenze, neklid či rozrušení). Uvádí se ale i další příznaky, mezi které patří anorexie, ztráta váhy, špatná koncentrace, bolest svalů nebo úzkost, a hlavně pokles výkonnosti sportovce. Meeusen et al. (2013) ale dodávají, že vzniku OTS může „napomoci“ také nadměrný tlak vyvíjený na sportovce, ať už od trenéra či rodičů, stres z konkurence, sociální prostředí, sociální vztahy nebo také osobní problémy. Diagnostika OTS není jednoduchá, neboť by se měly vyloučit i vlivy jiných onemocnění, jako jsou například poruchy štítné žlázy, ledvin či cukrovka, dále nedostatek železa, infekční onemocnění a poruchy příjmu potravy.

Meeusen et al. (2013) ve svém článku vydávají několik doporučení pro trenéry, jak syndrom přetrénování odhalit včas a jak se mu vyvarovat. Doporučují vést si tréninkový deník sportovce. Trenéři by měli být ochotni upravit intenzitu či objem tréninků, popřípadě zvolit den odpočinku, pokud si sportovec stěžuje na nadměrnou únavu. Autoři doporučují komunikaci se svěřenci, doporučují ptát se na fyzické, mentální či emocionální obavy a zajímat se o celkový stav sportovce. Opomíjeny by neměly být také na pravidelné prohlídky u sportovních lékařů.

Botek, Krejčí & McKune (2017) uvádí, že pauza od zatížení by neměla trvat po delší časový úsek, protože by se mohly dostavit abstinenční příznaky. Ty by ještě více mohly prohloubit tento negativního jevu. Obecně je doporučován aktivní odpočinek. Nеспецифická aktivita zařazená do sportovního tréninku působí na sportovce relaxačně, což je důležité pro jeho psychiku. Vhodné je zařadit masáže, kryoterapii a termoterapii. (Botek, Krejčí & McKune, 2017)

### ***2.2.3 Změna výkonnosti ve vztahu k únavě, přetížení a přetrénování***

Únava, přetížení i přetrénování se projeví ve změně sportovní výkonnosti. Pokles výkonnosti patří mezi hlavní příznaky přetížení (Tian et al., 2013), ale také přetrénování. (Meeusen et al., 2013)

#### ***Vliv únavy na výkonnost***

Systematický přehled od autorů (Skala & Zemková, 2022) dospěl k závěrům, že únava má vliv na kognitivní funkce (pozornost, rozhodování, paměť), které jsou zásadní pro sportovní výkon. Sportovci musí být schopni rychle a efektivně měnit směr nebo rychlost pohybu v reakci na vnější podněty. Únava se negativně projevuje na technickém i taktickém aspektu. (Skala & Zemková, 2022) Mentální únava nesnižuje jen taktiku, ale dochází také ke změnám ve fyzické výkonnosti, která se s narůstající únavou snižuje (Russell et al., 2019). Kognitivní složku výkonu a výkonnost neovlivňuje pouze mentální únava, ale taktéž únava fyzická. Změna záleží na typu zátěže (doba trvání, intenzita, specifická) a na kondici sportovců. (Skala & Zemková, 2022)

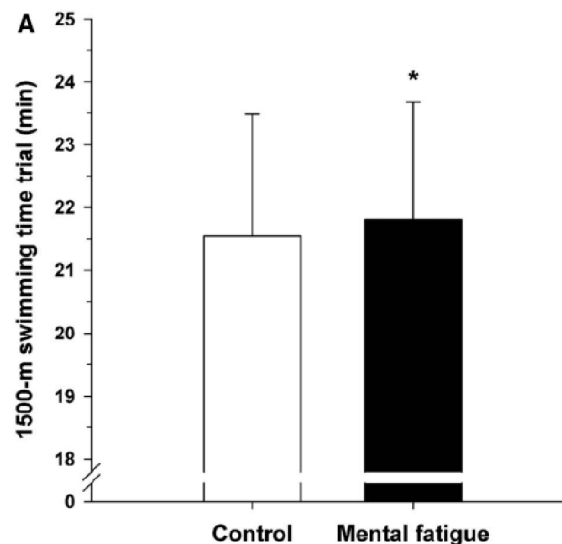


Změna úrovně kognitivních funkcí závisí na délce trvání a intenzitě cvičení. Výkon ve sportech jako je fotbal, kriket, rugby aj. je vysoce závislý na kognitivních funkcích (Skala & Zemková, 2022)

Autoři Penna et al. (2017) se ve své studii zabývali změnami výkonnosti v plavání na 1500 m ve vztahu k psychické únavě. Psychická únava snižuje výkon v plavání, kdy se čas potřebný pro zaplávání vzdálenosti ve stavu únavy zvýšil o 1,3 %. Obrázek 2 zobrazuje výkon v plavání na 1500 m u kontrolní skupiny (bez únavy) a výkon sportovců s mentální únavou. (Penna et al., 2017)

### Obrázek 2

*Změna výkonu v plavání na 1500 m u sportovců bez únavy a u sportovců s únavou podle Penna et al. (2017)*



### ***Vliv přetížení a přetrénování na výkonnost***

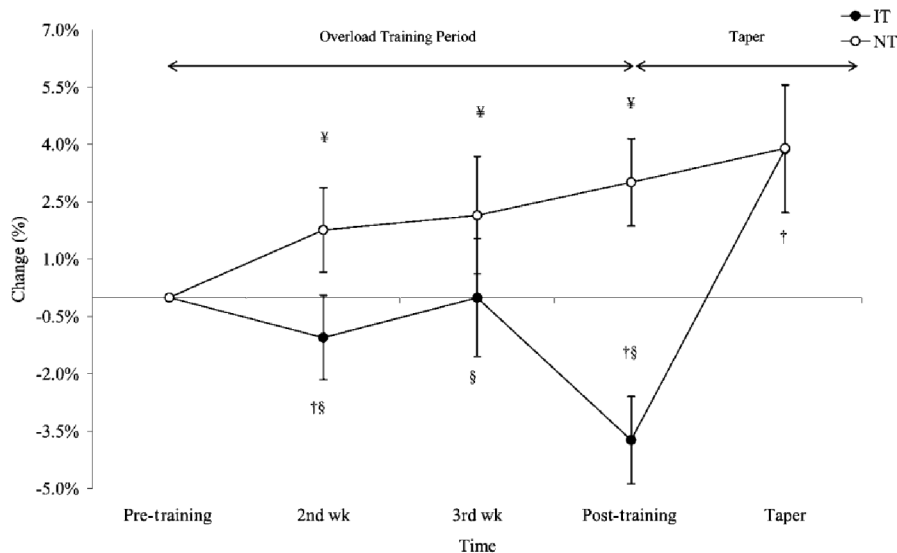
Kumulace tréninkové zátěže vede ke krátkodobému snížení výkonnosti. V tomto případě se jedná o několik dnů, maximálně týdnů. (Halsen & Jeukendrup, 2004)

Studie od Coutts et al. (2006) zkoumala 16 mužů – triatlonistů. Byli rozděleni do dvou skupin, první vykonávala intenzivní trénink (nárůst až o 290 %) a skupina druhá vykonávala tréninky tak, jak byli zvyklí. Měření proběhla na začátku studie, po čtyřech týdnech přetížení a po dvou týdnech fáze ladění formy. Výsledky studie poukázaly na významný vliv období přetížení na výkonnost. U sportovců z první skupiny došlo k významnému snížení výkonu v testu v běhu na 3 kilometry, který absolvovali každý týden. Výkonnost v běhu na 3 kilometry se významně snížila po čtyřech týdnech nadměrného tréninku. Zhoršená výkonnost v běhu korelovala s vyššími hodnotami naměřeného stresu pomocí dotazníku RESTQ. (Coutts et al., 2006)

Obrázek 3 ukazuje procentuální změny v jednotlivých měřeních běhu na 3 kilometry.

### Obrázek 3

Procentuální změny výkonnosti v běhu na 3 kilometry podle Coutts et al. (2006)



Poznámka. IT (*intensified training = skupina se zvýšeným tréninkem*), NT (*normal training = skupina s klasickým tréninkem*); Pre-training (*na začátku výzkumu*), 2nd wk (*druhý týden výzkumu*), 3rd wk (*třetí týden výzkumu*), post-training (*po tréninku se zvýšenou zátěží*), taper (*ladění formy*); † - významný rozdíl v porovnání s předchozím měřením; ¥ - významný rozdíl s měřením před začátkem studie

Syndrom přetrénování se nazývá také jako nevysvětlitelný pokles výkonnosti. Hlavním příznakem přetrénování je tedy dlouhodobý pokles výkonnosti, který se pohybuje od několika týdnů až po měsíce. (Halsón & Jeukendrup, 2004) Z toho vyplývá, že také s přetrénováním se zhoršuje výkonnost sportovců a taktéž dochází k větší pravděpodobnosti vzniku zranění a onemocnění.

Autoři Hynynen et al. (2006) ve své studii mimo jiné zkoumali vliv přetrénování na hodnoty  $VO_2max$ . Hodnoty byly měřeny na základě testu do maxima. Konkrétní typ (kolo, běhátko) byl vybrán nejbližší sportu, který proband dělal. Výsledky zjišťují významné změny v hodnotě  $VO_2max$  mezi přetrénovanými sportovci a kontrolní skupinou. Hodnoty přetrénovaných dosahovali  $49,3 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} \pm \text{směrodatná odchylka (dále „SD“)} 9,3$ . U kontrolní skupiny se jednalo o hodnoty  $59,8 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} \pm \text{SD } 8,6$ . Stav přetrénování snižuje  $VO_2max$  a dochází k poklesu výkonnosti. (Hynynen et al., 2006)

## **2.2.4 Monitoring únavy**

Existuje mnoho nástrojů pro monitorování únavy, které pomáhají trenérům k určení únavy sportovce. Mezi ně můžeme zařadit nejrůznější dotazníky a jednotlivé testy. Například u basketbalistů se využívají sprinterské schopnosti, vertikální skoky, ukazatele SF a biochemické ukazatele. Monitoring únavy je důležitý, jelikož umožňuje trenérovi porozumět reakci organismu sportovce na danou zátěž a v důsledku čehož může individualizovat jeho tréninkovou dávku. (Edwards et al., 2018) Taylor et al. (2012) ve své studii uvedli, že mezi sportovci jsou velmi oblíbené dotazníky, které si vyplňují sami. Dotazníky mají svou popularitu hlavně díky jednoduchosti a využívají je sportovci napříč všemi odvětvími. Jednoduchost dotazníku znamená výhodu, protože sportovci jsou schopni tyto dotazníky vyplňovat denně. (Taylor et al., 2012)

Monitoring únavy v tréninku a při soutěžích či závodech může představovat velkou výzvu, protože únava může být způsobena mnoha faktory. Nevýhodou sledování únavy je fakt, že se samotní sportovci soustředí na únavu, že udělají vše, co je v jejich silách, aby ji snížili. To je ale špatně, jelikož únava je přirozenou a nezbytnou součástí tréninkového plánu. (McGuigan, 2017)

Nyní uvedeme, s jakými dotazníky, popřípadě škálami, se můžeme setkat.

### **QSFMS**

QSFMS - (*Questionnaire of the French Society of Sport Medicine*). Autoři Schmitt et al. (2013) popisují, že tento dotazník obsahuje celkem 54 otázek, na které dotazovaný sportovec odpovídá možnostmi ano/ne. Obsahuje otázky týkající se subjektivního stavu: „Spím déle“, „unavím se rychleji“, „mám problém uspořádat si své myšlenky“ a další. Stav únavy byl zaznamenán, pokud skóre dosáhlo 20 odpovědí „ne“. (Barragán et al., 2023)

### **Likertova škála**

McGuigan (2017) popisuje Likertovu škálu jako škálu od 1-7. Pokud dosáhneme čísla většího než 5 po dobu jednoho týdne, jedná se o únavu. Přičemž čísla se mohou pohybovat od stavu „vůbec nejsem unavený“ (1), přes „někdy jsem unavený“ až po „pořád jsem unavený“ (7). (Brunier & Graydon, 1996)

### **Vizuální analogová škála (VAS – Visual Analogue Scale)**

Jedná se nejčastěji o stupnici o délce 100 mm, kde na levé straně (0) máme stav „vůbec nejsem unavený“ a na pravé (100) „jsem extrémně unavený“. Sportovec podle svých pocitů umístí značku na tuto stupnici. (Brunier & Graydon, 1996)

Setkáváme se také s RPE (*Rate of Perceived Exertion*) neboli Borgovou škálou, která může také zprostředkovávat poznatky o únavě (Fusco et al., 2020). Dále dotazníky POMS (*Profile of Mood States*) hodnotící stav nálady či RESTQ (*The Recovery-Stress Questionnaire*), který hodnotí stavy nálady a stresu. (McGuigan, 2017)

### **2.2.5 Prevence únavy**

V úvodu této kapitoly zaznělo, že s únavou fyziologickou nemůžeme nic dělat, protože je to přirozený děj v životě každého člověka, nejen sportovce. Pokud ale není možnost dostatečné regenerace, mohou vznikat další negativní jevy, na jejichž prevenci by se každý trenér, potažmo i samotný sportovec, měl zaměřit.

Mezi nejlepší způsob prevence přetrénování a přetížení řadíme postupné zvyšování tréninkového zatížení a jeho variabilita. Zátěž by měla být přiměřená dané úrovni sportovce a měli bychom dbát na dostatečnou regeneraci. Neměli bychom zapomínat na individuální specifika každého sportovce. (Lehnert et al., 2001; Bernaciková, Hrnčířiková et al., 2020) Pro sportovce a prevenci přetížení a přetrénování je tedy důležitá optimální tréninková zátěž a časná diagnostika v případě, že už něco takového začínáme pozorovat. Je důležité používat metody, které jsou neinvazivní a umožňují nám monitorovat zatížení organismu. To by měla být nezbytná součást komplexního tréninkového procesu. Pokud u sportovce shledáváme příznaky, je důležitá komplexní lékařská diagnostika. (Bernaciková, Hrnčířiková et al., 2020)

Se sportem a únavou jsou dále spojeny pojmy kardiovaskulární soustava, nervová soustava či autonomní nervový systém (*dále jako „ANS“*). Tyto soustavy souvisí se změnami probíhající v organismu během zátěže. Znalost těchto soustav je velmi důležitá pro správné pochopení fungování organismu.

## **2.3 Kardiovaskulární soustava**

Podle Merkunové a Orel (2008) se s kardiovaskulární soustavou (*dále jako „KVS“*) můžeme setkat také pod názvem oběhová soustava. Petřek (2019) doplňuje, že je možné používat i termín srdečně-cévní systém. Pod pojmem KVS si představíme srdce, krevní cévy a krev, lymfatické cévy a lymfu. (Merkunová & Orel, 2008) KVS je transportní systém, jehož hlavním úkolem je dodávat kyslík tkáním a také dodávat látky, které se vstřebávají v trávicím systému. Dále zajišťuje odvádění oxidu uhličitého z tkání do plic a také odvádí ostatní metabolické produkty do ledvin. (Petřek, 2019)

Cévy tvoří uzavřený systém, kde bez přestání proudí krev díky pumpovací činnosti srdce. Tkáňový mok zajišťuje dodání potřebných látek z krve do buněk a odvádění konečných produktů metabolismu zpět do krve (Merkunová & Orel, 2008). Petřek (2019) dodává, že KVS má důležitý podíl na regulaci tělesné teploty nebo transportu hormonů. KVS je z větší části ovládána autonomní regulací sympatiku a parasimpatiku (Aubert et al., 2003).

### **2.3.1 Srdce**

Srdce je svalová pumpa, díky které je umožněn oběh krve. Srdce se nachází v mezihrudí, je uloženo nad bránicí. Širší báze srdce směřuje dozadu, hrot doleva a dopředu. (Fiala et al., 2015) Srdce má tvar kuželu. Váha srdce u dospělého jedince se pohybuje mezi 250–300 g, přičemž mužské je těžší než ženské. (Merkunová & Orel, 2008)

Srdeční sval vyžaduje náležitou zásobu kyslíkem, jelikož získává energii (ATP) výlučně aerobní cestou čili spalováním. Pokud není průtok krve věnčitými tepnami dostatečný, srdce nemůže zvyšovat výkon při fyzické práci. To v praxi znamená, že postižený potřebuje klidový režim, protože pohyb vyvolává obtíže, mezi které řadíme například ischemickou bolest. Ta vzniká z důvodu nedostatečné dodávky kyslíku srdci. (Merkunová & Orel, 2008)

Rokyta (2015) popisuje, že mezi základní vlastnosti srdce řadíme autonomii a automacii. Autonomie je schopnost, kdy je srdce schopno vytvářet vzruchy a stahy i bez zevního ovlivnění. Zevním ovlivněním je myšlen například autonomní nervový systém. Pokud bychom vyjmuli srdce z těla pod podmínkou, že stále bude mít dostatečnou saturaci živinami i kyslíkem, srdce bude stále tepat bez vlivu aktivity ANS svojí vnitřní frekvenci, která je cca 100 tepů/min. Pokud tedy vezmeme fyziologickou klidovou hodnotu SF – 72 tepů/min, můžeme konstatovat, že je tlumena zevním vlivem vagu. (Rokyta, 2015)

### **2.3.2 Srdeční frekvence**

Boudoulas et al. (2014) popisují, že srdce si můžeme představit jako specializovanou pumpu, která pravidelnými a stálými stahy pumpuje krev do celého těla. Čerpací činnost je způsobena tokem elektrické energie v srdci, který se opakuje v cyklu, známém jako srdeční frekvence (*dále jako „SF“*) nebo srdeční puls. (Acharya et al., 2006) U běžné populace se setkáváme v klidu s hodnotou SF mezi 60 až 80 tepy za minutu. (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017)

Srdeční frekvence je rychlost srdečního tepu měřená počtem kontrakcí za jednotku času, míra určená výpočtem variability srdeční frekvence ze záznamů elektrokardiogramu (*dále jako „EKG“*). (Acharya et al., 2006) SF je velmi populárním ukazatelem díky jednoduché interpretaci naměřených výsledků. Oblíbenost této veličiny tkví také v přístupnosti, kdy si SF díky moderním technologiím může měřit téměř každý. (Máček, Radvanský et al., 2011) Je to oblíbený indikátor intenzity zatížení. V klidových podmínkách slouží také jako signalizátor funkčního stavu organismu. (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017)

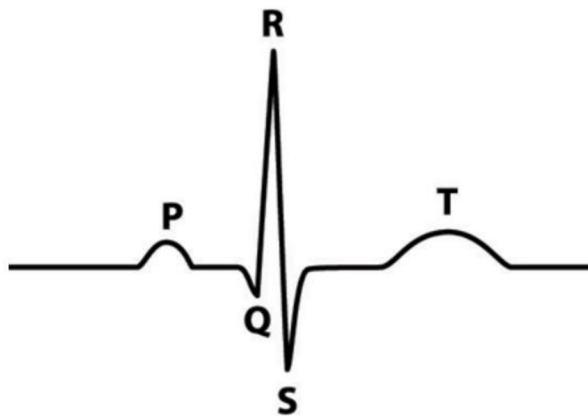
Srdce se nachází pod regulačním vlivem aktivity parasymptiku (n. vagu) hlavně v klidu, po jídle, ale především během spánku. To znamená, že se snižuje SF a variabilita srdeční

frekvence (*dále jako „VSF“*) je mnohem výraznější. Pokud je organismus například pod vlivem fyzického nebo mentálního stresu, aktivita vagu klesá a začíná převládat aktivita sympatiku. To znamená růst srdeční frekvence, a naopak pokles VSF. (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017)

Elektrickou aktivitu srdce můžeme zaznamenat pomocí přístroje elektrokardiografu. Výsledný záznam této aktivity označujeme jako EKG. Po změření záznamu se jednotlivé vrcholy a křivky označují v písmenech – P, Q, R, S, T, kde každé písmeno označuje rozdílnou část srdeční revoluce. Vlna P značí elektrickou systolu síní, komplex Q, R, S značí elektrickou systolu komor, vlna T popisuje elektrickou diastolu. (Dobiáš & Bulíková, 2013; Thaler, 2013)

#### **Obrázek 4**

*Fyziologická křivka EKG podle Botka, Neulse, Klimešové a Vyhnánka (2017)*



Se srdeční frekvencí dále souvisí pojem maximální tepová rezerva (MTR). Jedná se o rozdíl mezi maximální tepovou frekvencí a klidovou tepovou frekvencí. (Pastucha, 2014)

## **2.4 Nervová soustava**

Nervová soustava (*dále jen „NS“*), nebo také nervový systém je hlavní řídicí systém organismu. Základní funkcí tohoto systému je rychlý a přesný přenos informací. (Trojan, 2003) Merkunová a Orel (2008) doplňují, že NS je také nejsložitěji uspořádaná, co se regulačních systémů organismu týče.

NS zajišťuje funkce – přijímá informace pomocí receptorů, zpracovává informace a odpoví. Receptory zaznamenávají změny vnějšího i vnitřního prostředí organismu, dále se informace zpracovává a jako výsledek přichází odpověď organismu v podobě akce či pohybu. Všechny tyto funkce NS mají společného jmenovatele, kterým je udržení homeostázy. To se děje

i společně s endokrinním a imunitním systémem, které doplňují NS a tvoří tak řídicí systémy organismu. (Dylevský, 2009)

Každá zátěž vychyluje organismus z rovnovážného stavu. Pokud má tato zátěž přiměřenou intenzitu, která trvá dostatečně dlouho, dochází k adaptaci organismu. (Dylevský, 2009)

NS má dvě základní části, mezi které patří centrální nervový systém a periferní nervový systém. (Merkunová & Orel, 2008)

#### **2.4.1 Centrální nervová soustava**

Centrální nervová soustava (*dále jen „CNS“*) je nejvýše postavený a interagující systém v organismu (Trojan, 2003). Silbernagl a Despopulos (2004) doplňují, že se skládá z mozku a míchy. Činnost CNS je u každého člověka jedinečná a nezaměnitelná. (Merkunová & Orel, 2008)

CNS vyniká svou přesností a rychlostí registrace obrovského kvanta informací o stavu vnitřního a vnějšího prostředí organismu. Mezi další vlastnosti CNS řadíme preciznost a rychlost zpracování vstupních údajů a jejich následná analýza. (Trojan, 2003)

##### **Funkce CNS**

CNS je z hlediska hierarchie postavena nejvýše. Řídí, popřípadě alespoň zasahuje do funkce všech orgánů. Koordinuje jejich činnost a vzájemné vztahy tak, aby odpovídaly potřebám celého organismu. Instrukce CNS jsou vždy cíleny tak, aby v každém okamžiku, za jakéhokoliv zatížení a podmínek zevního prostředí byla zachována homeostáza organismu. (Trojan, 2003) Merkunová a Orel (2008) dodávají, že úkolem CNS je v každém okamžiku přijímat a zpracovávat nespočetné množství informací, které pochází z vnitřního i vnějšího prostředí.

#### **2.4.2 Periferní nervová soustava**

Periferní nervová soustava (*dále jen „PNS“*) je část nervové soustavy, kterou tvoří nervy hlavové, míšní a autonomní a senzitivní nervová ganglia. (Merkunová & Orel, 2008)

##### **Funkce PNS**

Hlavní funkcí PNS je propojení CNS se žlázami a orgány (Kučera, 2013). Hlavové nervy, které vystupují z mozku, mají za úkol vést vzruchy mezi mozkem a orgány hlavy a krku. Dále nervy míšní vystupují z míchy. Tyto nervy umožňují nejen pohyb, ale i čítí (Nováková, 2011). Jeho součástí je také autonomní nervový systém. Hlavním úkolem ANS je řízení činnosti hladké svaloviny, myokardu, endokrinních a exokrinních žláz. ANS pracuje v integraci s ostatními částmi nervového a hormonálního systému. (Kučera, 2013)

## **2.5 Autonomní nervový systém**

Autonomní nervový systém můžeme nazývat také jako systém vegetativní. Je jedním z morfológico-funkčních celků nervového systému. Slouží k inervaci orgánů a tkání našeho těla, konkrétně se to týká hladké svaloviny, myokardu a žláz (Orel, 2019). Opavský (2002) dodává, že původně název autonomní vznikl z mylných představ, že funguje samostatně a bez závislosti na přesném řízení strukturami vyšších oddílů.

### **2.5.1 Centrální část ANS**

CNS koordinuje činnost sympatiku na několika úrovních – mozkovou kůrou, hypotalamem, retikulární formací mozkového kmene a spinální míchou (Rokyta et al., 2015). Jedná se o shluky buněk, které díky své činnosti mají vliv na kontrakci buněk hladké svaloviny (Dylevský, 2019).

V mozkovém kmeni se nachází jednoduché autonomní reflexy. Mezi tyto reflexy řadíme ty, které souvisí s příjmem a zpracováním potravy – slinění, sekrece žaludeční a pankreatické šťávy. Naopak složitější reflexy, mezi které patří zejména zvracení, polykání, kašel, orgasmus aj. řídí centra retikulární formace mozkového kmene a hypotalamus. (Merkunová & Orel, 2008)

### **2.5.2 Periferní část ANS**

Periferní část ANS se dělí na dvě části. První částí je část aferentní, která přivádí informace od vnitřních orgánů do CNS. Druhá část, eferentní, odvádí informace z CNS. Eferentní část se dělí na parasympatikus a sympatikus. (Rokyta et al., 2015)

Samotná stavba a činnost ANS je více komplexní a složitá. Pro účely této bakalářské práce je důležité vědět, že z funkčního i morfolóického hlediska můžeme vymezit tři oddíly autonomního nervstva – sympatikus, parasympatikus a enterický systém. Sympatické a parasympatické nervy působí na naše orgány a tkáně protichůdně. To v praxi znamená, že pokud nějakou funkci parasympatikus tlumí, tak sympatikus ji stimuluje. To platí i naopak. Ve svých účincích se ale sympatikus a parasympatikus doplňují. Právě díky tomu je umožněno precizní řízení autonomních funkcí. (Merkunová & Orel, 2008)

#### **Sympatikus**

Se sympatikem se setkáváme zejména ve stresových situacích. Jedná se o reakci, která aktivuje náš organismus primárně k boji nebo k útěku. (Orel, 2019)

Sympatikus způsobuje změny, mezi které patří zvětšení průměru zornic očí, zvýšení SF, rychlost vedení vzruchu v myokardu, dráždivost i síla srdečního stahu, rozšíření průdušek,



aktivace dřeně nadledvin, útlum činnosti trávicího systému. (Merkunová & Orel, 2008) Dále může za změnu průsvitu cév, která se děje při zvýšené zátěži v důsledku redistribuce krve v organismu (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017).

### **Parasympatikus**

Parasympatikus je považován za systém klidový, protože se aktivuje v klidu a po jídle (Orel, 2019). Zajišťuje zklidnění organismu po stresové reakci a stimuluje proces trávení. Pokud hovoříme o parasympatiku, můžeme o něm slyšet jako o vagové aktivitě. Tento termín se používá z důvodu, že parasympatikus je úzce spojen s činností X. hlavového nervu, který nazýváme nervus vagus. (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017)

Během pravidelného tréninku se změní rovnováha mezi sympatickým a vagovým systémem. To se děje tím způsobem, že se prvně zvýší aktivita vagu a zároveň klesá aktivita sympatiku. (Máček, Radvanský et al., 2011)

V tabulce 1 je uveden výčet funkcí parasympatiku (n. vagu) a sympatiku.

### **Enterický oddíl**

Enterický oddíl je třetím oddílem ANS. Zahrnuje neurony, které se nachází ve stěně trávicí trubice. Tento oddíl funguje autonomně a samostatně, ale i tak je ovlivněn sympatickými a parasympatickými (vagovými) nervy, jelikož je s nimi propojen. Tyto nervy optimalizují činnost enterického oddílu, a i trávicí procesy. (Orel, 2019)

### **2.5.3 Funkce ANS**

ANS významně přispívá k udržování homeostázy organismu. Regulace krevního tlaku, reakce zažívacího traktu na potravu, kontrakce močového měchýře, zaostřování očí a termoregulace jsou jen některé z mnoha homeostatických funkcí regulovaných aktivitou ANS (McCorry, 2007). ANS dále řídí činnost hladké svaloviny, myokardu, endokrinních a exokrinních žláz. (Merkunová & Orel, 2008) Tabulka 1 poskytuje přehled funkcí sympatiku a parasympatiku.

## Tabulka 1

*Přehled funkcí sympatiku a parasympatiku (n. vagu) v lidském těle podle Botka, Neulse, Klimešové a Vyhnánka (2017)*

<b>Děj/Cílový orgán</b>	<b>Působení sympatiku</b>	<b>Působení parasympatiku</b>
<b>Metabolismus</b>	Katabolické děje	Anabolické děje
<b>Tělesná teplota</b>	Zvýšení	Snížení
<b>SF</b>	Zrychlení	Zpomalení
<b>Koronární tepny</b>	Rozšíření	Zúžení
<b>Krevní tlak</b>	Zvýšení	Snížení
<b>Bronchy</b>	Rozšíření	Zúžení
<b>Svalstvo trávicí trubice</b>	Útlum peristaltiky	Zvýšení peristaltiky
<b>Žlázy trávicí trubice</b>	Snížení sekrece	Zvýšení sekrece
<b>Svěrače (hladské svalstvo)</b>	Konstrikce	Dilatace
<b>Svalovina žlučníku</b>	Snížení stahů	Podpora stahů
<b>Sekrece žluči</b>	Snížení	Zvýšení
<b>Produkce moči</b>	Snížení	Zvýšení
<b>Močový měchýř</b>	Kontrakce svěrače; relaxace stěny měchýře	Relaxace svěrače; kontrakce stěny měchýře
<b>Zornice</b>	Rozšíření	Zúžení
<b>Oční víčka</b>	Široké rozevření	Přivření
<b>Sekrece potu</b>	Zvýšení (řídký pot)	-
<b>Sekrece slin</b>	Snížení (husté sliny)	Zvýšení (řídké sliny)
<b>Genitál (muž)</b>	Ejakulace	Vazodilatace (erekce)
<b>Genitál (žena)</b>	Zvýšení kontrakcí dělohy, vejcovodu	Vazodilatace (prokrvení zevního genitálu)

### 2.5.4 Stres a stresová osa

Stres je přirozená, geneticky daná a sebezáchovná reakce organismu. Nastává v situacích, které ohrožují či narušují homeostázu nebo v situacích psychického vypětí. (Orel, 2019) Stres může znamenat pro organismus i výhodu, jako je zvýšená odolnost. Tato výhoda trvá jen krátkodobě. Pokud stres na organismus působí delší dobu, dochází k fázi vyčerpání. (Nečas, 2021) Stres umožňuje adaptaci a zvýšenou výkonnost, dokonce v mnoha situacích zajistí přežití jedince (Orel, 2019). Bernaciková, Hrnčířiková et al. (2020) zmiňují, že základní úlohu ve stresové

reakci má ANS. Organismus jako reakci na stres aktivuje stresovou osu, kterou tvoří ANS společně se systémem humorálním (Máček, Radvanský et al., 2011).

Stresor a zejména jeho síla je vždy zcela individuální. Stresory se kombinují, na organismus tedy nikdy nepůsobí pouze jeden stresor. (Bernaciková, Hrnčířiková et al., 2020; Orel, 2019) Nečas (2021) zmiňuje 3 základní fáze, jakými organismus na stres reaguje. Mezi ně patří fáze poplachová, fáze rezistence a fáze vyčerpání.

## 2.6 Variabilita srdeční frekvence

Variabilitu srdeční frekvence (*dále jen „VSF“*) můžeme popsat jako změny RR intervalů mezi jednotlivými úderly srdce, které měříme pomocí EKG. Toto kolísání je způsobeno především vlivy aktivity ANS. (Freeman et al., 2006; Grant & Janse Van Rensburg, 2008; Shaikh et al., 2023)

### Obrázek 5

*Grafický záznam VSF podle MySASY (n.d.)*



Rytmus srdce není nikdy stejný, ale stále se každý úder po úderu mění s velkou citlivostí. Dá se tedy říct, že srdeční frekvence je variabilní (proměnlivá). VSF se netýká pouze zátěžových situací, pozorujeme ji i v klidu. Může se ale měnit v závislosti nejrůznějších vnitřních i vnějších vlivů. Mezi ně může patřit centrální nervový systém, endokrinní systém, ale i vnější vlivy, jako například mentální, fyzická či emoční zátěž. (Javorka, 2008)

Podle Bensona a Conollyho (2012) VSF vypovídá o tom, jak je náš organismus schopen zvládat pracovní zátěž. Pokud je VSF nízká, říká nám to, že naše tělo je ve špatné kondici a není schopno přizpůsobit a zvládat danou zátěž. Javorka (2008) dodává, že nízká VSF může být prediktorem patologických stavů, ale setkáme se s ní i u osob s vysokým věkem. Benson a Conolly (2012) dále popisují, že naopak vysoká VSF udává schopnost těla dobře tolerovat zátěž, nebo také, že se naše tělo zvládlo dobře vypořádat s předchozí zátěží. Shaffer a Ginsberg (2017) nicméně dodávají, že ne vždy je vyšší VSF lepší, jelikož může být projevem patologických stavů, jako je například zvýšené riziko úmrtnosti. To se týká osob ve starším věku.

Benson a Conolly (2012) poukazují, že pokud budeme sledovat změny v intervalech mezi jednotlivými úderly srdce, může nám poskytnout cenné údaje o stavu našeho organismu a také

o tom, jak se zotavujeme po tréninku. Doporučují sledovat zároveň průměrnou klidovou srdeční frekvenci. Takovéto měření se hojně využívá mezi normální populací, ale hlavně mezi vrcholovými sportovci, pro které jsou údaje o zotavení v rámci jejich tréninkového plánu důležité. Podle Catai et al. (2020) je VSF atraktivní možností a slibným klinickým nástrojem pro hodnocení a identifikaci zdravotního poškození vzhledem k širokému spektru využití, skutečnosti, že zavedení této techniky je nákladově efektivní a že je snadné získávat data.

Na VSF mají vliv nejrůznější vlivy (vnější a vnitřní), Javorka (2008) popisuje i významný vliv léků. Některé léky mohou snižovat VSF, jiné naopak zvyšovat. Sportovci by proto měli dávat pozor i na užívané medikamenty. Podrobněji se budeme zabývat faktory ovlivňující VSF dále.

### **2.6.1 Faktory ovlivňující VSF**

VSF je pod vlivem množství endogenních a exogenních faktorů. Tyto faktory je třeba brát v potaz při vyšetření, hodnocení a interpretaci VSF. (Javorka, 2008)

#### **Dědičnost**

Genetické determinanty do určité míry určují nejen morfologické a biochemické charakteristiky organismu, ale i jeho životní projevy a fyziologické funkce. Mají tak svůj podíl i na charakteristikách srdeční frekvence a její variability. (Javorka, 2008)

#### **Pohlaví**

Mezi další faktory, které výrazně ovlivňují VSF, patří pohlaví. Pokud porovnáme muže a ženy, zjistíme, že ženy mají celkově vyšší aktivitu ANS. (Botek, Krejčí & McKune, 2017) Podle Aubert et al. (2003) je vyšší kardiální vagová regulace u žen považována za kardioprotektivní ochranu myokardu vůči kardiovaskulárním onemocněním. To poskytuje ženám výhodu, nicméně stále musíme brát v potaz i vliv věku.

Důležitou součástí života žen je i menstruační cyklus, který také ovlivňuje VSF. Sato a Miyake (2004) popisují významné rozdíly v autonomní nervové aktivitě mezi folikulární a luteální fází cyklu. Během luteální fáze dochází ke zvýšení LF a růstu poměru LF/HF, zatímco se snižuje výkon v ukazateli HF. (Sato & Miyake, 2004)

#### **Věk**

Zhang (2007) ve své studii zkoumal vliv věku na VSF u zdravých osob. S rostoucím věkem se postupně snižuje jak pásmo nízké frekvence LF (které představuje aktivitu parasymptiku – n. vagu), tak i pásmo vysoké frekvence HF představující aktivitu sympatiku. Musíme brát v potaz, že ke snižování VSF přispívají nejrůznější chorobné stavy, například stres, úzkosti, cukrovka, srdeční onemocnění či hypertenze. (Zhang, 2007)

U sportovně aktivních jedinců dochází k poklesu VSF mnohem později než ve srovnání s jejich nesportujícími kolegy. Pokles VSF s věkem je částečně způsoben i životním stylem jedince, nejen pouze procesem stárnutí. (Aubert et al., 2003; Banach et al., 2000; Yataco et al., 1997)

### **Změny polohy těla**

Abad et al. (2017) popisují, že poloha těla se zdá být také jako důležitou proměnnou při měření VSF. Abad et al. (2017) zmiňují starší studie (Bootsma et al., 1999; Montano et al., 1994) ve kterých došli autoři k závěrům, že VSF při poloze vleže na zádech je regulována převážně parasymptikem, zatímco VSF při poloze vestoje je spojena s vyšším vlivem sympatiku. Toto jsou studie, které jsou poměrně staršího data vydání, a proto Abad et al. (2017) zmiňují i novější studie, například studii od da Silva et al. (2015), která došla k závěru, že nejsou žádné rozdíly v poloze vleže na zádech a v poloze vestoje, pokud se jedná o odezvu na trénink. Abad et al. (2017) se ve své studii věnovali porovnání VSF u obou pohlaví sprinterů na profesionální úrovni v poloze vleže i vestoje. Jejich výzkum došel k závěru, že profesionální sprinteři, nezávisle na pohlaví, vykazují nižší VSF vestoje než vleže. Autoři také navrhují, že by se toto téma mělo ještě více prozkoumat, hlavně zdali existuje lepší poloha těla pro sledování této proměnné u profesionálních atletů. (Abad et al., 2017)

### **Spánek**

Dalším faktorem ovlivňující VSF je spánek. Sajjadih et al. (2020) uvádí, že špatná kvalita spánku má významný vliv na VSF, konkrétně dochází ke snížení. Měli bychom se tedy soustředit na to, aby náš spánek byl kvalitní. Na kvalitu spánku má negativní účinky hlavně stres. Pokud trpíme nedostatkem spánku, dochází na úrovni sympatovagová balance (dále „SVB“) k nárůstu aktivity sympatiku a snížení aktivity parasymptiku (n. vagu). (Zhong et al., 2005)

Meeusen et al. (2013) doporučují v rámci podezření na přetížení či dokonce syndrom přetrénování monitorovat i spánek a jeho kvalitu.

### **Obezita a podvýživa**

Strüven et al. (2021) popisují, že několik studií prokázalo souvislost přírůstu hmotnosti a obezity se změnou parametrů VSF. Jako příklad uvádějí studie od Phoemsapthawee et al. (2019), Gutin et al. (2005) nebo Tian et al. (2015). Ve všech zmíněných studiích došli k závěrům, že obezita významně snižuje hodnoty celkové VSF. Dále ve své studii zmiňují, že existuje mnoho determinantů, které ovlivňují VSF u jedinců s obezitou. Může to být například emoční stres, špatné stravovací návyky či genetika. (Phoemsapthawee et al., 2019)

Naopak velmi málo autorů se věnovalo tématu VSF ve spojení s podvážhou či podvýživou. Barreto et al. (2016) zkoumali souvislosti VSF a podvýživy u dětí. Došli k závěru, že u

podvyživených dětí dochází k celkovému snížení jak sympatické, tak parasympatické (vagové) modulace.

### ***Mentální aktivita***

Mentální stav má na sportovce veliký vliv. Právě během tréninkové přípravy, ale hlavně pokud se v životě sportovce blíží důležitý zápas, může se dostavit nervozita, obavy či úzkosti. Tyto stavy mají vliv na VSF. V reakci na stres tedy dochází k útlumu aktivity parasympatiku (n. vagu) a růstu aktivity sympatiku. (Botek, Krejčí & McKune, 2017)

### ***Teplota***

Tang et al. (2021) zmiňují vliv venkovní teploty na VSF. Vyšší teplota VSF výrazně snižuje, dochází k tomu více u žen. Studie od Zhu et al. (2018) zkoumala vlivy teploty a vlhkosti vzduchu na VSF. Nejvýraznější vliv podle autorů má na poměr LF/HF teplota vzduchu a stejně tak nejvíce ovlivňuje tento poměr vysoká vlhkost vzduchu. Autoři uvedli, že vyšší hodnoty LF/HF nastávaly tehdy, pokud účastníkům studie byla velká zima, nebo naopak velké teplo. (Zhu et al., 2018)

### ***Další faktory ovlivňující VSF***

Nesmíme opomenout, že na VSF mají vliv i další faktory, které souvisí se životním stylem. Jako příklad můžeme uvést alkohol, který snižuje celkovou VSF (Ralevski et al., 2019). Stejně tak jako alkohol má na VSF vliv i kouření. Vyšší intenzita kouření má nepříznivý vliv na VSF. (Murgia et al., 2019) Nicméně tyto jevy se u sportovců nepředpokládají (Botek, Krejčí & McKune, 2017). Na VSF má vliv nejen náš životní styl, ale i to, jaké máme stravovací návyky (Reginato et al., 2020). Dále VSF ovlivňuje například i přelet časových pásem (Botek, Krejčí & McKune, 2017).

## ***2.6.2 Měření VSF***

Sledování aktivity ANS probíhá pomocí krátkodobého EKG záznamu. Ten trvá většinou 1-5 min. Klade ale vysoké nároky na standardizaci podmínek, což znamená, že aktivitu ANS bychom nejlépe měli měřit ráno. V ranních hodinách je nejvyšší aktivita vagu a aktivita ANS je jen minimálně ovlivněna obvyklými stresory, mezi které patří škola, práce, transport, jídlo a další. Při měření VSF musíme tedy dávat velký důraz na standardizaci podmínek (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017) Autoři doplňují, že v této době se k měření VSF používají přístroje, které jsou schopny exportovat EKG signál anebo přímo RR intervaly do digitální formy. Dále Botek, Krejčí a McKune (2017) popisují, že monitorování VSF u sportovců by bylo velmi nepraktické pomocí lékařského přístroje, jelikož je velký a složitý na obsluhu. Z tohoto důvodu vznikla na trhu nabídka sporttesterů (sportovních hodinek), které značně zjednodušují měření VSF. Mezi další možnost měření je kombinace aplikace pro chytré telefony a EKG pásu. (Botek, Neuls, Klimešová & Vyhnánek, 2017)

Co se týče délky měření, Bourdillon et al. (2017) zjistili, že pokud budeme měřit VSF méně než 4 minuty, dochází k negativnímu ovlivnění výsledků pro celkový výkon i pro nízkofrekvenční pásmo. Pokud bychom dobu měření zkrátali na 2 minuty, je to vhodné pouze pro ukazatel rMSSD. Autoři dodávají, že ideální délka pro měření je 5 minut v poloze vleže a následně totéž vestoje. (Bourdillon et al., 2017) Setkáváme se i s měřeními delšími, které trvají 24 hodin a provádí se pomocí Holterova záznamníku. Takováto měření se provádějí například v rámci zkoumání patologických jevů. (Pumpřla et al., 2014)

Pro měření VSF využíváme nejen klasických EKG přístrojů dostupných v laboratořích, ale také přenosných zařízení. Mezi takové zařízení řadíme monitor SF, autoři Weippert et al. (2010) zmiňují zařízení Polar S810i (Polar Electro Oy, Kempele, Finsko) a Suunto T6 (Vantaa, Finsko) fungující s hrudním pásem. Tyto zařízení nepoužívají pouze sportovci, ale také vědci pro analýzu VSF ve sportovních vědách, medicíně a dalších oblastech výzkumu. Autoři došli k závěrům, že tyto zařízení jsou spolehlivé pro dlouhodobou analýzu VSF v porovnání s ambulantním EKG. Jediným limitem těchto zařízení je, aby byla dostatečná kapacita paměti pro uchování RR intervalů. (Weippert et al., 2010)

S celkovým rozvojem elektroniky a různých zařízení vzniklo taktéž množství aplikací pro mobilní telefony, které se snaží měřit a vyhodnocovat VSF. Autoři Moya-Ramon et al. (2022) porovnávali mobilní aplikace (Welltory a Elite HRV). Měření VSF nicméně stále probíhá v kombinaci s hrudním pásem. Účelem studie bylo otestovat reliabilitu a validitu aplikací pro chytré telefony oproti měření pomocí EKG. Autoři se taktéž zabývali hodnocením ultrakrátkých měření (trvajících 1 minutu). Závěrem výzkumu je, že aplikace Elite HRV a Welltory jsou platné a spolehlivé pro měření Ln rMSSD během krátkých (5 minut) i ultrakrátkých měření v poloze vsedě i vleže na zádech. (Moya-Ramon et al., 2022) Vyhodnocování VSF umožňuje i česká aplikace MySASY fungující taktéž v kombinaci s hrudním pásem (MySASY, n.d.).

### ***Spektrální analýza VSF***

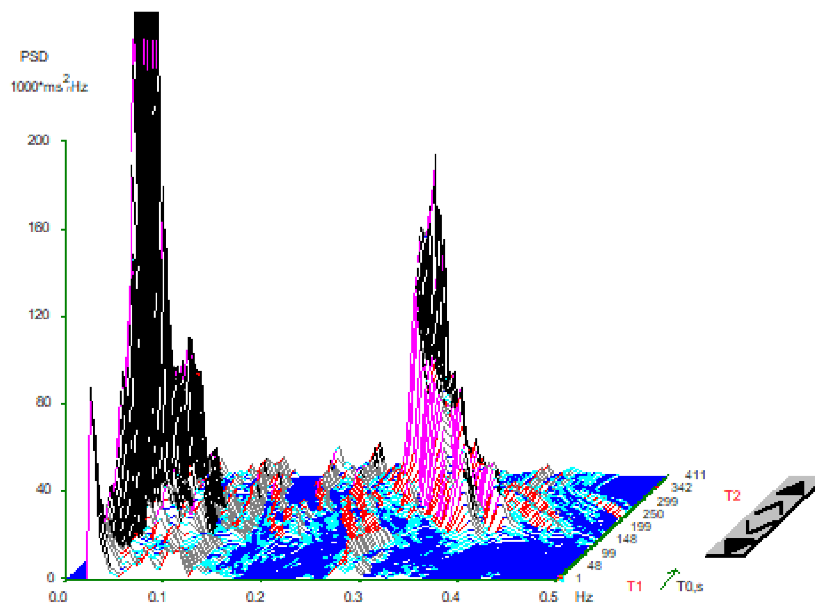
Metoda spektrální analýzy VSF (SA VSF) je neinvazivní způsob měření aktivity ANS. To se dá využít jak během zátěže, tak i ve fázi regenerace. (Botek et al., 2004) Tato metoda rozkládá nepravidelný průběh VSF na pravidelné cykly, které reprezentují procesy ovlivňující její kolísání. Vychází z toho, že sympatikus i parasympatikus (n. vagus) pracují s odlišnými frekvencemi, proto je možné je rozlišit pomocí matematických a statistických principů a dále kvantifikovat jejich spektrální výkon. (Pumpřla et al., 2014) Hlavní matematickou technikou pro SA VSF je algoritmus Fourierovy transformace, který dokáže vykreslit relativní energii různých frekvenčních složek VSF (Freeman et al., 2006). Autoři Botek et al. (2004) upozorňují, že metoda SA VSF umožňuje kvantifikovat aktivitu vagu, aktivitu sympatiku usuzujeme pouze z vybraných poměrů mezi spektrálními komponenty.

Hlavní výhodou spektrální analýzy oproti měřením v časové oblasti je, že poskytuje jak frekvenční, tak amplitudové informace o konkrétních rytmech, které se vyskytují v křivce VSF, a poskytuje tak prostředek ke kvantifikaci různých oscilací v dané periodě záznamu VSF. (Shaffer et al., 2014) Olšák (2004) dodává, že SA VSF nám poskytuje způsob, jak objektivně zhodnotit stav aktivity ANS a tyto výsledky využít pro efektivní řízení přípravy sportovce. Dále také dodává, že dosažení vysoké výkonnosti ve sportu je podmíněno efektivním řízením. (Olšák, 2004)

Obrázky 6 a 7 ukazují SA normální VSF a snížené VSF.

### **Obrázek 6**

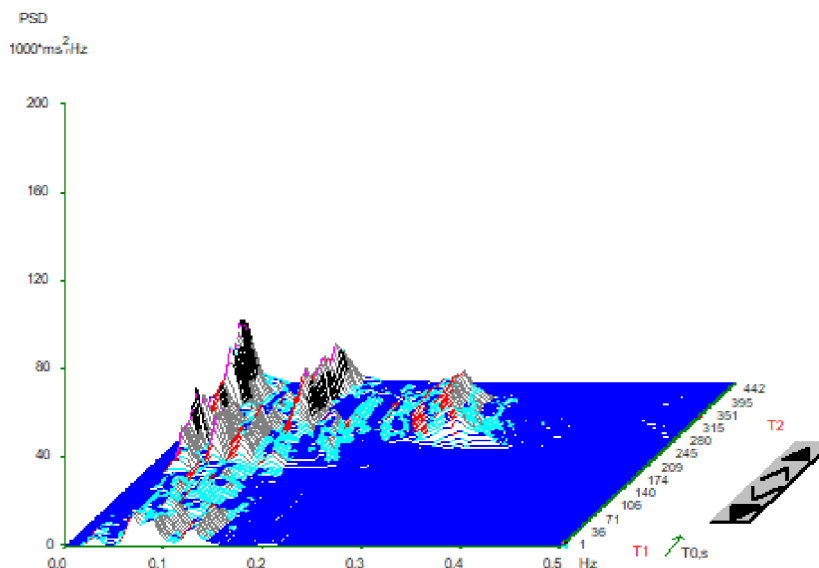
*Spektrální analýza normální VSF se svolením Botek (2024) z archivu databáze VSF na FTK UP*





## Obrázek 7

Spektrální analýza snížené VSF se svolením Botek (2024) z archivu databáze VSF na FTK UP



V rámci měření VSF se setkáváme s parametrem funkční věk. Je to parametr, který vyjadřuje hypotetický věk průměrné osoby, jejíž celková aktivita ANS je stejná jako u vyšetřované osoby (Botek, Krejčí & McKune, 2017) Stejskal et al. (2002) uvádí, že funkční věk vyjadřujeme v letech a čím je nižší funkční věk ve srovnání s kalendářním, tím je na tom výkonost ANS lépe.

### 2.6.3 Význam měření VSF

Výsledky měření VSF mohou pomáhat v nejrůznějších odvětvích. Analýza VSF se používá k hodnocení funkce aktivity ANS a ke kvantifikaci rizika u řady kardiálních i nekardiálních poruch. Řadí se mezi ně například roztroušená skleróza, cévní mozková příhoda, konečné stadium onemocnění ledvin, infarkt myokardu, onemocnění srdečních chlopní a mnoho dalších. (Kleiger et al., 2005) Opavský (2002) upozorňuje na široké využití měření VSF ve sportovní sféře. Můžeme posoudit míru zátěže, hlavně také schopnost sportovce se adaptovat na daný režim. Nejedná se pouze o diagnostiku, ale i monitorování sportovců. Olšák (2004) dodává, že abychom mohli dosahovat vysoké výkonosti ve sportu, je nutné jeho efektivní řízení.

Bernaciková, Hrnčířiková et al. (2020) zmiňují, že VSF nám poskytuje cenné údaje při posouzení stavu únavy. Pokud jsme unavení, je typické, že co se týče aktivity ANS, bude převahovat aktivita sympatiku a aktivita vagu bude naopak v útlumu. Měření VSF můžeme využívat také k diagnostice přetrénování, popřípadě jeho fází. V počáteční fázi dochází ke snížení aktivity vagu a k dominanci sympatiku. Ve fázi vagového přetrénování dochází k prohloubení

dysbalance mezi sympatikem a vagem. Vliv sympatiku dramaticky klesá a pozorujeme převahu reziduální aktivity vagu. (Botek, Krejčí & McKune, 2017)

Pokud se zaměříme, v jakých sportech se dá uplatnit měření VSF, Buchheit (2014) uvádí, že optimalizace tréninkového procesu pomocí VSF je vhodnější pro jednotlivce. U sportovních týmů je velmi náročné posoudit změny v každodenní VSF. To je důležité, jelikož je nutné nahlížet na každého sportovce z týmu jednotlivě a stejně tak i vyhodnocovat data. Ve studiích týkajících se týmů se setkáváme s týdenním měřením VSF, což nemusí vždy být přesné. (Buchheit, 2014) Nicméně i tak se setkáváme s měřením VSF u týmových sportů, jako je například volejbal, basketbal, hokej, fotbal, florbal, tanec, gymnastika, vodní pólo, rugby a další. Níže je uveden výčet sportů, kde se měření VSF využívá. Tento přehled bude vycházet z dostupných studií.

- Vzpírání (Olšák, 2004).
- Tenis (Villafaina et al., 2022) a stolní tenis.
- Plavání (Koenig et al., 2014).
- Atletika (Aubert et al., 2003), zejména především běh.
- Cyklistika (Javaloyes et al., 2020).
- Sjezdové lyžování, běh na lyžích, biatlon (Schmitt et al., 2013).
- Rugby (Flatt et al., 2019).

## 2.7 Ukazatele VSF

Kardiovaskulární soustava je z větší části řízena autonomní regulací prostřednictvím sympatiku a parasympatiku (n. vagu). Analýza VSF umožňuje nahlédnout do tohoto řídicího mechanismu organismu. Lze ji snadno stanovit z EKG záznamu. Výsledkem EKG záznamu jsou časové řady RR intervalů, které se obvykle analyzují v časové a frekvenční oblasti. (Aubert et al., 2003)

Ukazatele rozlišujeme časové, geometrické, frekvenční a nelineární.

### 2.7.1 Časové a geometrické ukazatele

Nejčastěji je v praxi hodnocení VSF založeno na časové analýze. Jedná se o přímé měření NN (*normal-to-normal*), RR intervalů (Cygankiewicz & Zareba, 2013). NN znamená, že pokud se v měření vyskytly abnormální srdeční úder, byly dále v procesu vyhodnocování vymazány (Shaffer & Ginsberg, 2017).

### ***SDNN (Standard Deviation of all NN intervals)***

SDNN je standardní odchylka NN intervalů. S tímto ukazatelem se v praxi setkáváme nejčastěji, jelikož se jedná o jeden z nejjednodušších a nejoblíbenějších ukazatelů VSF. Pokud VSF roste, dochází pak také k růstu SDNN. (Cygankiewicz & Zareba, 2013; Javorka, 2008; Kim et al., 2018)

### ***Index SDNN***

Index SDNN je průměr směrodatných odchylek všech NN intervalů pro každý 5minutový úsek 24hodinového záznamu VSF. Toto měření tedy pouze odhaduje variabilitu způsobenou faktory ovlivňujícími VSF v rámci 5minutového úseku. Vypočítá se tak, že se 24hodinový záznam nejprve rozdělí na 288 5minutových segmentů a poté se vypočítá SD všech intervalů NN obsažených v každém segmentu. Index SDNN je průměrem těchto 288 hodnot. SDNN má tendenci korelovat s výkonem VLF za 24 hodin. (Shaffer et al., 2014) S tímto ukazatelem se také můžeme setkat pod názvem ASDNN (Botek, Krejčí & McKune, 2017).

### ***SDSD (Standard Deviation of differences between adjacent NN intervals)***

Jedná se o standardní odchylku rozdílů mezi sousedními RR intervaly (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996). Autoři nicméně zmiňují, že pokud používáme v měření ukazatel rMSSD, SDSD se jeví jako nadbytečný (Thong et al., 2003).

### ***rMSSD (the root Mean Square Succesive Difference)***

rMSSD je střední kvadratická hodnota po sobě jdoucích rozdílů mezi normálními srdečními tepe. Tato hodnota se získá tak, že se nejprve vypočítá každý po sobě jdoucí časový rozdíl mezi srdečními tepe v milisekundách. Poté se každá z hodnot umocní a výsledek se zprůměruje, načež se získá druhá odmocnina z celkového součtu. rMSSD odráží rozptyl srdeční frekvence mezi jednotlivými úderem a je primárním měřítkem v časové oblasti, které se používá ke stanovení vagově zprostředkovaných změn odrážejících se ve VSF. V praxi se setkáváme i s Ln rMSSD čili s přirozeným logaritmem ukazatele, jelikož hodnoty rMSSD po umocnění nabývají velkých hodnot. (Schaffer et al., 2014)

### ***NN50***

Jedná se o počet NN intervalů, které jsou delší než 50 ms (Javorka, 2008).

### ***pNN50 (Percentage of differences between adjacent NN intervals that are >50ms)***

Jedná se o procento sousedních intervalů NN, které se od sebe liší více než o 50 ms. (Shaffer et al., 2014)

V rámci časových ukazatelů používáme i takové, které jsou vhodné k interpretaci dlouhodobých záznamů. Jedná se o to, že se rozloží celý záznam na 5minutové úseky, které se pak dále interpretují.

### ***SDANN*** (*Standard Deviation of the average NN intervals*)

Jedná se o standardní odchylku průměrného NN intervalu z 5minutových úseků 24hodinového záznamu (Javorka, 2008).

Nyní uvedeme i geometrické ukazatele, které souvisí s obrazcem. Ten vznikne, pokud vyobrazíme histogram RR intervalů. (Botek, Krejčí & McKune, 2017) Nicméně Aubert et al. (2003) dodávají, že s těmito ukazateli se ve sportovní medicíně setkáme minimálně.

### ***HRV triangular index***

Jedná se o celkový počet všech NN intervalů vydělených výškou histogramu všech intervalů NN, který byl sestaven s krokem 1/128 s (Botek, Krejčí a McKune, 2017; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996).

### ***TINN***

Jedná se o šířku základny trojúhelníku získaného interpolací nejvyššího vrcholu histogramu NN intervalů pomocí metody nejmenších čtverců (Botek, Krejčí a McKune, 2017; Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996).

## **2.7.2 Frekvenční ukazatele**

Analýza spektrální hustoty (*PSD – power spectral density*) poskytuje základní informace o rozložení výkonu v závislosti na frekvenci. Rozlišujeme dva typy matematických výpočtů PSD – parametrické a neparametrické. Ve většině případů poskytují obě metody srovnatelné výsledky. U neparametrických metod se používá rychlá Fourierova transformace (*Fast Fourier Transform – FFT*). (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996)

VSF lze rozdělit na jednotlivé složky, které se pohybují v různých pásmech (Schaffer et al., 2014).

### ***Spektrální komponenty***

U měření VSF ve frekvenčních pásmech se setkáváme s ULF, VLF, HF, LF ale také power (výkon). Výkon je energie signálu v daném frekvenčním pásmu. Měření ve frekvenční oblasti lze vyjádřit v absolutním nebo relativním výkonu. Absolutní výkon se vypočítá jako milisekunda na druhou děleno cykly za sekundu ( $\text{ms}^2/\text{Hz}$ ). Relativní výkon se odhaduje jako procento celkového výkonu VSF nebo v normalizovaných jednotkách (n.u.), které dělí absolutní výkon pro konkrétní frekvenční pásmo součtem absolutních výkonů pásem LF a HF. To umožňuje přímo porovnávat měření ve frekvenční oblasti u dvou klientů, a to i přes velké rozdíly ve výkonu specifických

pásem a celkovém výkonu mezi zdravými, věkově odpovídajícími jedinci. (Shaffer & Ginsberg, 2017) V literatuře se kvůli nesouladu zkratk můžeme setkat s označením výkonu v pásmu HF jako *Power HF* (nebo také „*PHF*“). Pokud nemůže dojít k záměně, označuje se ale standardně jako HF. (Botek, Krejčí & McKune, 2017) Pro tuto práci bude využito označení HF.

V praxi se setkáváme s hodnocení VSF v těchto pásmech:

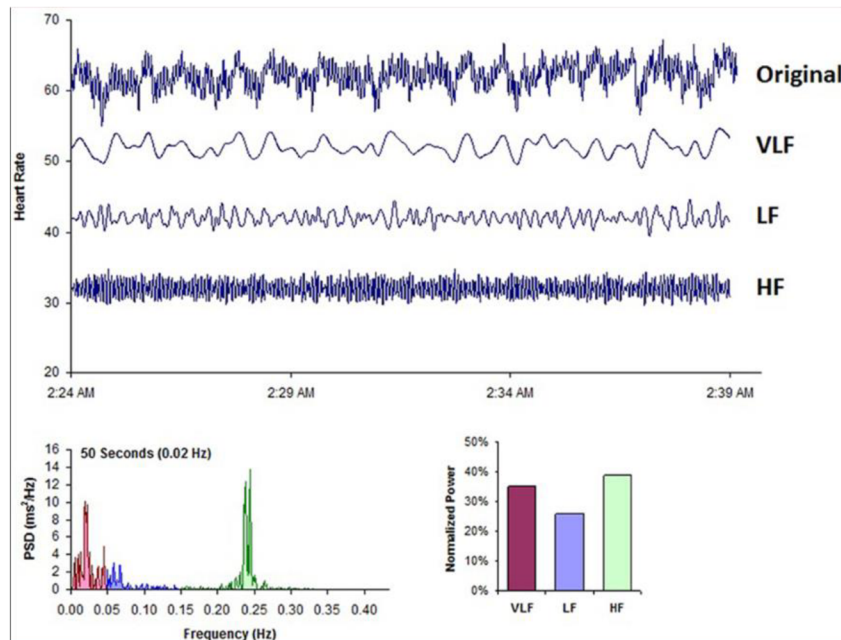
- Nízká frekvence („*LF*“ – *low frequency* – 0,04-0,15 Hz)
- Vysoká frekvence („*H*“ – *high frequency* – 0,15-0,40 Hz) (Bernaciková, Hrnčířiková et al., 2020; ChuDuc et al., 2013).

Botek, Krejčí & McKune (2017) zmiňují, že pokud se jedná o dlouhodobé měření VSF, setkáváme se i s ultra nízkou frekvencí („*ULF*“ – *ultra low frequency* -  $\leq 0,003$  Hz). A dále i s velmi nízkou frekvencí („*VLF*“ – *very low frequency* – 0,003-0,04 Hz). VLF bychom taktéž neměli vyhodnocovat z krátkodobých záznamů. Fyziologické vysvětlení VLF je mnohem méně definováno a autoři zpochybňují existenci specifického fyziologického procesu, který lze přičíst těmto změnám. VLF autoři dále berou jako pochybné měřítko pocházející z krátkodobých záznamů, trvajících 5 minut. Při interpretaci PSD u krátkodobých EKG bychom se jí tedy měli vyhnout. (Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, 1996)

V praxi se dále setkáváme s poměrem LF/HF, který pomůže odhadnout poměr mezi aktivitou sympatiku a parasympatiku (n. vagu) (Shaffer et al., 2014). Dále se můžeme setkat s *power total* (dále jako „*PT*“), který značí součet energie v pásmech ULF, VLF, LF a HF v případě 24hodinového záznamu, nebo součtem v pásmech VLF, LF a HF v případě krátkodobého záznamu. (Shaffer & Ginsberg, 2017)

## Obrázek 8

Typický záznam VSF u zdravého jedince trvající 15 minut podle Institute of HeartMath (n.d.) in Shaffer et al. (2014)



*Poznámka.* Nahoře je původní záznam VSF. Pomocí filtrování došlo k rozdělení původního záznamu na jednotlivá pásma. Vlevo dole vidíme jednotlivá výkonová spektra, vpravo jejich procentuální výkon v každém pásmu. (Shaffer et al. 2014 podle Institute of HeartMath (n.d.))

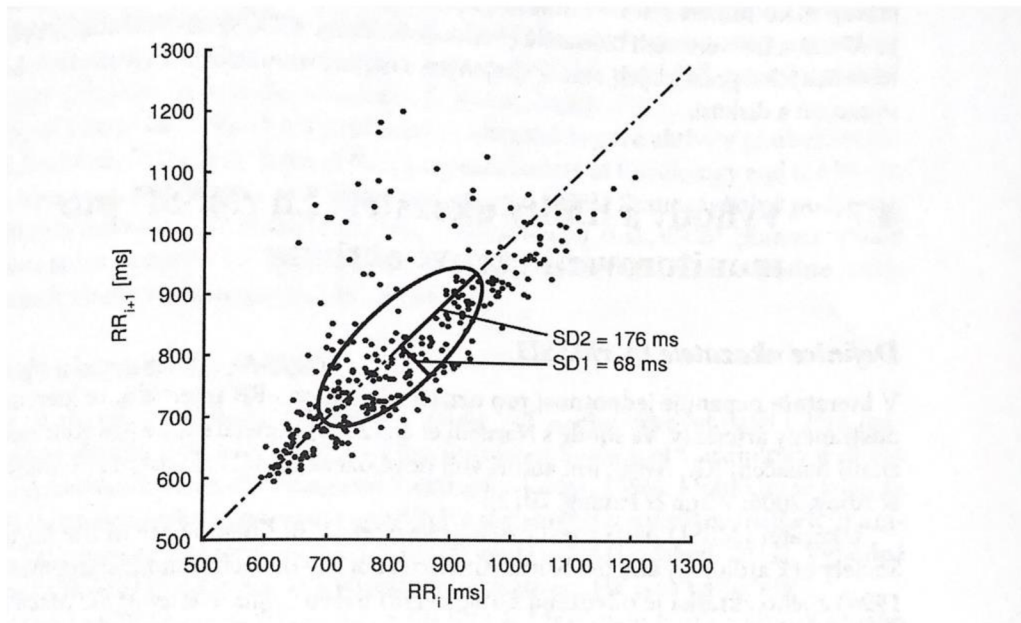
### 2.7.3 Nelineární ukazatele

Poincarého graf je nejčastěji používanou grafickou nelineární metodou VSF. Poincarého graf vykresluje dobu trvání každého RR intervalu v porovnání s dobou trvání bezprostředně předcházejícího RR intervalu. (Aubert et al., 2003; Botek, Krejčí a McKune, 2017)

Grafický obrazec v Poincarého grafu se aproximuje elipsou. Typicky se z Poincarého grafu odvozují hodnoty SD1 a SD2. SD1 znamená standardní odchylku kolmo na osu identity a SD2 značí totéž podél identity. SD1 značí krátkodobou, okamžitou VSF a SD2 je mírou dlouhodobé, kontinuální VSF. (Botek, Krejčí a McKune, 2017; Sassi et al., 2015) Sassi et al. (2015) zmiňují, že hodnoty SD1 a SD2 přímo souvisejí s časovými ukazateli SDNN a SDDSD. Podle Botka, Krejčího a McKuna (2017) je lze tedy považovat za součást časových ukazatelů. Na obrázku 9 je Poincarého graf.

## Obrázek 9

*Poincarého graf s vyznačenými hodnotami SD1 a SD2 (Botek, Krejčí & McKune, 2017)*



Ernst (2014) dodává, že s nelineárními ukazateli se v praxi setkáváme podstatně méně, jelikož jsou mnohem složitější na analýzu.

### **2.7.4 Interpretace výsledků měření VSF**

Měření VSF poskytuje poznatky o aktivitě ANS, konkrétně parasympatiku (n. vagu) a sympatiku (Bernaciková, Hrnčířiková et al., 2020). Celkově porovnávání úrovně VSF s ostatními může být velmi náročné, jelikož je třeba brát v potaz mnohé faktory ovlivňující VSF, ale i to, že VSF je velmi citlivá na změny fyzického i duševního zdraví. (Moore, 2021)

#### **1. Časové a geometrické ukazatele**

Pokud se podíváme na interpretaci jednotlivých ukazatelů, u hodnot časových ukazatelů jsou žádoucí vyšší čísla, jelikož to značí převládající aktivitu vagu a dobrou schopnost zvládat stres (Orsila et al., 2008; Zeng et al., 2023; Kim et al., 2018) Pro ukazatele SDNN, rMSSD, pNN50, NN50 a SDDSD obecně platí, že vysoké hodnoty značí nízkou úroveň stresu v organismu (což je žádoucí), tak naopak nízké hodnoty značí vysokou úroveň stresu v organismu. To je jev, kterému se snažíme co nejvíce vyvarovat. (Dekker et al., 2000; Kim et al., 2018; Orsila et al., 2008; Zeng et al., 2023)

Výsledky těchto ukazatelů se uvádí v ms (*milisekundy*), což značí dobu trvání jednotlivých intervalů (Shaffer & Ginsberg, 2017).

## 2. Frekvenční ukazatele

Shaffer et al. (2014) popisují, že vysokofrekvenční pásmo (HF) odráží vagovou aktivitu. Často se nazývá také jako pásmo respiračně vázané aktivity vagu, protože odpovídá změnám VSF související s dechovým rytmem. Srdeční frekvence se zrychluje během nádechu a zpomaluje během výdechu. Tyto změny se označují jako respirační sinusová arytmie (RSA). (Shaffer et al., 2014) Shaffer et al. (2014) uvádí, že snížená aktivita vagu v pásmu HF (čili nižší hodnoty) bývá nejčastěji zjištěna při srdečních patologiích či u pacientů ve stresu, trpících panikou, úzkostmi či obavami. Snížená aktivita vagu může být také příčinou snížené VSF při stárnutí. Naopak výkon v rozsahu LF je spojován s aktivitou sympatiku (Hayano & Yuda, 2021). Botek, Krejčí a McKune (2017) uvádí, že výkon v pásmu VLF má neperiodický charakter, který SA VSF není schopna správně vyhodnotit. Ernst (2014) dodává, že VLF pravděpodobně reflektuje sympatickou aktivitu.

Výsledky těchto ukazatelů se nejčastěji uvádí v  $ms^2$ , jedná se o tzv. absolutní hodnoty. Nicméně se setkáváme i s n.u. Jedná se o normalizované jednotky. Ty představují poměr daného ukazatele k celkové hodnotě spektra (bez pásma VLF). Tyto jednotky se používají ke zvýraznění vlivu vagu a sympatiku na srdeční modulaci. (Heinc, 2006)

Dále se ještě v praxi setkáváme s matematickými výpočty ve frekvenční oblasti. Konkrétně se jedná o poměr LF/HF (bez jednotek). Tento poměr patří k velmi užitečným měřením aktivity ANS, jelikož poukazuje na poměr SVB (Botek, Krejčí & McKune, 2017; Ernst, 2014). S vyšší hodnotou se setkáváme při dominanci aktivity sympatiku. To může nastat u unavených sportovců. (Schmitt et al., 2013) Ernst (2014) dodává, že v klidovém stavu se u dospělých normální hodnoty pohybují v rozmezí 1 až 2.

Ernst (2014) hovoří taktéž o vzájemné korelaci časových a frekvenčních ukazatelů. pNN50 a rMSSD koreluje s výkonem v pásmu HF. Ukazatel SDNN koreluje s PT a výkonu v pásmu ULF.

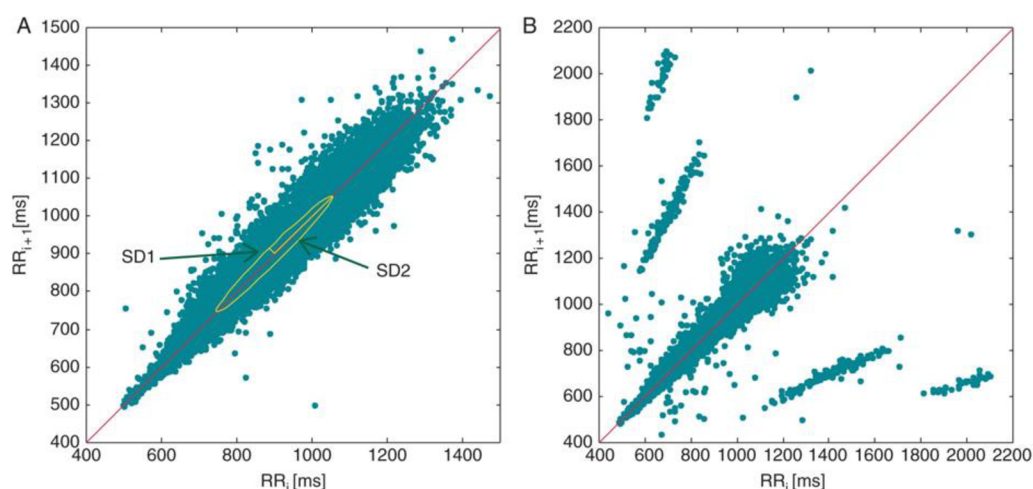
## 3. Nelineární ukazatele

Konkrétně se zaměříme na Poincarého graf. Na obrázku 10 je uveden Poincarého graf, jsou vyznačené ukazatele SD1 a SD2. Na obrázku vlevo (A) vidíme hodnoty zdravého jedince. Na obrázku vpravo (B) můžeme vidět záznam s abnormalitami, nebo poruchy rytmu, které Poincarého graf spolehlivě ukazuje.



## Obrázek 10

Poincarého graf; A – normální hodnoty, B – abnormality; podle Sassi et al. (2015)



## 2.8 Význam variability srdeční frekvence v tréninkovém procesu

Měření VSF v tréninkovém procesu umožňuje posoudit změny v organismu, které byly vyvolány nejen v tréninku, ale i mimo něj. Měření VSF je mnohem citlivější než pouhé měření SF. (Botek, Krejčí & McKune, 2017) Výhodou je, že se jedná o neinvazivní metodu a naměřené údaje mohou být využity pro posouzení stavu únavy u sportovců. Na základě toho jsou trenéři schopni lépe stanovit intenzitu zátěže a mimo jiné i předcházet OTS. (Dong, 2016)

Dong (2016) dodává, že dříve byla VSF používána hlavně v klinické praxi, jako prediktor náhlé srdeční smrti či dalších patologických jevů souvisejících se srdeční aktivitou. Nyní se ale VSF hojně využívá ve sportovní praxi při stanovování optimální tréninkové zátěže, která vede ke zlepšení výkonů. Botek, Krejčí a McKune (2017) popisují, že použití lékařského EKG přístroje je ve sportovní praxi nepraktické z důvodu velikosti a složitosti obsluhy přístroje. Měření VSF značně zjednodušují sporttestery nebo aplikace pro mobilní zařízení v kombinaci s hrudním pásem. (Botek, Krejčí & McKune, 2017)

### 2.8.1 Vliv zatížení na VSF

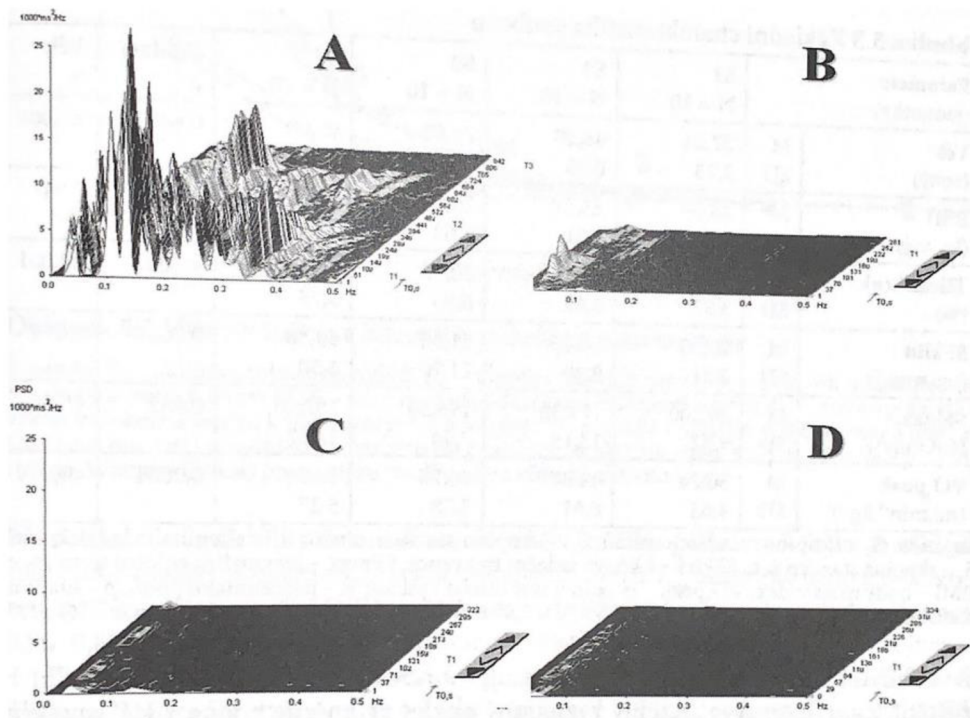
S měřením VSF se setkáváme především v klidových podmínkách, nejčastěji ráno. Nicméně se setkáme i s měřením VSF v průběhu zátěže, tedy v přímé reakci na stresor. To také může poskytovat cenné informace o dynamice VSF během zátěže. Během zatížení je dynamika VSF modifikována v důsledku porušení rovnováhy mezi oběma větvemi ANS. (Mongin et al.,

2022) S tím souvisí vagový práh. Jedná se o jednoduchý ukazatel, který stanovuje mez kritické hodnoty intenzity cvičení, při jejímž překročení začíná být KVS dominantně ovlivňován sympatickou aktivitou (včetně katecholaminů) a dochází k výraznému ústupu srdeční vagové aktivity – tzv. vagový práh. Autoři uvádí, že vagový práh se nachází zhruba v  $43.63 \pm 4.66$  % MTR. (Botek et al., 2008)

Na obrázku číslo 11 vidíme, jak se mění SA VSF při různých intenzitách. Celkově lze tedy říct, že čím je vyšší intenzita zatížení, tím je nižší VSF, potažmo spíše nulová.

### Obrázek 11

SA VSF při zatížení 20, 30 a 40 % MTR (A); 50 % MTR (B); 60 % MTR (C); 70 % MTR (D)  
(Botek, Krejčí & McKune, 2017)



Dynamika VSF je modifikována v důsledku porušení rovnováhy mezi oběma větvemi ANS. Když začneme vykonávat fyzickou aktivitu, vagová aktivita ustupuje a zvyšuje se aktivita sympatiky, což způsobuje změny v intervalech RR. SF se zvyšuje čili RR intervaly budou kratší. (Mongin et al., 2022) Lundstrom (2023) ve své studii dodává, že na VSF má vliv typ cvičení i délka trvání, ale nejvíce se ve VSF projeví intenzita cvičení. Měření VSF v oblasti frekvenční i časové může být náročnější na interpretaci, a to zejména při vyšších intenzitách (Sandercock et al., 2006).

Cvičení má vliv i na kvalitu spánku a tím pádem i VSF. Autoři Tseng et al. (2020) uvádí, že středně intenzivní pohybová aktivita má významný vliv na kvalitu spánku, s čímž dále souvisela i

zlepšení celkové VSF. Tato studie se sice netýkala sportovců, ale dospělých středního a staršího věku. Nicméně i tak přináší cenné informace – poukazuje na důležitost pohybu po celý život.

### ***VSF a intenzita cvičení***

Vytrvalostní elitní sportovci mají zvýšenou vagovou aktivitu ve srovnání s rekreačními sportovci a nesportovci. Sportovní kondice je důležitá proměnná, která ovlivňuje autonomní kontrolu srdce. (Dong, 2016) V přímé reakci na zátěž dochází ke zvýšení SF a zkrácení RR intervalů. Nicméně tyto změny se liší s věkem, u starších osob nebude pozorována tak velká změna, jak u mladších jedinců. (Sandercock et al., 2005)

Grässler et al. (2021) v systematickém přehledu shrnuli účinky různých typů tréninků na VSF u starších dospělých, tj. osob ve věku 60 let a více. Z přehledu vyplynulo, že vytrvalostní, multimodální a koordinační formy tréninku jsou vhodnými nástroji pro zlepšení srdeční autonomní kontroly a sekundárních zdravotních faktorů u těchto osob, které navíc mají sedavé zaměstnání. (Grässler et al., 2021) Sekundární zdravotní faktory popisují faktory vznikající v důsledku jiného onemocnění (Jensen et al., 2012).

Autoři Granero-Callegos et al. (2020) se ve své metaanalýze věnovali VSF a vlivu na trénink u vytrvalostních sportovců. Došli k závěrům, že pokud se zaměříme na optimalizaci tréninku pomocí měření VSF, dochází u sportovců ke zlepšení  $VO_2max$ . Výsledek změny v úrovni  $VO_2max$  je taktéž podmíněn úrovní sportovců, jelikož u sportovců s nižší počáteční úrovní zdatnosti dojde k dosažení většího zlepšení  $VO_2max$ . Autoři doporučují zaměřit se na měření denní VSF, nicméně k rozhodnutím upravit trénink by mělo docházet na základě týdenních průměrů naměřených hodnot. (Granero-Callegos et al., 2020) Autoři také potvrzují pozitivní korelaci  $VO_2max$  a VSF, konkrétně ukazatele rMSSD. Sportovci s vyšší hodnotou  $VO_2max$  vykazují vyšší hodnoty rMSSD měřeného ráno v poloze vsedě. (Mandal & Kadyan, 2021)

### ***2.8.2 VSF a zotavení***

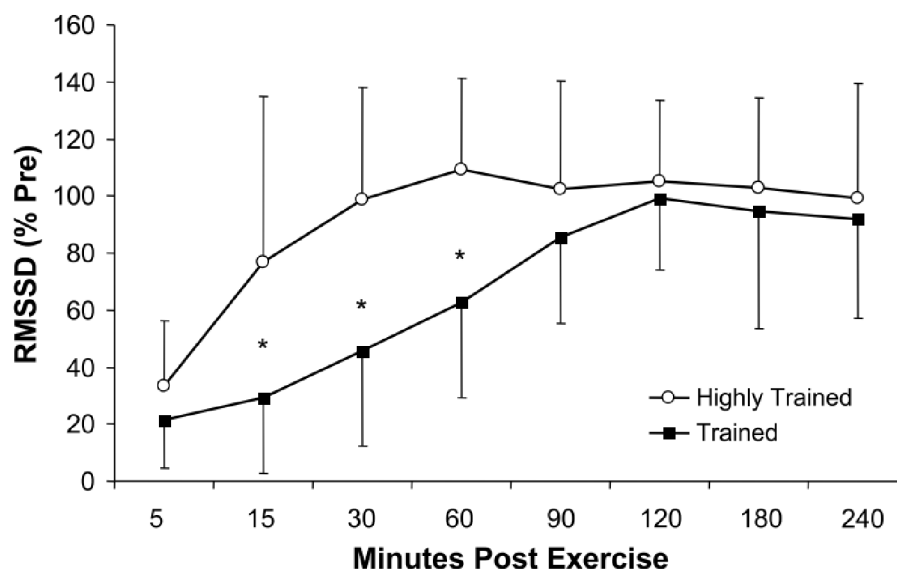
Vitale et al. (2019) uvádí, že měření VSF bezprostředně po ukončení cvičení odráží reakci sportovce na cvičení, což koreluje především s fyzickou zdatností. Djaoui et al. (2017) doplňují, že VSF po zátěži je modelována důsledkem reaktivace vagu a snížení aktivity sympatiku. Musí být z tohoto důvodu hodnocena ihned po ukončení cvičení, a to v rozmezí 2-5 minut. Aras et al. (2017) uvádí, že po zátěži trvá nějaký čas, než se hodnota VSF vrátí do normální úrovně. Důležitý podíl na návratu VSF do normální úrovně může mít i samotná strava. Hlavním zjištěním studie od Aras et al. (2017) bylo, že pokud se sportovci po intenzivní zátěži věnují aktivnímu odpočinku, a ještě zároveň přijímají stravu bohatou na sacharidy, vrátí se jejich VSF do normálního stavu mnohem rychleji.

Autoři Seiler et al. (2007) se věnovali porovnání obnovy SVB po cvičení. Autoři srovnávali trénované a vysoce trénované sportovce, kteří trénovali až dvakrát denně (celkově v průměru 14 hodin týdně). Skupina trénovaných nepodstupovala tak náročné tréninky ve vysoké intenzitě (v průměru okolo 7 hodin za týden). Měření VSF probíhalo v poloze vleže na zádech po dobu 5 minut. Měření probíhalo před tréninkem a pak dále v časových intervalech 5, 15, 30, 60, 90, 120, 180 a 240 minut po cvičení. Výsledkem studie je, že vysoce trénovaní vytrvalostní sportovci se vyznačují rychlou obnovou SVB po cvičení. Trénovaní sportovci mají pomalejší zotavení VSF. (Seiler et al., 2007).

Na obrázku 12 je návrat ukazatele rMSSD v průběhu času po tréninku.

### Obrázek 12

*Porovnání návratu ukazatele rMSSD po cvičení u vysoce trénovaných a trénovaných sportovců podle Seiler et al. (2007)*



*Poznámka.* Minutes Post Exercise = minuty po zátěži; Highly Trained = vysoce trénovaný; Trained = trénovaný; \* = signifikantní změna

### Vagová superkompence

Autoři Botek, Krejčí a McKune (2017) zmiňují také pojem vagové superkompence. Jedná se o stav, který nastává po 24 až 48 hodinách od ukončení zátěže. V této době se aktivita vagu dostane nad výchozí úroveň. Doba trvání vagové superkompence je ovlivněna velikostí zatížení a patrně i trénovanost. Vyšší intenzita aktivity a doba trvání sice oddalují nástup, nicméně o to déle pak tento jev bude trvat. V praxi to znamená, že po náročnějším výkonu bude snazší zvolit optimální nastolení dalšího tréninku, jelikož je velká pravděpodobnost, že to bude v právě probíhající vagové superkompenci. (Botek, Krejčí & McKune, 2017)

### 2.8.3 VSF a únava

Jak již bylo zmíněno, únava je děj, se kterým se běžně setkáváme. Jako nejběžnější pocit projevu svalové únavy popisují Wang a Meng (2023) svalovou bolest či slabost. Ni et al. (2022) popisují, že přesné posouzení fyzické únavy je klíčové pro prevenci fyzického zranění způsobeného nadměrným cvičením. Jako subjektivní pocit je však fyzická únava pro ostatní těžko objektivně hodnotitelná. Autoři se zabývají možností využít VSF jako slibný nástroj pro měření, a hlavně prevenci únavy. Parrado et al. (2010) dodávají, že mezi nejčastěji používané parametry z časových ukazatelů VSF pro posouzení vztahu mezi únavou a srdeční aktivitou je rMSSD. Druhým oblíbeným ukazatelem je pNN50.

Je vhodné zmínit, že studie se netýkají pouze posouzení korelací změn ve VSF a únavy u sportovců. Tématem změn VSF a únavy se ve velkém autoři zabývají u profesionálních řidičů, kde odhalují únavu pomocí měření VSF. (Lu et al., 2022)

Pokud se ale podíváme do sportovního světa na konkrétní příklady z praxe, například studie od Iizuka et al. (2020) zkoumala hráče badmintonu během jejich osmidenního soustředění. Soustředění bylo rozděleno do dvou částí, fáze jedna (1. – 4. den soustředění) a fáze dva (4. – 8. den soustředění). Cílem druhé fáze bylo snížení únavy před nadcházejícími důležitými soutěžemi. Autoři uvedli že v druhé fázi došlo ke snížení objemu tréninku při zachování jeho intenzity. (Iizuka et al., 2020)

Výsledky v tabulce 2 shrnují změny v ukazatelích. Je možné pozorovat významné změny mediánů hodnot. Došlo ke snížení klidové SF, zvýšení ukazatelů SDNN a rMSSD. Dále ke zvýšení ukazatelů LF a HF a ke snížení poměru LF/HF. Je tedy jasné, že snížení objemu tréninku vede ke zlepšení ukazatelů, což mimo jiné znamená, že u sportovců se zmírnila únava. (Iizuka et al., 2020)

**Tabulka 2**

*Změny ukazatelů mezi fázemi 1 a 2 tréninkového kempu, převzato a upraveno podle Iizuka et al. (2020)*

Ukazatel; jednotky	Fáze 1	Fáze 2
SF; tepy/min	55,6 (52,5 – 63,4)	53,5 (50,8 – 59,2)
SDNN; ms	87,5 (71,6 – 103,8)	104,3 (95,3 – 120,3)
rMSSD; ms	66,6 (51,2 – 82,7)	103,6 (81,1 – 114,5)
LF; ms <sup>2</sup>	1933 (758 – 3069)	2949 (2448 – 4146)
HF; ms <sup>2</sup>	1412 (1081 – 2246)	3318 (2218 – 4439)
LF/HF	1,52 (1,48 – 1,78)	1,19 (0,68 – 1,98)

*Poznámka.* Jedná se o medián hodnot, v závorce je uveden rozptyl naměřených hodnot.

Dále studie od Schmitt et al. (2013) zkoumala běžce na lyžích po dobu čtyř let a sledovala, jak se u nich měnila VSF, pokud se cítili unaveni. V tabulkách 3 a 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty u sportovců, kteří byli unavení, v porovnání s těmi, kteří únavu nepocítovali. Studie uvádí pouze vybrané frekvenční ukazatele VSF. (Schmitt et al., 2013)

V tabulce 3 pozorujeme změnu hodnot naměřených ukazatelů VSF v poloze vleže na zádech. Můžeme pozorovat významně vyšší hodnoty SF a DF u unavených sportovců. Dále výrazně nižší hodnotu výkonu v pásmu LF a HF, ale i celkového skóre VSF. (Schmitt et al., 2013)

Z tabulky je zřejmé, že u unavených sportovců dochází ke zvýšení poměru LF/HF.

### Tabulka 3

*Změna průměru hodnot VSF naměřených v poloze vleže u sportovců bez únavy s porovnáním s unavenými. Převzato a upraveno podle Schmitt et al. (2013)*

Ukazatel; jednotky	Bez únavy	Únava
DF; tep/min	12,5	13,9
SF; tep/min	55,3	63,3
LF; ms <sup>2</sup>	2398	1636
HF; ms <sup>2</sup>	3748	2286
PT; ms <sup>2</sup>	7779	4942
LF/HF	0,84	1,30

*Poznámka.* DF = dechová frekvence; měření VSF v poloze vleže na zádech.

V tabulce 4 jsou uvedeny změny hodnot ukazatelů VSF měřené v poloze vestoje. Z tabulky vyplývá, že v poloze vestoje se u unavených probandů zvýšila hodnota DF i SF. Významně jsou sníženy hodnoty výkonu v pásmech LF, HF i PT. Tím pádem pozorujeme i zvýšenou hodnotu poměru LF/HF u unavených probandů.

### Tabulka 4

*Změna průměru hodnot VSF v poloze vestoje naměřených u sportovců bez únavy s porovnáním s unavenými. Převzato a upraveno podle Schmitt et al. (2013)*

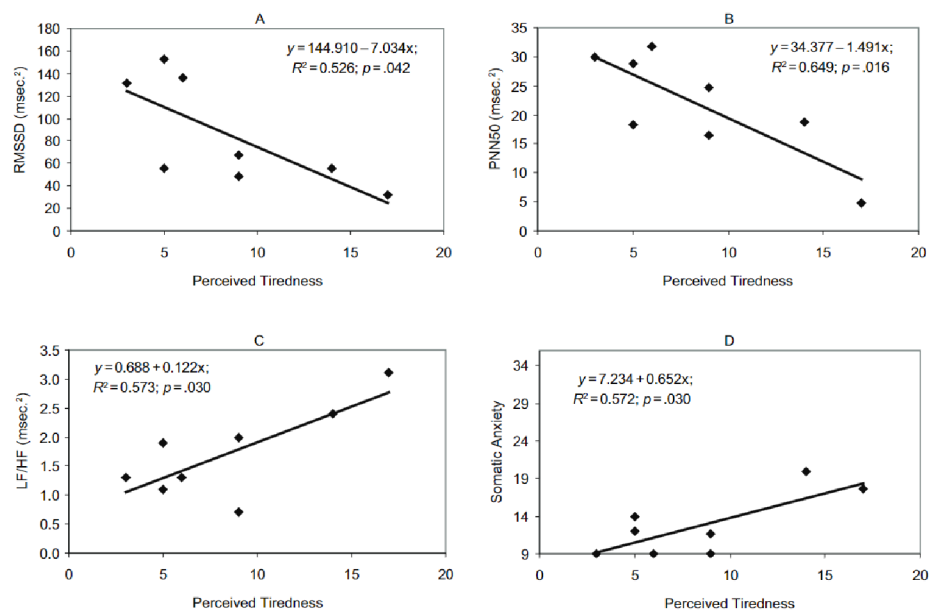
Ukazatel; jednotky	Bez únavy	Únava
DF; tep/min	15,9	17,6
SF; tep/min	77,27	87,93
LF; ms <sup>2</sup>	3260	1619
HF; ms <sup>2</sup>	823	340
PT; ms <sup>2</sup>	6386	3223
LF/HF	7,23	7,79

Další ukázkou z praxe je studie od Parrado et al. (2010), která zkoumala únavu u hráčů pozemního hokeje v průběhu světového poháru v Německu. Konkrétně se zabývali ukazateli rMSSD, pNN50 a pak i poměrem LF/HF. Dále také zkoumali i vliv úzkosti. (Parrado et al., 2010)

Obrázek 13 ukazuje vztah mezi vnímanou únavou a jednotlivými ukazateli, které byly měřeny před světovým pohárem. Výsledky tohoto měření ukázaly, že existuje vysoká a významná korelace mezi skóre vnímané únavy a VSF. Čím vyšší byla vnímaná únava, tím nižší byla VSF. Zvýšená vnímaná únava také významně korelovala s vyšším poměrem LF/HF. Vyšší vnímaná únava souvisela i se zvýšením somatické úzkosti. (Parrado et al., 2010)

### Obrázek 13

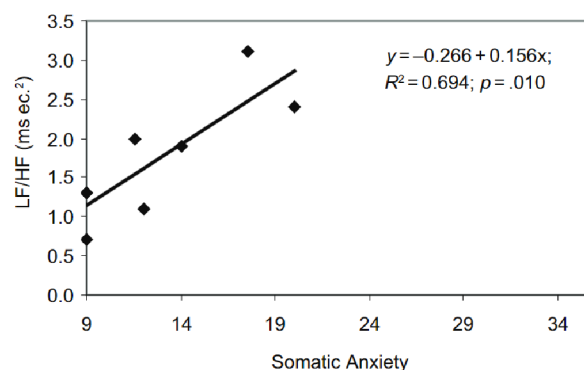
Vztah mezi vnímanou únavou a ukazateli A – rMSSD, B – pNN50, C – LF/HF a D – somatickou úzkostí podle Parrado et al. (2010).



Vyšší skóre úzkosti bylo spjato s vyšší subjektivní vnímanou únavou a vyšším poměrem LF/HF. To je patrné z obrázku 14.

### Obrázek 14

Vztah mezi somatickou úzkostí a poměrem LF/HF podle Parrado et al. (2010).



Z těchto zjištění vyplývá, že vyšší subjektivní vnímání únavy koreluje s nižší srdeční vagovou aktivitou, i s posunem SVB k sympatiku. To může reflektovat i reakci na soutěžní zátěž. Autoři této studie došli k závěru, že hodnocení vnímané únavy před začátkem turnaje jako markeru včasného varování autonomní reakce na únavu v soutěži. (Parrado et al., 2010)

Parrado et al. (2010) zmiňují důležitost jednoduchého nástroje, který dokáže monitorovat stav únavy u sportovců a dokáže ji včas odhalit. Zde se jako slibná ukazuje VSF v kombinaci s dotazníkem únavy, zde konkrétně byl využit QSFMS.

Z výše zmíněného vyplývá, že pomocí měření VSF lze pozorovat změny v autonomní kardiální regulaci ve fázi únavy. Ideální je kombinace se subjektivními dotazníky, které korelují s VSF.

#### **2.8.4 VSF a přetížení**

Autoři Kajaia et al. (2017) uvádějí snížení časových i frekvenčních ukazatelů ve fázi přetížení. Konkrétně můžeme zmínit snížení rMSSD, SDNN a pNN50 a zvýšení poměru LF/HF. Jestliže snížíme intenzitu a objem tréninku a zkvalitíme regeneraci, obvykle dochází po velmi krátké době ke zlepšení těchto ukazatelů (Javorka, 2008). Špatné nastavení zátěže v tréninku může vést až k riziku vzniku NFOR či dokonce vzniku nemoci nebo zranění (Flatt et al., 2017).

Studie od Bosquet et al. (2008) se zabývala vlivem tréninku na VSF, SF a další markery. Hlavním závěrem této studie z oblasti měření VSF je, že správná interpretace každodenního kolísání měření SF a VSF během tréninkového procesu vyžaduje porovnání s dalšími objektivními znaky a příznaky přetížení. Klidovou SF a VSF lze podle této studie považovat za vhodné pro měření krátkodobé únavy – FOR, které trvá méně než dva týdny. Pro měření NFOR či OT trvajícího déle než dva týdny nepovažuje studie tyto ukazatele za vhodné. (Bosquet et al., 2008)

Studie poukazují na to, že pokud se sportovci dostanou do fáze přetížení, dochází pak k významnému snížení celkové VSF. To pozorovali autoři Garet et al. (2004) na příkladu plavců, u kterých se VSF snížila po 3 týdnech náročných tréninků se zvýšenou intenzitou o 22 %. V následujících týdnech při snížené intenzitě se VSF zvýšila o 7 %. Studie od Tian et al. (2013) zjišťovala, jestli se dá VSF použít jako slibný nástroj pro hodnocení přetížení (potažmo dále OT). Jejich hlavním zjištěním bylo, že pokud se po dobu dvou týdnů snižují ukazatele – rMSSD, SDNN a HF a zároveň dochází i ke zvýšení poměru LF/HF, což může poukazovat na stav přetížení. Upozorňují, že ke změnám VSF mohou přispívat i fyzické a psychické podněty. Stejně tak snížená celková VSF může být důsledkem stresu před soutěžemi. Tyto podněty by měl brát každý trenér v potaz, pokud se chystá vyslovit diagnózu přetížení. (Tian et al., 2013)



Pokud se podíváme na konkrétní čísla, studie od Kajaia et al. (2017) porovnávala aktivitu ANS u sportovců vykazující nefunkční přetížení či přetrénování a sportovce, kteří nevykazovali žádné přetížení. V tabulce 5 jsou uvedeny časové ukazatele VSF u sportovců bez přetížení či přetrénování v porovnání se sportovci s přetrénováním. (Kajaia et al., 2017)

Tabulka 5 ukazuje jednotlivé časové ukazatele. Napřed vidíme hodnoty u atletů bez NFOR či OTS a poté jsou uvedeny hodnoty atletů s NFOR. Z tabulky vyplývá, že atleti s NFOR vykazují vyšší průměrnou SF a nižší průměr RR intervalů. Dále také významně nižší hodnoty SDNN, rMSSD a pNN50. Pokles těchto hodnot značí, že naše tělo není schopno reagovat na další zátěž, což bylo zmíněno v předchozích kapitolách. Pro představu, jak významné snížení ukazatelů je, v posledním sloupci tabulky 5 je uvedeno srovnání s kontrolní skupinou, kterou tvořili lidé se sedavým způsobem života. U přetížených sportovců dochází k nižším průměrným hodnotám RR, SDNN, rMSSD a pNN50. Dokonce jsou hodnoty nižší v porovnání s kontrolní skupinou, kterou tvořily osoby se sedavým způsobem života. (Kajaia et al., 2017)

#### Tabulka 5

*Porovnání hodnot vybraných časových ukazatelů u sportovců bez nefunkčního přetížení či přetrénování s atlety s funkčním přetížením a s kontrolní skupinou. Převzato a upraveno podle Kajaia et al. (2017)*

Ukazatel; jednotka	Atleti bez NFOR/OTS	Atleti s NFOR	Kontrolní skupina
Věk	24,7 ± 6,1	24,3 ± 4,7	23,8 ± 3,6
Průměrná SF; tepy/min	67,5 ± 10,8	73,6 ± 6,4	74,8 ± 4,2
Průměrný RR; ms	986 ± 97	923 ± 76	875 ± 34
SDNN; ms	77,2 ± 6,8	54,6 ± 5,0	43,3 ± 2,3
rMSSD; ms	86,4 ± 8,9	62,4 ± 5,7	50,1 ± 2,5
pNN50; %	47,7 ± 7,4	28,3 ± 3,8	30,0 ± 2,7

*Poznámka.* NFOR = nefunkční přetížení; OTS = syndrom přetrénování; výsledky jsou uvedeny v průměrných hodnotách ± SD

V tabulce 6 vidíme srovnání frekvenčních ukazatelů u atletů bez NFOR/OTS v porovnání s atlety s NFOR. LF a poměr LF/HF jsou významně vyšší, což poukazuje na zvýšenou sympatickou kardiovaskulární kontrolu u sportovců s NFOR ve srovnání s ostatními. V posledním sloupci vidíme i porovnání s kontrolní skupinou tvořenou osobami se sedavým způsobem života. (Kajaia et al., 2017)

#### **Tabulka 6**

*Porovnání hodnot vybraných frekvenčních ukazatelů u sportovců bez nefunkčního přetížení či přetrénování s atlety s funkčním přetížením a s kontrolní skupinou. Převzato a upraveno podle Kajaia et al. (2017).*

Ukazatel; jednotka	Atleti bez NFOR/OTS	Atleti s NFOR	Kontrolní skupina
PT; ms <sup>2</sup> /Hz	1787 ± 274	1968 ± 314	974 ± 87
LF; ms <sup>2</sup> /Hz	585 ± 107	956 ± 124	301 ± 65
HF; ms <sup>2</sup> /Hz	658 ± 187	398 ± 93	229 ± 46
LF/HF	1,3 ± 0,61	3,0 ± 0,54	1,8 ± 0,69
LF norm, %	51 ± 3,0	65 ± 2,8	59 ± 0,9
HF norm, %	49 ± 3,0	35 ± 2,8	41 ± 0,9

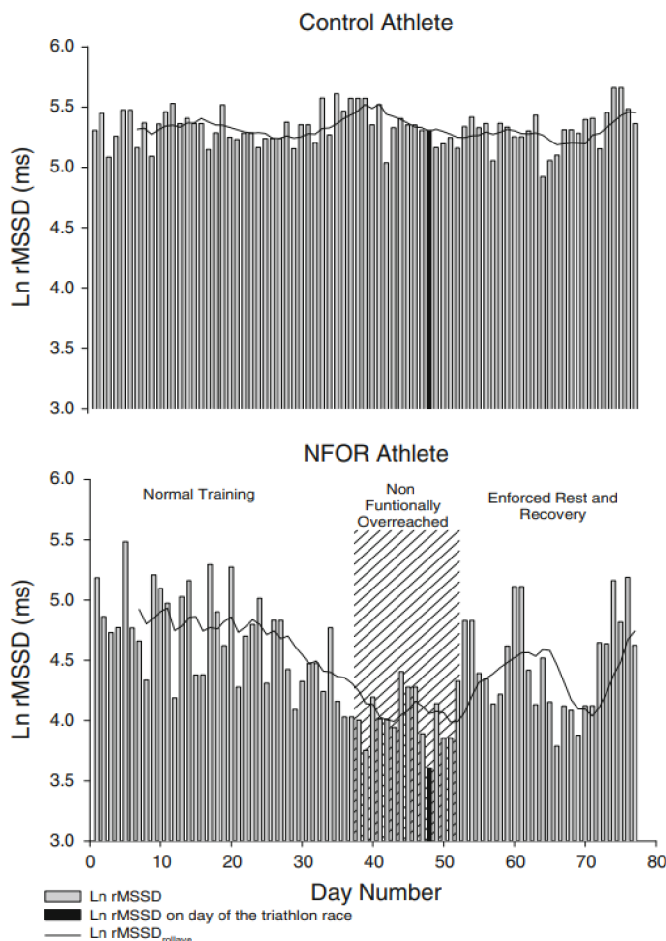
*Poznámka.* Výsledky jsou uvedeny jako průměrné hodnoty ± SD

Celkově můžeme pozorovat v tabulkách 5 a 6, jak významné je zvýšení jednotlivých ukazatelů u vysoce trénovaných sportovců v porovnání s kontrolní skupinou.

Autoři Plews et al. (2012) zkoumali denní VSF u elitních sportovců, konkrétně dvou triatlonistů po dobu 77 dnů. V průběhu měření byl taktéž jeden závod, který atlet s NFOR nedokončil vůbec. Měření VSF probíhalo ráno po probuzení v poloze vleže. Obrázek 15 ukazuje změny ukazatele Ln rMSSD v průběhu měření. U atleta s NFOR docházelo k větším výkyvům v tomto ukazateli. (Plews et al., 2012)

**Obrázek 15**

Porovnání parametru Ln RMSSD u normálního atleta (nahore) s atletem trpícím NFOR (dole) podle Plews et al. (2012).



*Poznámka.* Šedé sloupce vyjadřují denní hodnoty Ln rMSSD, černý sloupec vyjadřuje hodnotu Ln rMSSD v den závodu, čára značí týdenní klouzavý průměr hodnoty Ln rMSSD; u obrázku NFOR atleta (dole) je zaznačeno období NFOR (šrafování); normal training = období klasického tréninku; enforced rest and recovery = období nařízeného odpočinku a regenerace

Autoři tvrdí, že VSF se zdá být citlivějším měřítkem při detekci NFOR než klidová SF. Dále dodávají, že pokud pozorujeme trend klesání v týdenním klouzavém průměru VSF, může se jednat o užitečný ukazatel, který indikuje rozvoj NFOR. (Plews et al., 2011)

### 2.8.5 VSF a přetrénování

Přetrénování je možno hodnotit velkým množstvím přístupů či jejich kombinací, mezi něž patří hodnocení biomarkerů (např. laktát), monitorování změn v humorálním systému,

průběžné testování kondice či specifické sportovní výkonnosti a další, nicméně autoři zmiňují i důležitost měření VSF. (Botek, Krejčí & McKune, 2017) Hlavní rozdíl mezi NFOR a OTS se týká únavy, stavu nálad a hlavně výkonnosti. U sportovců s OTS se setkáváme s mnohem závažnějšími stavy, dochází ještě k výraznějšímu poklesu výkonnosti a prohloubení příznaků NFOR. (Meeusen et al., 2013)

Studie od Hynynen et al. (2006) porovnávala autonomní modulaci během noci a po probuzení mezi přetrénovanými a nepřetrénovanými sportovci. Mimo jiné se zabývali i měřením hladiny katecholaminů (stresových hormonů) v moči. Snížená VSF byla pozorována brzy po probuzení u skupiny přetrénovaných sportovců. To naznačuje zvýšenou aktivitu sympatiku. Během spánku nebylo zjištěno žádných rozdílů u sportovců přetrénovaných s těmi, kteří přetrénování nebyli. (Hynynen et al., 2006) Halson & Jeukendrup (2004) uvádí, že hladiny katecholaminů mohou odrážet aktivitu sympatiku a můžeme je proto zkoumat v rámci zjišťování autonomní nerovnováhy. Studie od Hedelin et al. (2000) zkoumala přetrénovaného běžce na lyžích. Sportovec měl slabé sportovní výkony, dále trpěl špatnými náladami a v neposlední řadě jeho VSF byla zvýšená. Zvýšení pozorovali autoři v pásmu HF, byla mnohem vyšší než u sportovců z kontrolní skupiny. Také pozorovali autoři lehce sníženou klidovou SF. (Hedelin et al., 2000) Studie od Uusitalo et al. (2000) přišla se závěrem, že stav přetrénování byl u sportovců spojen se sníženou VSF.

Dong (2016) popisuje, že autoři studií pozorovali ve stavu přetrénování výrazný pokles v ukazatelích rMSSD a SDNN, ale také i v pásmech HF a LF (Hottenrott et al., 2006; Hynynen et al., 2006).

Podle Plewse et al. (2013) jsou nicméně názory mezi autory různé. Někteří ukazují, že se VSF při stavu přetrénování zvýšila, jiní uvádějí její snížení. Nicméně toto může být způsobeno různými metodami, a hlavně problémy s rozlišením jednotlivých stavů přetrénování. Autoři uvádí, že toto téma by mělo být předmětem dalšího zkoumání. Obecně při přetrénování aktivita ANS může vykazovat nadměrný posun v rovnováze, a to buď ve směru parasympatiku nebo sympatiku. (Aubert et al. 2003)

Studie od Kajaia et al. (2017) zkoumala kromě přetížení i přetrénování, jelikož tyto jevy spolu úzce souvisí. Došlo zde k porovnání k časových a frekvenčních ukazatelů u normálních atletů s atlety vykazující nefunkční přetížení a atlety se syndromem přetrénování. V tabulce 7 jsou ve třetím sloupci změny uvedeny u atletů s OTS. Nejvýraznější pokles nastává u ukazatele rMSSD, který se snížil ještě více z již tak snížené hodnoty u atletů s NFOR. Došlo i k poklesu ukazatele pNN50, SDNN, a průměrného RR čili také SF. Nižší naměřená hodnota ukazatelů reflektuje nízkou VSF a nízký vagový vliv.

### Tabulka 7

*Srovnání změn jednotlivých časových ukazatelů u sportovců bez NFOR/OTS se sportovci s NFOR a se sportovci s OTS. Převzato a upraveno podle Kajaia et al. (2017).*

Ukazatel; jednotka	Atleti bez NFOR/OTS	Atleti s NFOR	Atleti s OTS
Věk	24,7 ± 6,1	24,3 ± 4,7	23,7 ± 5,2
Průměrná SF; tepy/min	67,5 ± 10,8	73,6 ± 6,4	74,1 ± 5,7
Průměrný RR/ms	986 ± 97	923 ± 76	836 ± 54
SDNN/ms	77,2 ± 6,8	54,6 ± 5,0	49,4 ± 4,2
rMSSD/ms	86,4 ± 8,9	62,4 ± 5,7	31,3 ± 3,4
pNN50/ %	47,7 ± 7,4	28,3 ± 3,8	19,5 ± 1,9

*Poznámka.* Výsledky jsou uvedeny v průměrných hodnotách ± SD

V tabulce 8 pozorujeme významný propad v ukazateli HF, LF, snížení poměru LF/HF, ale i celkové VSF. To indikuje významně vyšší vagovou modulaci srdce u vysoce trénovaných jedinců bez NFOR/OTS. (Kajaia et al., 2017)

### Tabulka 8

*Porovnání jednotlivých ukazatelů u atletů bez NFOR/OTS, atletů s NFOR a atletů s OTS podle Kajaia et al. (2017).*

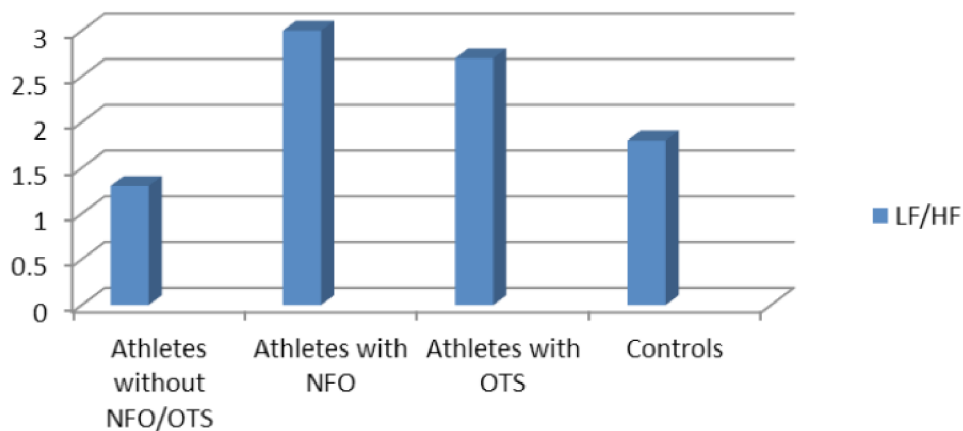
Ukazatel/jednotka	Atleti bez NFOR/OTS	Atleti s NFOR	Atleti s OTS
PT, ms <sup>2</sup> /Hz	1787 ± 274	1968 ± 314	1471 ± 121
LF, ms <sup>2</sup> /Hz	585 ± 107	956 ± 124	779 ± 96
HF, ms <sup>2</sup> /Hz	658 ± 187	398 ± 93	312 ± 61
LF/HF	1,3 ± 0,61	3,0 ± 0,54	2,7 ± 0,28
LF norm, %	51 ± 3,0	65 ± 2,8	63 ± 1,8
HF norm, %	49 ± 3,0	35 ± 2,8	37 ± 1,8

*Poznámka.* Výsledky jsou uvedeny v průměrných hodnotách ± SD

Poměr LF/HF byl významně vyšší u atletů s NFOR, a to i více než u atletů s OTS. To znamená, že u atletů s NFOR je významně zvýšená sympatická kardiovaskulární kontrola. (Kajaia et al., 2017) Na obrázku 16 vidíme změny poměru LF/HF u jednotlivých skupin, které byly zájmem měření v této studii.

### Obrázek 16

Změny v poměru LF/HF u sportovců bez NFOR/OTS v porovnání s atlety s NFOR, s OTS, a nakonec kontrolní skupinou podle Kajaia et al. (2017)

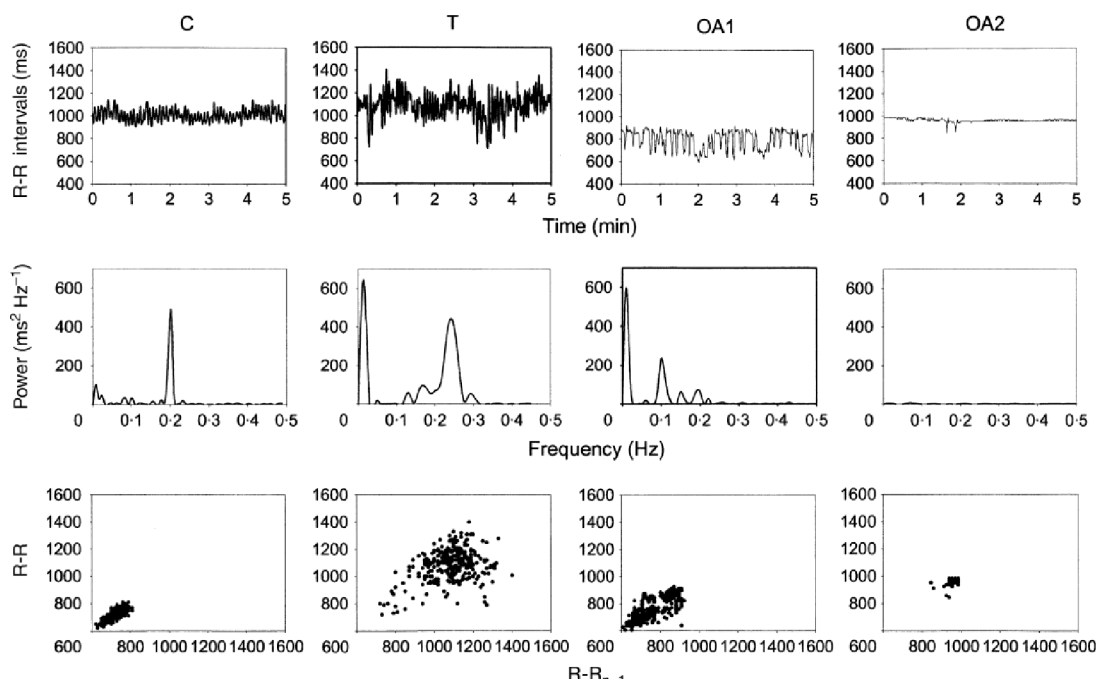


Z těchto měření se dá uvažovat o tom, že VSF dokáže poskytnout cenné informace při detekci přetrénování u sportovců. Může být vhodným nástrojem pro optimalizaci tréninku a také pro včasné rozpoznání a prevenci jevů, jako je nefunkční přetížení či přetrénování, potažmo syndrom přetrénování. (Kajaia et al., 2017)

Studie od Mourot et al. (2004) se zabývala měřením 7 sportovců s OTS. Měření probíhalo v poloze vestoje po dobu 10 minut a následně v náklonu 60° taktéž po dobu 10 minut. Na obrázku 17 jsou tachogramy, výkonová spektra a Poincarého grafy během klidové polohy na zádech u jednoho zástupce kontrolní skupiny (C), trénovaných subjektů (T), trpícího syndromem přetrénování (OA1). OA2 značí sportovce silně přetrénovaného v porovnání s ostatními přetrénovanými sportovci. (Mourot et al., 2004)

## Obrázek 17

*Seshora – tachogramy, výkonová spektra a Poincarého grafy u jednotlivých skupin měření podle Mourot et al. (2004)*



Při přetrénování taktěž pozorujeme změny ve VSF, v časových, frekvenčních i nelineárních ukazatelích. V kombinaci s významným poklesem výkonnosti může VSF představovat nástroj pro diagnostiku funkčních změn v organismu při přetrénování. Trenéři by si také měli dávat pozor na zhoršené stavy nálad, ke kterým u sportovců dochází.

### **2.8.6 Změna výkonu ve vztahu k VSF**

Ačkoli je spánek považován za klíčový pro optimální výkon, zdá se, že mnozí sportovci trpí nedostatkem spánku zejména v období před soutěžemi. Mezi důvody nedostatečného spánku patří hlavně nervozita a úzkost. Existují důkazy, že nedostatečný spánek negativně ovlivňuje sportovní výkon. Pro sportovce je důležité udržení rovnováhy aktivity ANS, jelikož je to rozhodující faktor pro dosažení optimálního výkonu. Snížení kvantity a kvality spánku vede k nerovnováze aktivity ANS (Fullagar et al., 2014)

Ve fázi únavy taktěž dochází k zpomalení reakční doby, horší schopnosti přemýšlet, rozhodovat se a také udržet pozornost. Pokud je sportovec unavený, nebude schopen podávat tak kvalitní výkony, jak kdyby unavený nebyl. (Skala & Zemková, 2022)

Autoři Garet et al. (2004) došli k závěrům, že změny v aktivitě ANS měřené pomocí VSF silně korelují se změnami ve výkonnosti sportovce, pokud se zaměříme na jednotlivce. Ve skupině nebyla změna významná. Autoři měřili výkon sportovců v plavání na 400 m kraulem a VSF v noci. Měření výkonu probíhalo před výzkumem, po tří týdenní fázi intenzivních tréninků a po dvou týdnech ve fázi ladění formy. Výsledkem studie je fakt, že výkonnost silně koreluje s noční aktivitou ANS. Snížení aktivity ANS během fáze intenzivního tréninku koreluje se ztrátou výkonu. Čas potřebný pro uplavání 400 m se prodloužil až o 10 s, pokud byly naměřeny horší hodnoty celkové VSF. Obnovení aktivity ANS během fáze ladění formy koreluje s nárůstem výkonnosti. Rychlost obnovení se u jednotlivých plavců značně lišila. Autoři tvrdí, že měření aktivity ANS je užitečné pro kontrolu a optimalizaci tréninkových fází. (Garet et al., 2004)

Jak již víme, hlavním příznakem OTS je snížená výkonnost po dobu několika týdnů, měsíců či dokonce let. Výkonnost se nevrací do původních hodnot ani při snížené zátěži. (Plews et al., 2013) Autoři poukazují na sníženou celkovou VSF ve stavu přetrénování. Se sníženou výkonností ve stavu OT tedy přichází také snížení ukazatelů VSF, ale také celkové VSF. Konkrétně se setkáváme se snížením rMSSD, SDNN, PT, LF i HF. (Kajaia et al., 2017; Mourot et al., 2004)

Z výše uvedeného vyplývá, že výkon ve sportu koreluje s VSF. Při nižší VSF dochází ke snížení výkonnosti, naopak pokud máme vyšší VSF, můžeme predikovat, že i naše výkonnost bude vyšší. Je ale důležité brát VSF v kombinaci se subjektivními pocity sportovců.

### **2.8.7 Prevence únavy, přetížení a přetrénování pomocí monitoringu VSF**

Hottenrott et al. (2006) popisují, že VSF má význam pro sportovní sféru, jelikož měření VSF odráží změny v srdeční aktivitě. Tyto změny nám pomáhají určovat, jakým způsobem organismus sportovce na danou zátěž reaguje. Botek, Krejčí a McKune (2017) dodávají, že měření VSF je perspektivním nástrojem pro kontrolu tréninku, nicméně bychom neměli zapomínat na změny VSF v kontextu dalších podmínek – velikosti zatížení a enviromentálních podmínek. Dále bychom měli věnovat prostor i tomu, jaké stresory působí na sportovce zvenčí – to může být nejenom stres z každodenních tréninků, ale také škola, nebo nátlak rodiny (Mishica et al., 2021).

Neumann et al. (2005) uvádí podle Berbalka (1999), že na základě měření VSF ve vrcholovém sportu můžeme dojít k následujícím informacím:

- Na VSF má vliv spousta faktorů, mezi něž patří například věk, vliv denního rytmu, změna polohy těla či mentální stav.
- Pokud je naše mentální zatížení vysoké, klesá VSF. Často se s takovými stavy setkáváme ve vrcholovém sportu, jelikož na sportovce je kladen vysoký důraz.



- Tréninkem se snižuje SF, zároveň VSF roste. Musíme dávat pozor, jelikož VSF klesá při nedostatečné regeneraci.
- Při zatížení roste SF, dochází k poklesu VSF. Intenzita zatížení okolo 44 % MTR je považována za vagový práh, tedy od této hodnoty je KVS dominantně ovlivňována sympatickou aktivitou a dochází k významnému ústupu vagové aktivity. (Botek et al., 2008)

Carrasco-Poyatos et al. (2020) uvádí, že měření VSF může být funkčním pomocníkem při individuálním plánování tréninku. Uvádí využití jak u profesionálních, tak i u amatérských sportovců. Plánování tréninků pomocí měření VSF může vést ke zlepšení výkonu. Individuálně řízený trénink pomocí VSF může rovněž přispět ke snížení rizika přetrénování (Nuuttila et al., 2017). Manresa-Rocamora et al. (2021) ve svém systematickém přehledu uvádí, že měření VSF je vhodný nástroj k měření únavy. Podle těchto autorů jsou pro unavené sportovce také typické velké výkyvy VSF v průběhu dne.

Buchheit (2014) uvádí, že kombinace měření SF v kombinaci s tréninkovými deníky, psychometrickými dotazníky a neinvazivními metodami, které zahrnují výkonnostní testy či subjektivní dotazníky, mohou nabídnout komplexní řešení pro sledování stravu tréninku u vytrvalostních sportovců.

### **2.8.8 Výhody a nevýhody měření VSF v tréninkovém procesu**

Mezi výhody měření patří fakta, že měření VSF je mnohem citlivější než pouhé měření SF. Měření VSF je taktéž neinvazivní metodou měření. (Botek, Krejčí & McKune, 2017) Autoři Li et al. (2019) popisují konkrétnější výhody a nevýhody krátkodobé a dlouhodobé SA VSF.

Mezi výhody krátkodobé analýzy patří jednoduchost měření, kdy stačí pár minut. Je taktéž jednodušší kontrolovat faktory, které mohou mít na měření vliv, jako je dýchání, teplota prostředí či poloha těla. Taktéž je rychlejší zpracování dat a krátkodobá analýza dokáže popsat dynamické změny VSF. Krátkodobá analýza neumožňuje měřit dlouhodobé kolísání RR intervalů, jako je výkon v pásmu ULF. (Li et al., 2019)

Dlouhodobá analýza, trvající od 1 hodiny až po 24 hodin, přináší také své výhody. Je více stabilním nástrojem a umožňuje analyzování výkonu v pásmu ULF. Mezi nevýhody autoři řadí větší časovou náročnost měření, výsledky obsahují více šumu a jsou ovlivněny denními činnostmi a okolními faktory. (Li et al., 2019)

Pro účel této práce je vhodné zmínit, že se jedná o jednoduché měření, které analyzuje aktivitu ANS. Může signalizovat funkční změny v organismu, mezi které patří únava, přetížení a přetrénování. (Botek, Krejčí & McKune, 2017)

## **3 CÍLE**

### **3.1 Hlavní cíl**

Hlavním cílem je zmapovat literární prameny zabývající se odezvou autonomní kardiální regulace a sportovní výkonnosti ke vztahu k fyziologické a patologické únavě.

### **3.2 Dílčí cíle**

- 1) Porovnat výsledky dostupných studií věnující se vlivu únavy na variabilitu srdeční frekvence.
- 2) Porovnat výsledky dostupných studií věnující se vlivu přetížení na variabilitu srdeční frekvence.
- 3) Porovnat výsledky dostupných studií věnující se vlivu přetrénování na variabilitu srdeční frekvence.

### **3.3 Výzkumné otázky**

- 1) K jakým změnám ve variabilitě srdeční frekvence dochází vlivem únavy?
- 2) K jakým změnám ve variabilitě srdeční frekvence dochází vlivem funkčního a nefunkčního (strukturálního) přetížení?
- 3) Jaké změny ve variabilitě srdeční frekvence vyvolává syndrom přetrénování?
- 4) Jaké výhody a nevýhody má měření variability srdeční frekvence ve sportu?

## 4 METODIKA

### 4.1 Strategie výběru odborných studií

Pro výběr odborných studií do kapitoly přehled poznatků byly využity databáze Web of Science, PubMed, ScienceDirect, Scopus, EBSCO. Pro výběr odborných studií do kapitoly „výsledky“ byly zvoleny databáze PubMed a Web of Science. Vyhledávání proběhlo od 23. 2. 2024 do 20. 4. 2024.

#### 4.1.1 Strategie výběru odborných studií pro část „vliv únavy na VSF“

Pro část bakalářské práce „Vliv únavy na VSF“ byla použita databáze Web of Science a PubMed, do jejichž vyhledávání byla vložena klíčová slova:

- „Heart rate variability“ AND „Fatigue“ AND „Sport“ AND „Performance“ AND „Exercise“

Na základě těchto klíčových slov databáze Web of Science našla 273 studií. Dále byly studie posouzeny a vyřazeny na základě těchto kritérií:

- Přístup k plnému textu práce „open access“ – odpovídá 138 studií.
- Název studie, popřípadě dále abstrakt se shoduje s tématem této práce – odpovídá 73 studií.
- Text studie se týká tématu bakalářské práce – odpovídá 15 studií.
- Nejedná se o duplikát a zároveň je možnost volného přístupu k celému textu (některé studie i přes filtr „open access“ neposkytují přístup k plnému textu) – celkem výsledných **7** studií.

Na základě výše uvedených klíčových slov databáze PubMed našla celkem 400 studií. Studie byly dále posouzeny a vyřazeny na základě těchto kritérií:

- Přístup k plnému textu práce „open access“ – odpovídá 141 studií.
- Název studie, popřípadě abstrakt se shoduje s tématem této práce – odpovídá 59 studií.
- Text studie se týká tématu bakalářské práce – odpovídá 11 studií.
- Nejedná se o duplikát a zároveň je možnost volného přístupu ke studii – celkem výsledných **9** studií.

Po porovnání článků z obou databází a odstranění duplikátů bylo do finálního výběru vybráno celkem **7** studií, které budou představeny v kapitole „výsledky“.

#### **4.1.2 Strategie výběru odborných studií pro část „vliv přetížení na VSF“**

Pro část bakalářské práce „Vliv přetížení na VSF“ byla použita databáze Web of Science a PubMed, do jejichž vyhledávání byla vložena klíčová slova:

- „Heart rate variability“ AND „Overreaching“

Na základě těchto klíčových slov databáze Web of Science našla 60 studií. Dále byly studie posouzeny a vyřazeny na základě těchto kritérií:

- Název studie, popřípadě dále abstrakt se shoduje s tématem této práce – odpovídá 21 studií.
- Text studie se týká tématu bakalářské práce – odpovídá 13 studií.
- Nejedná se o duplikát a zároveň je možnost volného přístupu k celému textu – celkem výsledných **11** studií.

Na základě výše uvedených klíčových slov databáze PubMed našla celkem 46 studií. Studie byly dále posouzeny a vyřazeny na základě těchto kritérií:

- Název studie, popřípadě abstrakt se shoduje s tématem této práce – odpovídá 23 studií.
- Text studie se týká tématu bakalářské práce – odpovídá 11 studií.
- Nejedná se o duplikát a zároveň je možnost volného přístupu ke studii – celkem výsledných **10** studií.

Po porovnání článků z obou databází a odstranění duplikátů bylo vybráno **11** studií, které budou představeny v kapitole „výsledky“.

#### **4.1.3 Strategie výběru odborných studií pro část „vliv přetrénování na VSF“**

Pro část bakalářské práce „Vliv přetížení na VSF“ byla použita databáze Web of Science a PubMed, do jejichž vyhledávání byla vložena klíčová slova:

- „Heart rate variability“ AND „Overtraining“ AND „Overtraining syndrome“

Na základě těchto klíčových slov databáze Web of Science nalezla 51 studií. Dále byly studie posouzeny a vyřazeny na základě těchto kritérií:

- Název studie, popřípadě dále abstrakt se shoduje s tématem této práce – odpovídá 25 studií.
- Text studie se týká tématu bakalářské práce – odpovídá 13 studií.
- Nejedná se o duplikát a zároveň je možnost volného přístupu k celému textu – celkem výsledných **6** studií.

Na základě výše uvedených klíčových slov databáze PubMed nalezla celkem 16 studií. Studie byly dále posouzeny a vyřazeny na základě těchto kritérií:

- Název studie, popřípadě abstrakt se shoduje s tématem této práce – odpovídá 13 studií.
- Text studie se týká tématu bakalářské práce – odpovídá 8 studií.
- Nejedná se o duplikát a zároveň je možnost volného přístupu k celému textu – celkem výsledných **5** studií.

Po porovnání článků z obou databází a odstranění duplikátů bylo vybráno **7** studií, které budou představeny v kapitole „výsledky“.

## 5 VÝSLEDKY A DISKUSE

### 5.1 Vliv únavy na VSF

V této části se podíváme na výsledky dostupných studií zabývajících se vlivem únavy na VSF. Z přehledu poznatků víme, že únava snižuje celkovou VSF. Znalost změn VSF ve vztahu k únavě může napomocet pro vhodnou optimalizaci výkonů u sportovců. Zaměříme se také na zda existují další vhodné ukazatele, se kterými můžeme VSF kombinovat a také na to, jaké podmínky jsou pro měření VSF nejvhodnější.

**Tabulka 10**

*Souhrn výsledků k nalezeným studiím k části bakalářské práce „vliv únavy na VSF“*

Autor	Rok	Délka měření	Poloha	Výsledky
Schmitt et al.	2013	8 minut	Vleže	↑ LF/HF ↓ LF, HF, PT, HF (n.u.)
		7 minut	Vestoje	↓ LF, HF, PT
Iizuka et al.	2020	5 minut	Vsedě	↓ SDNN, rMSSD
Penna et al.	2017	5 minut	Vsedě	↔ RR, rMSSD, LF/HF
Flatt et al.	2018	-	Vsedě	↓ Ln rMSSD
Thorpe et al.	2015	5 minut	Vsedě	↔ Ln rMSSD
Chen et al.	2023	3 minuty	Vsedě	↓ rMSSD, SDNN
Schmitt et al.	2016	8 minut	Vleže	↓ HF, LF + HF
		7 minut	Vestoje	↓ HF, LF + HF, rMSSD

*Poznámka.* ↑ zvýšení ukazatelů v reakci na daný jev; ↓ snížení ukazatelů v reakci na daný jev; ↔ nenalezeny žádné změny v ukazatelích; - parametr neuveden.

Pro část bakalářské práce „vliv únavy na VSF“ bylo vybráno celkem sedm studií. Při analýze studií si můžeme všimnout nejrůznějších metod, které jednotliví autoři používali. Studie se lišily v délce, denní době a způsobu měření VSF, stejně tak probandy a délkou celého výzkumu. Nejvíce účastníků se nacházelo ve studii od Schmitt et al. (2013), která zkoumala celkem 57 sportovců. Na druhou stranu nejméně zkoumala studie od Schmitt et al. (2016), která se zabývala pouze jedním sportovcem. Autoři Chen et al. (2023) zkoumali 36 aktivních studentů na vysoké škole se sportovním zaměřením. Studie od Flatt et al. (2018) ve svém výzkumu zahrnovala 17 sportovců, studie od Penna et al. (2017) 16 sportovců. Ve studii od Thorpe et al. (2015) bylo sledováno 10 sportovců a studie od Iizuka et al. (2020) se zabývala 8 sportovci.

Lišily se také jednotlivé sporty, kterým se probandi věnovali. Tři studie zkoumaly plavce, konkrétně studie od Penna et al. (2017), Flatt et al. (2018) a Schmitt et al. (2016). Další studie se zabývaly běžci na lyžích (Schmitt et al., 2013), hráči badmintonu (Iizuka et al., 2020) či fotbalisty (Thorpe et al., 2015). Jedna studie (Chen et al., 2023) se zabývala fyzicky aktivními vysokoškoláky. Zde nebylo více specifikováno, jakému sportu se kdo věnoval. Různá byla také délka studie. Nejdelší studie trvala celé 4 roky, kdy docházelo ke sběru dat (Schmitt et al., 2013). Dále studie od Schmitt et al. (2016) trvající 69 týdnů čili 1 rok a necelé 4 měsíce. Nejkratší měření probíhalo ve studii od Thorpe et al. (2015) po dobu 17 dnů. Dále se rozmezí pohybovalo od 4 týdnů (Flatt et al., 2018), 2 měsíců (Iizuka et al., 2020) až po 7 měsíců (Chen et al., 2023). U studie od Penna et al. (2017) nebylo uvedeno, jak dlouho výzkum probíhal.

Pokud se zaměříme přímo na měření VSF, zde se vyskytují rozdíly v čase měření, délce měření, pozorovaném parametru či používaném zařízení. Studie od Schmitt et al. (2016), Flatt et al. (2018) a Iizuka et al. (2020) prováděly měření ráno po probuzení, v domácích podmínkách, před snídaní. Studie od Schmitt et al. (2013) měřila VSF sice ráno, nicméně až po příjezdu sportovců do tréninkového centra. Studie od Penna et al. (2017) prováděla měření v průběhu dne, po testech, které sportovci vykonávali v tréninkovém zařízení. Stejně tak probíhalo měření i u studie od Thorpe et al. (2015). Studie od Chen et al. (2023) neuvádí, kdy měření probíhalo.

Dále se lišila i délka a poloha měření. Studie od Iizuka et al. (2020), Penna et al. (2017), Thorpe et al. (2015) měřily VSF v poloze vsedě po dobu pěti minut. Studie od Chen et al. (2023) měřila VSF v poloze vsedě po dobu tří minut a studie od Flatt et al. (2018) měřila taktéž v poloze vsedě. Délka měření nebyla specifikována. Studie od Schmitt et al. (2013, 2016) využívaly měření 8 minut v poloze vleže a následně 7 minut v poloze vestoje.

Rozdíly pozorujeme i v jednotlivých ukazatelích, kterými se autoři zabývali. Čtyři studie se zabývaly ukazateli časovými i frekvenčními zároveň. Konkrétně se jednalo o studie od Iizuka et al. (2020) – SDNN, rMSSD, LF, HF a LF/HF; studie od Penna et al. (2017) – rMSSD, LF/HF a průměr RR; studie od Chen et al. (2023) – SDRR (potažmo SDNN), rMSSD, LF, HF, a LF/HF a na závěr studie od Schmitt et al. (2016) – LF, HF, LF+HF a rMSSD. Studie od Flatt et al. (2018) a Thorpe et al. (2015) se zabývala ukazatelem Ln rMSSD. Na závěr se jedna studie zabývala pouze časovými ukazateli, konkrétně od Schmitt et al. (2013) – LF, HF, LF (n.u.), HF (n.u.), LF/HF a PT.

Pokud se zaměříme na jednotlivá zařízení, tři studie používaly zařízení Polar (Polar Electro Oy, Kempele, Finsko) (Iizuka et al., 2020; Penna et al., 2017; Thorpe et al., 2015). Dále ve třech studiích byla používána zařízení Suunto (Vantaa, Finsko) (Chen et al., 2023; Schmitt et al., 2013; Schmitt et al., 2016). Vyhodnocení probíhalo pomocí různých programů, nejčastěji využívanými byly Nevrokard HRV (Medistar, Ljubljana, Slovinsko) (Schmitt et al., 2013; Schmitt et al., 2016) a Kubios HRV (Kubios, Kuopio, Finsko) (Iizuka et al., 2020; Penna et al., 2017), u jedné studie nebyl

uveden program pro vyhodnocení (Thorpe et al., 2015) a studie od Chen et al. (2023) pro vyhodnocení využívala program Firstbeat Sports Coach (Firstbeat Sports Coach, Jyväskylä, Finsko). Studie od Flatt et al. (2018) používala aplikaci ithlete (HRVfit LTD., Southampton, UK) a pro měření využívala senzor na prstu.

Zajímavé také je pozorovat, jaké další vhodné ukazatele pro měření únavy používají autoři kromě VSF. Často se setkáváme s nejrůznějšími subjektivními dotazníky. Ve studii od Schmitt et al. (2013) byl využíván dotazník QSFMS, který je popsán výše. Dále dvě studie od Iizuka et al. (2020) a Chen et al. (2023) využívaly VAS pro hodnocení únavy. Studie od Chen et al. (2023) dále využívala i škálu RPE. Flatt et al. (2018) ve své studii taktéž hodnotili vnímané pocity kvality spánku, únavy, svalové bolesti, stresu a nálady. Totéž hodnotila i studie od Thorpe et al. (2015). Thorpe et al. (2015) však dále zkoumali i to, jak se ve stavech únavy mění vzdálenost uběhnuté vzdálenosti v běhu s vysokou intenzitou. Studie od Penna et al. (2017) využívala pro hodnocení mentální únavy Stroopův test. U studie od Schmitt et al. (2016) se měřila úroveň kondice. Tu měřil trenér sportovce a nebyly uvedeny žádné další detaily.

Dostáváme se k části, která hodnotí, jaké vlivy má únava na VSF čili výsledky jednotlivých studií. Jedna studie, konkrétně od Penna et al. (2017) nepozorovala žádnou korelaci mezi VSF a únavou. Měření v této studii probíhalo v poloze vsedě. Rozdílem v této studii oproti všem ostatním bylo to, že se zabývala změnami ve VSF ve smíšené skupině chlapců a dívek. Ve studii od Thorpe et al. (2015) autoři došli k závěru, že vnímané hodnocení únavy sportovců a hodnoty Ln rMSSD byly citlivé na denní kolísání v rámci testu v uběhnuté vzdálenosti ve vysoké intenzitě. Nicméně autoři nepozorovali žádné významné změny v Ln rMSSD při měření v poloze vsedě.

U všech zbývajících studií byla nalezena korelace mezi únavou sportovce a VSF. Výsledky ukazují, jaké změny můžeme pozorovat u unavených sportovců. Ve studii od Schmitt et al. (2013) byly pozorovány významné změny ukazatelů VSF vleže i vestoje u unavených sportovců. Vleže došlo ke zvýšení ukazatele LF (n.u.) a zvýšení poměru LF/HF. Dále došlo ke snížení LF, HF, PT a HF (n.u.). V poloze vestoje došlo ke zvýšení SF, snížení ukazatelů LF, HF a PT. Autoři této studie zdůrazňují, že výhodou bylo měření v reálných podmínkách, nikoli uměle navozených. Autoři také dodávají, že změny ve VSF významně korelují se stavem únavy u sportovců. Studie od Chen et al. (2023) pozorovala podobné výsledky změn v ukazatelích LF a LF/HF, kde bylo zaznamenáno zvýšení těchto ukazatelů ve stavu únavy. Chen et al. (2023) dále pozorovali snížení Ln rMSSD, SDNN a HF, pokud se u probandů vyskytovala psychická či fyzická únava. Psychická i fyzická únava mají tedy jednoznačný vliv na aktivitu ANS, jelikož dochází ke snížení aktivity vagu. Měření v této studii probíhalo v poloze vsedě. Studie od Schmitt et al. (2016) pozorovala také změny v ukazatelích, jako u předchozích dvou. Konkrétně došlo v poloze vleže na zádech ke snížení ukazatele LF a LF+HF, nicméně nebyly pozorovány žádné významné změny v ukazateli rMSSD.



V poloze vestoje došlo k významným změnám v ukazatelích LF, LF+HF, a dokonce i významné změně v ukazateli rMSSD, který se se stavem únavy snížil. Došli k závěrům, že stav únavy významně koreluje se snížením celkové VSF. Autoři této studie také upozorňují, že stav únavy může být u sportovce způsoben nejen velkou tréninkovou zátěží, ale i dalšími stresory, jako je hypoxie, jet lag nebo předsoutěžní stavy a úzkosti.

Dále ve studii od Izuka et al. (2020) byly také zaznamenány změny u ukazatelů VSF. Autoři se snažili v druhé fázi snížit únavu u sportovců. U atletů bylo pozorováno významné snížení SF mezi měřenými fázemi 1 a 2. V časových ukazatelích autoři pozorovali významné zvýšení ukazatelů SDNN a rMSSD mezi těmito fázemi. Ve frekvenční oblasti došlo ke zvýšení LF a HF, přičemž u ukazatelů HF (n.u.) a LF/HF nebyl pozorován významný rozdíl. Autoři pro praktické využití doporučují ukazatele SDNN, rMSSD a HF, které významně korelovali se změnou subjektivní únavy. Měření ukazatelů VSF probíhalo v poloze vsedě. Taktéž dále autoři doporučují měření VSF ráno. Ve studii od Flatt et al. (2018) pozorovali autoři rozdíly v hodnotě Ln rMSSD při měření v poloze vsedě, která koreluje s kvalitou spánku, únavou a náladami sportovců. Pokud se sportovci cítí unaveni, mají horší kvalitu spánku nebo pociťují horší nálady. To se poté prokázalo i u ukazatele Ln rMSSD měřeného v poloze vsedě, který byl nižší.

Pokud se cítíme unaveni, dochází ke snížení celkové VSF a jejích ukazatelů. Nejčastěji se používá rMSSD, popřípadě Ln rMSSD. Nejvhodnější se zdá být měření ráno po probuzení, v poloze vleže na zádech a vestoje. Měření přes den není v tomto případě vhodné, což dokazují studie od Penna et al. (2017) a Thorpe et al. (2015), které ve vztahu k únavě nezaznamenaly žádné změny. Tyto studie se zabývaly měřením u týmových sportů, konkrétně fotbal i plavání. Při měření VSF v týmových sportech je důležité zaměřit se na změny u jednotlivých sportovců, nikoli skupiny jako celku.

Na základě výše uvedených studií se domníváme, že VSF je vhodná pro měření a predikci stavu únavy. Doporučujeme použití měření ranní VSF v kombinaci se subjektivními dotazníky únavy, s nimiž VSF silně koreluje.

## 5.2 Vliv přetížení na VSF

Přetrénování má taktéž vliv na autonomní kardiální regulaci u sportovců. V této části se zaměříme na to, k jakým změnám dochází a zda je VSF vhodná pro detekci přetížení u sportovců, popřípadě jaké další ukazatele jsou vhodné a jaké podmínky jsou pro měření VSF nevhodnější.

**Tabulka 11**

*Souhrn výsledků k nalezeným studiím k části bakalářské práce „vliv přetížení na VSF“*

Autor	Rok	Délka měření	Poloha	Výsledky
Winsley et al.	2005	10 minut	Vleže	↔ SDNN, rMSSD, pNN50
				↑LF (n.u.) LF/HF, ↓HF (n.u.),
Tian et al.	2013	5 minut	Vleže	↓rMSSD, SDNN, HF; ↑LF/HF
Bellenger et al.	2020	5 minut	Vsedě (po zátěži)	↑Ln rMSSD
		3 minuty	Vestoje (po probuzení)	↑Ln rMSSD
Plews et al.	2012	6 minut	Vleže	↓Ln rMSSD
Dupuy et al.	2013	4 hodiny	Ve spánku	↔
		10 minut	SWS spánek	↑LF/HF; ↓HF (n.u.)
		10 minut	- (po zátěži)	↔
Kajaia et al.	2017	-	Vsedě	↓RR, SDNN, rMSSD, pNN50; ↑LF/HF
Bellenger et al.	2016	3 minuty	Vleže + vestoje	↑Ln rMSSD
Nakamura et al.	2016	-	Vsedě	↓Ln rMSSD
Le Meur et al.	2013	8 minut	Vleže	↑Ln rMSSD, Ln (LF+HF)
		7 minut	Vestoje	↑Ln rMSSD, Ln (LF+HF), Ln HF
Coates et al.	2018	5 minut	Vleže	↔rMSSD, SDNN, LF, HF, LF/HF
Figueiredo et al.	2018	1 minuta	Vleže	↓ Ln rMSSD

*Poznámka.* ↑ zvýšení ukazatelů v reakci na daný jev; ↓ snížení ukazatelů v reakci na daný jev; ↔ nenalezeny žádné změny v ukazatelích; - parametr neuveden.

Pro část bakalářské práce „vliv přetížení na VSF“ bylo celkem analyzováno 11 studií. Stejně jako v předchozí kapitole, došlo k různým odchylkám během měření VSF. Tyto odchylky se týkaly zejména počtu účastníků a sportem probandů. Nejvíce účastníků zkoumala studie od Kajaia et al. (2017), která zkoumala celkem 37 sportovců z různých týmových sportů. Dále studie od Tian et al. (2012) zkoumala 34 žen věnující se wrestlingu. Studie od Coates et al. (2018) zkoumala celkem 28 účastníků, kteří se věnovali cyklistice nebo triatlonu. Pět dalších studií se zabývalo triatlonisty, konkrétně studie od Bellenger et al. (2020) zkoumající 15 mužů. Dále studie od Plews et al. (2012) zkoumala 1 ženu a 1 muže věnující se triatlonu, studie od Bellenger et al. (2016) zkoumala 22 mužů triatlonistů, studie od Le Meur et al. (2013) zkoumala 24 mužů triatlonistů. Další studie se zabývala běžci. Studie od Dupuy et al. (2013) se věnovala 11 mužskými vytrvalci. Studie od Nakamura et al. (2016) zkoumala 10 mužů hrajících futsal. Studie od Figueiredo et al. (2018) se věnovala měření u 16 fotbalistů. U studie od Winsley et al. (2005) nebyl uveden sport, pouze že se jedná o 20 aktivních žen.

U studií docházelo k různému trvání celého výzkumu. Nejdelší výzkum provedli autoři Tian et al. (2013), který trval tři roky. Studie od autorů Le Meur et al. (2013) trvala osm týdnů. Dále se již délky výzkumů pohybovaly podobně. Studie od Plews et al. (2012) trvala 77 dnů, studie od Nakamura et al. (2016) a Coates et al. (2018) trvaly 5 týdnů. Čtyři týdny trval výzkum autorů Figueiredo et al. (2018), studie od Bellenger et al. (2016) a Bellenger et al. (2020) trvaly 31 dnů. Výzkumy od Winsley et al. (2005) a Dupuy et al. (2013) trvaly tři týdny. U studie od Kajaia et al. (2017) nebyla uvedena délka trvání výzkumu.

Pokud se přesuneme blíže k VSF, zde nastávaly u autorů také značné odchylky v metodice měření. Lišila se denní doba měření VSF. Nejčastěji autoři měřili VSF ráno, a to konkrétně ve studiích od Winsley et al. (2005), Plews et al. (2012), Bellenger et al. (2016) a Le Meur et al. (2013). Studie od Bellenger et al. (2020) prováděla měření dvě – jedno po probuzení a druhé po zátěži. Studie od Nakamura et al. (2016) a Figueiredo et al. (2018) měřily VSF ráno, avšak až po příjezdu probandů do tréninkového centra, před prvním tréninkem dne. Přejezd probandů do jiného místa může ovlivňovat VSF. Studie od Coates et al. (2018) a od Kajaia et al. (2017) využívaly měření VSF během dne. Studie od Tian et al. (2013) se zaměřila na měření VSF večer mezi 19. až 22. hodinou a studie od Dupuy et al. (2013) se zabývala měřením VSF v noci. Studie od Dupuy et al. (2013) se také zabývala měřením 10 minut po zátěži.

Rozdílná byla i poloha měření a délka samostatného měření VSF. Pokud se zaměříme na polohu měření, pět studií uvedlo polohu vleže na zádech. Jednalo se o studie od Winsley et al. (2005), Tian et al. (2013), Figueiredo et al. (2018), Coates et al. (2018) a Plews et al. (2012). Bellenger et al. (2020) měřili VSF ráno po probuzení nejprve v poloze vestoje a následně po zátěži v poloze vsedě. Studie od Dupuy et al. (2013) hodnotila VSF ve spánku čili také v poloze vleže.

Dále dvě studie kombinovaly polohu vleže i vestoje, a to studie od Bellenger et al. (2016) a Le Meur et al. (2013). Studie od Kajaia et al. (2017) a Nakamura et al. (2016) měřily VSF v poloze vsedě. Nejčastěji používaná poloha u autorů těchto studií byla vleže na zádech.

Co se týče samostatného času měření RR intervalů, zde také docházelo k změnám. Nejdelší měření probíhalo u studie od Dupuy et al. (2013) a to po dobu 4 hodin během spánku v noci. Dále nejdelší měření ve dne probíhalo u studie od Winsley et al. (2005) a to bylo 10minutové měření. Dále studie od Le Meur et al. (2013) kombinovala 4 minuty měření v poloze vleže na zádech a 4 minuty v poloze vestoje čili dohromady 8 minut. Plews et al. (2012) využívali měření 5minutové, Bellenger et al. (2020) rovněž používali 5minutové měření, ale po zátěži. Tři minuty trvalo ranní měření. Tři minuty trvalo měření i u studie od Bellenger et al. (2016). U Nakamura et al. (2016) měření trvalo dvě minuty. Autoři Kajaia et al. (2017) a Tian et al. (2013) neposkytli informace o délce měření.

Autoři také využívali nejrůznějších ukazatelů VSF pro svá měření. Nejčastěji se ve studiích objevovala kombinace časových a frekvenčních ukazatelů, konkrétně u autorů Winsley et al. (2005), Tian et al. (2013), Kajaia et al. (2017), Le Meur et al. (2013) a Coates et al. (2018). Autoři Dupuy et al. (2013) řešili časový ukazatel SDNN a dále také nelineární ukazatele SD1 a SD2, vyjádřené pomocí Poincarého grafu. Autoři studií Bellenger et al. (2020), Plews et al. (2012), Bellenger et al. (2016), Nakamura et al. (2016) a Figueiredo et al. (2018) zkoumali časový ukazatel Ln rMSSD.

Lišilo se také zařízení, pomocí kterého autoři zaznamenávali RR intervaly. Nejčastěji se využívá zařízení od firmy Polar (Polar Electro Oy, Kempele, Finsko). Konkrétně u studií Winsley et al. (2005) Polar Vantage, u Dupuy et al. (2013) zařízení Polar S810 a u Plews et al. (2012), Bellenger et al. (2016) a Nakamura et al. (2016) zařízení Polar RS800CX. Autoři Bellenger et al. (2020) také využívali zařízení od firmy Polar, avšak blíže ho nespécifikovali. Všichni zmínění autoři, kteří využívali zařízení od společnosti Polar, nejčastěji používali program Polar ProTrainer 5. Autoři Bellenger et al. (2016, 2020), Nakamura et al. (2016), Winsley et al. (2005) používali kromě Polar ProTrainer 5 také program Kubios HRV Analysis (Kubios, Kuopio, Finsko). Dále se ve studiích vyskytovalo měření pomocí zařízení Suunto Memory Belt HR Monitor (Vantaa, Finsko), kterého využívali autoři Le Meur et al. (2013) a Figueiredo et al. (2018). První uvedený autor dále pro vyhodnocení používal systém Nevrokard HRV (Medistar, Ljubljana, Slovinsko) a druhý zmíněný autor opět systém Kubios HRV Analysis. Ve studii od Tian et al. (2013) bylo využito zařízení OmegaWave (OmegaWave Technologies, LLC, Portland, OR, USA), ve studii od Kajaia et al. (2017) byl použit Heart Rhythm Scanner Professional Edition (Biocom Technologies) a ve studii od Coates et al. (2018) SphygmoCor – CPVH (AtCor Medical Ltd, NSW, Austrálie).

Před tím, než se budeme zabývat výsledky studií popisující vlivy přetížení na VSF, si krátce zmíníme další ukazatele. Tyto ukazatele autoři používali pro detekci přetížení, pro doplnění měření VSF anebo popisovali korelaci mezi ukazateli a VSF. Autoři Tian et al. (2013) a Kajaia et al. (2017) se ve svých studiích zaměřili pouze na VSF. Další autoři se zabývali různými dotazníky či škálami. Mezi ně patří Likertova škála hodnotící na stupnici kvalitu spánku, únavu či bolest svalů (Plews et al., 2012), dále dotazníky RESTQ či POMS (Dupuy et al., 2013) nebo RPE (Nakamura et al., 2016; Le Meur et al., 2013). Autoři také prováděli u sportovců fyzické testy – zátěžový test (Winsley et al., 2005), čas běhu na 5 kilometrů (Bellenger et al., 2016, 2020), běžecký test (Le Meur et al., 2013) a Figueiredo et al. (2018) taktéž řešili změny výkonnosti v uběhnuté vzdálenosti za daný čas. Studie od Coates et al. (2018) a Winsley et al. (2005) řešili SF, maximální SF či HRR.

Dostáváme se k celkovým výsledkům studií. Celkem z 11 studií 9 potvrdilo výskyt změn ve VSF při přetížení. Dvě studie pozorovaly minimální změny či žádné. Ve studii od Nakamura et al. (2016) autoři neprokázali žádné významné změny v týdenní Ln rMSSD u skupiny při měření vsedě. Autoři upozorovali odchylky v Ln rMSSD u jednotlivců. Doporučují proto věnovat se tomuto ukazateli u jednotlivých sportovců. Autoři dále zjistili, že došlo ke snížení ukazatele Ln rMSSD CV v posledních dvou týdnech měření, ale nejednalo se o významné změny. Autoři dodávají, že nenalezli žádný vztah mezi velikostí tréninkových zatížení a VSF. Jako limity studie uvádí, že tréninkové zatížení bylo příliš nízké, aby významně ovlivnilo srdeční autonomní regulaci. (Nakamura et al., 2016) Jako další je studie od Coates et al. (2018), kde sice autoři pozorovali pokles klidové SF mezi fázemi 1 a 2, nicméně se neukázaly žádné rozdíly ve VSF, v žádném ukazateli. Měření probíhalo v poloze vleže. Autoři dokonce nepozorovali žádné změny mezi přetíženými sportovci a kontrolní skupinou. Autoři se zabývali i HRR, kde došlo ke snížení a také autoři ve stavu přetížení pozorovali snížení výkonnosti. Sice na závěr dodávají, že u přetížených sportovců nedošlo ke změnám VSF. Jako limitu studie uvádějí, že se jednalo o smíšenou skupinu mužů i žen a také to, že se nezabývali týdenními průměry VSF. U těch by se změny daly pozorovat.

Studie potvrzují změny VSF ve stádiu přetížení u sportovců. Winsley et al. (2005) uvádí, že přetížení mění VSF a to tak, že u přetížených sportovců dochází k převaze sympatiku. Autoři pozorovali změny hlavně při vyjádření v n.u., kde skupina aktivních přetížených žen vykazovala zvýšení LF a snížení HF. Měření probíhalo v poloze vleže. Skupina přetížených žen se sedavým způsobem života vykazovala nárůst LF a pokles HF během 1. a 2. týdne. Obě skupiny žen vykazaly vyšší poměr LF/HF, což ukazuje na zvýšenou sympatickou modulaci ve stádiu přetížení. Autoři se zabývali taktéž ukazateli časovými, kde nepozorovali žádné změny a měřili SF, kde taktéž nepozorovali změny. Nicméně i tak to značí, že změny ve VSF v průběhu přetížení se projeví

mnohem dříve než se stačí projevit na SF. (Winsley et al., 2005) Dále studie od Tian et al. (2013) zjistila, že stav přetížení koreloval s kolísáním parametrů VSF. U zápasnic došlo k významnému snížení rMSSD, SDNN, HF a vyššímu poměru LF/HF při měření v poloze vleže. Autoři tyto trendy pozorovali ve vzájemné korelaci se zvýšenou hladinou stresu ze soutěží či velkého množství tréninků. S tím souvisí i pokles fyzické výkonnosti. Autoři dodávají, že pozorované změny jsou jasným důkazem, že VSF a její změny mohou sloužit jako časné varování či identifikaci sportovce s FOR, potažmo NFOR. (Tian et al., 2013) Dále autoři Plews et al. (2011) uvádí, že u atleta s NFOR dochází ke snížení ukazatele Ln rMSSD při měření v poloze vleže. Tito autoři také tvrdí, že se jedná o mnohem citlivější ukazatel při detekci změn u NFOR, než je pouze klidová SF. Autoři Dupuy et al. (2013) poukazují, že při měření VSF po zátěži neshledali žádný vliv přetížení na VSF při měření v blíže nespecifikované poloze. Nicméně ale zaznamenali rozdíly v noční VSF, potažmo přímo ve SWS fázi spánku. V období přetížení došlo k nárůstu poměru LF/HF a významnému snížení ukazatele HF (n.u.). Autoři na závěr uvádí důležitost vybírání citlivých ukazatelů z důvodu, že srdeční autonomní kontrola není ovlivňována přetížením rovnoměrně. (Dupuy et al., 2013) Studie od Kajaia et al. (2017) pozorovala vyšší úroveň sympatické aktivity u sportovců s NFOR při měření v poloze vsedě. Konkrétně se jednalo o nižší průměrné RR, SDNN, rMSSD a pNN50 a dále zvýšení LF a poměru LF/HF. Tato studie zároveň sportovce s NFOR porovnávala i se sportovci s OTS. U sportovců s NFOR byla úroveň sympatické aktivity vyšší než u sportovců s OTS. (Kajaia et al., 2017) Autoři Figueiredo et al. (2018) měřili ukazatel Ln rMSSD v poloze vleže na zádech. Ukazatel Ln rMSSD byl nižší v případě fáze záměrného přetížení sportovce. Autoři opět upozorňují, že tento ukazatel by se měl používat na bázi individuální, nikoli pro hodnocení celých skupin. (Figueiredo et al., 2018)

Autoři Bellenger et al. (2020) došli k závěrům, že u atletů s FOR dochází ke zvýšení ukazatele Ln rMSSD v poloze vsedě i vestoje a dochází ke zvýšené vagové modulaci. Autoři zároveň dodávají, že se jedná o „paradox“, kde předchozí studie dochází k opačným závěrům. Stejně výsledky zaznamenala i studie od Bellenger et al. (2016). Autoři studie pozorovali zvýšení Ln rMSSD vleže i vestoje po dobu těžkého tréninku. Autoři zároveň dodávají, že vagálně zprostředkovaná VSF se zvýšila v reakci na FOR. To ukazuje na možnou vagovou hyperaktivitu u sportovců s FOR. (Bellenger et al., 2016, 2020) Vagovou modulaci potvrzují i autoři Le Meur et al. (2013). Ti došli k závěrům, že u sportovců s FOR dochází k poklesu klidových hodnot SF. To potvrdila dále i analýza VSF, kde došlo ke zvýšení ukazatele Ln rMSSD a Ln (LF + HF) v poloze vleže i vestoje a také Ln HF v poloze vestoje. Tyto parametry autoři uvádějí, že jsou brány jako odraz vagové modulace SF. Autoři dodávají, že se jednalo o hodnoty týdenního měření, nikoli o měření denních hodnot. (Le Meur et al., 2013)

U této části práce se setkáváme s více rozporuplnými výsledky než u vlivu únavy na VSF. Někteří autoři pozorovali posun SVB směrem k sympatiku, ale jiní pozorovali posun k vagu, a tudíž zvýšení celkové VSF. Proto je třeba také dalších ukazatelů, nikoli jen VSF. Autoři opět nejčastěji využívají subjektivní dotazníky týkající se únavy či bolesti svalů, popřípadě také vnímané únavy. Nicméně studie, které nezaznamenaly žádné změny ve VSF v reakci na přetížení, měřili VSF ve spánku, po zátěži nebo přes den. To potvrzuje, že měření VSF by mělo probíhat ráno po probuzení. Taktéž u těchto studií docházelo k umělému navození stavu přetížení. Nejčastější ukazatel byl opět Ln rMSSD.

Domníváme se, že na základě výsledků studií je VSF vhodná pro predikci a diagnostiku přetížení. Přetížení se projeví ve změnách naměřených hodnot VSF. Vhodné je měření ihned po probuzení a měřit v poloze vleže a poté vestoje. Dále doporučujeme využít další ukazatele, jako jsou subjektivní dotazníky o únavě a stavu sportovce.

Při sledování sportovce po delší časový úsek můžeme porovnávat týdenní hodnoty naměřených ukazatelů VSF. Pokud u sportovce dojde k funkčním změnám v organismu na základě počáteční fáze patologické únavy, všimneme si významné a delší změny ve VSF. Dojde ke snížení celkové VSF a toto snížení bude korelovat se subjektivními pocity sportovce. Sportovec se bude cítit unaven a nebude schopen podávat výkon. V tento moment je vhodné optimalizovat trénink, snížit intenzitu tréninků, aby se počáteční stav patologické únavy neprohloubil až ve vážnější stavy, jakým je OTS.

### 5.3 Vliv přetrénování na VSF

Přetrénování je vážný a nechtěný stav v životě sportovců. Vzniká při dlouhodobém potlačování únavy a taktéž se projeví změny ve VSF. V této části představíme studie zabývající se vlivem přetížení na VSF a zhodnotíme, zda je VSF vhodná pro detekci OTS.

**Tabulka 12**

*Souhrn výsledků k nalezeným studiím k části bakalářské práce „vliv přetrénování na VSF“*

Autor	Rok	Délka měření	Poloha	Výsledky
Baumert et al.	2006	30 minut	Vleže	↓rMSSD
Bosquet et al.	2003	Noc	Vleže	↔ LF, LF+HF, LF/HF
Mourot et al.	2004	10 minut	Vestoje	↓RR, rMSSD, SDNN, pNN50, PT, SD1, SD1n; ↑LF/HF
		10 minut	60 °	↑SDNN, PT ↔rMSSD, pNN50, PT, SD1, SD1n, LF
Kiviniemi et al.	2014	24 hodin		↔RR
Kajaia et al.	2017	-	Vsedě	↓RR, SDNN, rMSSD, pNN50; ↑LF, LF/HF
Hedelin et al.	2000	-	Vleže	↑HF, PT
			70 °	↓LF; ↔ LF (n.u.)
Hynynen et al.	2006	5 minut	Vleže	↓SDNN, LF, rMSSD, PT
		4 hodiny	Ve spánku	↔

*Poznámka.* ↑ zvýšení ukazatelů v reakci na daný jev; ↓ snížení ukazatelů v reakci na daný jev; ↔ nenalezeny žádné významné změny v ukazatelích; - parametr neuveden.

Pro část bakalářské práce „vliv přetížení na VSF“ bylo celkem analyzováno 7 studií. Napřed budou představeny jednotlivé změny v průběhu výzkumů a na závěr výsledky, ke kterým autoři došli.

Níže jsou uvedeny počty účastníků a dané sporty, kterým se probandi věnovali. Nejvíce účastníků bylo ve studii od Hynynen et al. (2000), celkem 12 sportovců věnujících se vytrvalostním sportům. Studie od Baumert et al. (2006) se zabývala 10 běžci nebo triatlonisty. Studie od Bosquet et al. (2003) a Kiviniemi et al. (2014) zkoumaly 9 účastníků. Bosquet et al. (2003) se věnovali běžcům a triatlonistům a autoři Kiviniemi et al. (2014) se věnovali triatlonistům, orientačním běžcům, běžcům na lyžích, biatlonistům a plavcům. Mourot et al.



(2004) zkoumali 7 vytrvalostních běžců, běžců na lyžích a motocyklistu. Studie od Kajaia et al. (2017) zkoumala celkem 6 sportovců s přetrénováním. Dva se věnovali fotbalu a čtyři wrestlingu. Nejmenší počet účastníků měli autoři Hedelin et al. (2000) a to jednoho běžce na lyžích.

Lišila se i délka celého výzkumu, přičemž nejdelší výzkum prováděli Kiviniemi et al. (2014) po dobu delší než 6 měsíců. Dále autoři Bosquet et al. (2003) prováděli výzkum po dobu 42 dnů, autoři Hynynen et al. (2006) po dobu 3-6 týdnů a Baumert et al. (2006) po dobu tří týdnů. U studií od Mourot et al. (2004), Kajaia et al. (2017) a Hedelin et al. (2000) nebyla uvedena délka výzkumu.

Co se týče konkrétněji VSF, lišila se i denní doba měření. Studie od Hynynen et al. (2006) měřila VSF ráno ihned po probuzení, poté v noci, a ještě v průběhu dne v laboratoři. Ranní VSF měřila také studie od Mourot et al. (2004), nicméně zde byl časový rozptyl mezi 9. až 12. hodinou ranní. Studie od Kajaia et al. (2017) měřila VSF přes den. Studie od Kiviniemi et al. (2014) probíhala po dobu 24 hodin a studie od Bosquet et al. (2003) měřila VSF v noci. U studií od Baumert et al. (2006) a Hedelin et al. (2000) nebyla zmíněna denní doba měření VSF.

Tři studie se věnovaly měření VSF v poloze vleže na zádech, konkrétně od Baumert et al. (2006), Bosquet et al. (2003) a Hynynen et al. (2006). Poslední zmíněná studie zkoumala i VSF v noci. Studie od Hedelin et al. (2000) a Mourot et al. (2004) kombinovala měření vleže na zádech a poté první zmíněná při náklonu do 70° a druhá zmíněná při náklonu do 60°. Studie od Kajaia et al. (2017) prováděla měření vsedě. Lišila se opět i délka měření VSF. Studie od Baumert et al. (2006) prováděla měření po dobu 30 minut, studie od Mourot et al. (2004) po dobu 20 minut a studie od Hynynen et al. (2006) po dobu 5 minut. Noční měření v této studii probíhalo po dobu 4 hodin. U studií od Bosquet et al. (2003), Kajaia et al. (2017) a Hedelin et al. (2000) nebyla uvedena doba měření.

Pokud se zaměříme na měřené ukazatele VSF, dvě studie se věnovaly pouze frekvenčním ukazatelům. Konkrétně se jednalo o studii od Hedelin et al. (2000), která se věnovala pouze frekvenčním ukazatelům LF, HF a PT a studii od Bosquet et al. (2003), která se věnovala ukazatelům LF, HF, LF+HF, LF/HF. Studie od Mourot et al. (2004) se věnovala kromě časových ukazatelů SDNN, rMSSD a pNN50 také nelineárními ukazateli SD1 a SD1n. Zbylé studie se věnovaly ukazatelům SDNN, rMSSD, pNN50, a průměrem RR, LF, HF, LF+HF, LF/HF, PT.

Autoři využívali nejrůznější zařízení. Studie od Baumert et al. (2006), Mourot et al. (2004), Kiviniemi et al. (2014) a Hedelin et al. (2000) využívaly zařízení EKG v laboratoři. Studie od Bosquet et al. (2014) a Hynynen et al. (2000) využívala blíže nespecifikované zařízení Polar (Polar Electro Oy, Kempele, Finsko). Studie od Kajaia et al. (2017) využívala Heart Rhythm Scanner Professional Edition (Biocom Technologies).

Studie se také věnovaly dalším ukazatelům, které by mohly být prospěšné pro diagnostiku, popřípadě prevenci přetrénování v kombinaci s VSF. Studie od Bosquet et al. (2003), Kajaia et al. (2017) a Hedelin et al. (2000) se věnovaly i změnám v SF, popřípadě klidové SF. Kromě SF studie od Bosquet et al. (2003) doporučuje vedení tréninkového deníku a měření stavu únavy u sportovců pomocí dotazníku QSFMS. Studie od Hedelin et al. (2000) se věnovala také zkoumání moči, konkrétně hladiny hormonu lutropinu. Moči se zabývali také ve studii od Hynynen et al. (2006) a zde byla bodem zájmu hladina kortizolu. Ve studii od Baumert et al. (2006) zkoumali krevní tlak a citlivost baroreflexu a ve studii od Kiviniemi et al. (2014) prováděli taktéž zátěžové testy.

Pokud se zaměříme na výsledky, ke kterým jednotliví autoři došli, i zde nacházíme rozporuplné závěry. Studie od Bosquet et al. (2003) nepřinesla žádné významné změny ve vztahu VSF a přetrénování. Autoři uvádí, že sice VSF nepřináší žádné změny, ale stav přetrénování se může projevat v poklesu hladiny laktátu, velkému nárůstu únavy a také samozřejmě poklesu výkonnosti a nerovnováhy v psychickém zdraví a stavu nálad. Autoři jako příčinu nezjištění korelace mezi VSF a přetrénováním uvádí fakt, že se jednalo o umělé navození stavu přetrénování. (Bosquet et al., 2003) Studie od Kiviniemi et al. (2014) taktéž nezaznamenala žádné významné změny ve VSF v 24hodinovém měření u sportovců s OTS.

Baumert et al. (2000) ve své studii uvádí, že nepozorovali žádné změny v ukazateli SDNN, nicméně došlo ke změnám ukazatele rMSSD – konkrétněji k redukci u sportovců s OTS. SA VSF nepřinesla žádné významné změny v pásmech LF a HF. Měření probíhalo v poloze vleže. Autoři jako limity studie uvádí, že je vhodné měřit přímo vztahy mezi fyzickou výkonností, autonomní kontrolou a krevními ukazateli u vyššího množství probandů. V této studii navíc měřili muže i ženy dohromady. Studie od Kajaia et al. (2017) došla k závěrům, že srdeční autonomní nerovnováha u přetrénovaných sportovců významně koreluje se změnami v celkové VSF. Konkrétně se jednalo o snížení ukazatelů rMSSD, pNN50, SDNN, délky RR intervalů, SF a dále zvýšení LF a poměru LF/H. Měření probíhalo v poloze vsedě. Výsledky naznačují, že u sportovců s přetrénováním dochází k nízké celkové VSF a nízkému vagovému vlivu. Hynynen et al. (2006) došli k závěru, že srdeční autonomní modulace byla narušena u přetrénovaných sportovců po probuzení, ale nikoli na základě nočního měření. Docházelo k významnému snížení SDNN a LF. Autoři pozorovali také snížení ukazatele rMSSD a PT. Měření probíhalo v poloze vleže na zádech. U přetrénovaných sportovců tedy podle výše zmíněných autorů dochází posunu SVB směrem k sympatiku.

Ve studii od Mourrot et al. (2004) autoři zjistili, že u přetrénovaných osob došlo při měření v poloze vestoje k významně nižším hodnotám délky RR intervalů a ukazatelů SDNN, rMSSD, pNN50, PT, HF, SD1 a SD1n. Poměr LF/HF byl nejvyšší u přetrénovaných osob v porovnání

s trénovanými atlety a kontrolní skupinou. Při měření v 60° poloze u přetrénovaných sportovců byly zjištěny vyšší hodnoty ukazatelů SDNN a PT v porovnání s trénovanými sportovci a kontrolní skupinou. Ukazatele rMSSD, pNN50, HF, SD1 a SD1n se významně snížily u trénovaných atletů a kontrolní skupiny, ale nedošlo ke snížení u přetrénovaných sportovců.

Studie od Hedelin et al. (2000) došla k závěrům, že ve stavu OT pozorovali zvýšení výkonu HF a snížení LF v poloze v náklonu. Nejzřetelněji se projevovala vysoká HF v poloze vleže na zádech. Autoři také zjistili zvýšení PT v poloze vleže. U tohoto sportovce trpícího OT docházelo k významné vagové modulaci. Docházelo také ke snížení klidové SF.

Změny ve VSF při OTS jsou taktéž rozporuplné. Je složité změřit změny ve VSF u přetrénovaných sportovců, jelikož často nemáme k dispozici záznamy před vznikem tohoto patologického stavu. To znemožňuje porovnání, proto je vhodné sportovce měřit po delší časový úsek. Žádné změny v ukazatelích VSF nezaznamenali autoři při měření v noci a taktéž při měření 24hodinové VSF, proto měření v noci nepovažujeme za vhodné. Nejvhodnější se jeví opět měření ráno po probuzení v poloze vleže a vestoje. Nejčastěji využívanými ukazateli byl rMSSD, popřípadě Ln rMSSD. Ve stavu OTS docházelo ke snížení těchto ukazatelů. Jedna studie prokázala posun SVB směrem k vagu, což značí rozsáhlou autonomní nerovnováhu s rozsáhlými poruchami.

Domníváme se, že VSF může být vhodným ukazatelem pro predikci přetrénování, nicméně jako nejdůležitější aspekt zůstává dlouhodobé snížení výkonnosti, nemožnost trénovat a podávat výkony a rozsáhlé poruchy nálad. Kromě měření VSF doporučujeme využívat subjektivní dotazníky a měřítko, které odhalují subjektivní pocity sportovců. Taktéž je důležité, stejně jako u měření VSF ve stavu únavy a přetížení, pozorovat sportovce po delší dobu, což nám umožní komplexnější pohled na stav sportovce.

## 5.4 Limity studií

Autoři některých studií sice neobjevili žádné významné změny u ukazatelů VSF vzhledem k únavě, přetížení či přetrénování, nicméně bychom stále měli brát v potaz rozdílnou metodiku autorů. Postupy se u autorů lišily nejen v poloze měření, ale také i denní době nebo celkových podmínkách měření. Někteří autoři se snažili podmínky těchto stavů u sportovců vyvolat uměle. Lišily se také skupiny sportovců, někteří autoři měřili zároveň muže i ženy dohromady, což také mohlo vést k ovlivnění výsledků, jelikož u žen se vyskytuje obecně vyšší celková VSF. U týmových sportů se autoři nevěnovali jednotlivcům, ale skupině jako celku, což mohlo zkreslit výsledky. Všechny tyto zmíněné rozdílnosti v měření mohly dané výsledky studií ovlivnit. Kombinace

měření VSF a subjektivních dotazníků, týkajících se aktuálních stavů a únavy, se jeví jako ideální kombinace pro diagnostiku fyziologické i patologické únavy.

## **5.5 Praktická doporučení**

VSF je ukazatel, který velmi citlivě a specificky reaguje i na malé změny v organismu. Změny ve VSF se objeví mnohem dříve, než se stihnou projevit u SF, což považujeme za výhodu tohoto měření. Na základě prokázaných změn ve VSF ve stavu fyziologické a patologické únavy se dá tento ukazatel považovat za spolehlivý v rámci předcházení těchto jevů. Nejčastěji se setkáváme s ukazatelem rMSSD. Nicméně měření VSF by se mělo kombinovat s dotazníky hodnotící subjektivní pocity sportovců. Taktéž by se měly hodnotit změny v týdenním průměru VSF, nikoli hodnocení každodenních změn. Je vhodné měřit VSF po delší časový úsek v tréninkovém procesu sportovce. V týmových sportech je nutné zabývat se sportovci zvlášť, nikoli hodnotit změny v ukazatelích ve skupině jako celku.

## 6 ZÁVĚRY

Závěrem lze konstatovat, že po analyzování dostupných studií týkajících se změn VSF ve vztahu k únavě, přetížení a přetrénování můžeme dojít k tvrzení, že zmíněné stavy významně ovlivňují VSF. Pokud se zaměříme na jednotlivé části, tak u únavy autoři došli k nejzřetelnějším výsledkům. Únava ve sportu nejenže snižuje výkonnost, ale na úrovni SVB dochází k posunu směrem k sympatiku. V části práce týkající se vlivu přetížení na VSF docházelo k více rozporuplným výsledkům. Někteří autoři nezaznamenali žádné významné změny v ukazatelích VSF, ale nejvíce autorů zaznamenalo významný posun SVB směrem k sympatiku. Ale autoři dvou studií došli k závěru, že přetížení u sportovců vyvolává posun směrem k vagu. Na totéž přišla dále i jedna studie v části vlivu přetrénování na VSF. Zbylé studie potvrdily dominanci sympatiku ve stádiu přetrénování.

## 7 SOUHRN

Hlavním cílem této práce bylo zmapovat literární prameny zabývající se odezvou autonomní kardiální regulace a výkonnosti ke vztahu k fyziologické a patologické únavě. V první části práce byly představeny poznatky o sportovním tréninku, výkonu, výkonnosti, základní poznatky o fungování kardiovaskulární soustavy, nervové soustavy a autonomního nervového systému. Byla představena únava, její jednotlivé druhy a příznaky. Dále také variabilita srdeční frekvence a její měření, ukazatele a význam. Byly zmíněny možné dopady fyziologické a patologické únavy na výkonnost a VSF a také jak únava, přetížení a přetrénování ovlivňují výkonnost.

Druhá část této práce se zabývala odbornými studiemi. Vyhledávání probíhalo pomocí databází Web of Science a PubMed. Celkem bylo vybráno 25 studií. Sedm studií se zabývalo vlivem únavy na VSF, jedenáct studií vlivem přetížení na VSF a sedm studií vlivem na přetrénování. Nejčastěji se u všech studií vyskytoval ukazatel rMSSD, popřípadě Ln rMSSD. To ukazuje na velikou oblíbenost tohoto ukazatele.

Výsledky dochází k tomu, že fyziologická únava, jakožto běžný děj v životě nejen sportovců, významně ovlivňuje VSF a její ukazatele. Nejčastěji se objevovalo snížení rMSSD, ale dále také zvýšení HF, snížení LF a PT a nárůstu LF/HF. Významné byly taktéž změny ve VSF u sportovců s přetížením nebo přetrénováním, nicméně zde se výsledky studií lišily více než u vlivu únavy VSF. U přetížených a přetrénovaných sportovců dochází ke snížení aktivity vagu a zvýšení aktivity sympatiku. Některé studie poukazují naopak na silnou vagovou modulaci. Ta se v analyzovaných studiích vyznačovala zvýšením ukazatele rMSSD, snížení klidové SF, popřípadě zvýšením výkonu v pásmu HF. V tomto případě se jedná tedy o pokročilejší a více závažné patologické stavy, nikoli o pozitivní adaptaci sportovce. Proto shledáváme důležité komplexnější monitorování sportovců po delší časový úsek, jelikož stav přetrénování není jev, který se objeví ze dne na den.

Trenéři by měli využívat i další ukazatele, jelikož ani analýza VSF nemusí vždy odhalit dané změny ihned, a to zvláště při patologických stavech. Měření VSF se nejčastěji kombinuje se subjektivními dotazníky hodnotící únavu, ale také změny nálad, svalovou bolest a kvalitu spánku. Trenéři by měli být empatičtí ke svým svěřencům a brát v potaz veškeré jejich pocity. Naopak samotní sportovci by neměli potlačovat příznaky nejen únavy, ale i různých psychických stavů a změn.

## 8 SUMMARY

The main aim of this bachelor thesis was to map the literature on autonomic cardiac regulation and performance responses to physiological and pathological fatigue. In the first part of the thesis, the findings on athletic training, performance, and basic knowledge of the functioning of the cardiovascular system, the nervous system, and the autonomic nervous system were presented. Fatigue, its different types and symptoms were presented. Also, heart rate variability (HRV) and its measurement, indicators and significance. The possible effects of physiological and pathological fatigue on performance and HRV were discussed, as well as how fatigue, overreaching and overtraining affect performance.

The second part of this thesis dealt with peer-reviewed studies. The search was conducted using the Web of Science and PubMed databases. A total of 25 studies were selected. Seven studies dealt with the effect of fatigue on HRV, eleven studies dealt with the effect of overreaching on HRV and seven studies dealt with the effect of overtraining on HRV. The most frequent parameter in all studies was rMSSD or Ln rMSSD. This indicates the popularity of this indicator.

The results conclude that physiological fatigue, as a common event in the life of not only athletes, significantly affects HRV and its indicators. Decrease in rMSSD was the most common, but also increase in HF, decrease in LF and PT and increase in LF/HF. Changes in HRV in athletes with overreaching or overtraining were also significant, but here the results of the studies differed more than for the effect of fatigue on HRV. In overreached and overtrained athletes there is a decrease in vagal activity and an increase in sympathetic activity. In contrast, some studies point to a strong vagal modulation. The latter was characterized in the analyzed studies by an increase in the rMSSD, a decrease in resting HR, or an increase in HF power. Thus, in this case, more advanced and more severe pathologies are involved, not a positive adaptation of the athlete. Therefore, we find it important to monitor athletes more comprehensively over a longer period of time, as the overtraining state is not a phenomenon that appears overnight.

Coaches should also use other indicators, as even HRV analysis may not always detect given changes immediately, especially in pathological conditions. HRV measurements are most often combined with subjective questionnaires assessing fatigue, but also mood changes, muscle soreness or sleep quality. Trainers should be empathetic to their charges and take into account all their feelings. Conversely, the athletes themselves should not suppress symptoms not only of fatigue but also of various psychological conditions and changes.

## 9 REFERENČNÍ SEZNAM

- Abad, C., Kobal, R., Kitamura, K., Gil, S., Pereira, L., Loturco, I., & Nakamura, F. (2017). Heart rate variability in elite sprinters: effects of gender and body position. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 37(4), 442-447.
- Acharya, U. R., Paul Joseph, K., Kannathal, N., Lim, C. M., & Suri, J. S. (2006). Heart rate variability: a review. *Medical and Biological Engineering and Computing*, 44, 1031-1051.
- Aras, D., Karakoc, B., Koz, M., & Bizati, O. (2017). The effects of active recovery and carbohydrate intake on HRV during 48 hours in athletes after a vigorous-intensity physical activity. *Science & Sports*, 32(5), 295-302.
- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports Medicine*, 33, 889-919.
- Banach, T., Zoładź, J. A., Kolasińska-Kloch, W., Szyguła, Z., & Thor, P. J. (2000). The effect of aging on the activity of the autonomic nervous system in long distance runners. *Folia Medica Cracoviensia*, 41(3-4), 113-120.
- Barragán, R., González-Mohíno, F., Veiga, S., & Santos-García, D. J. (2023). Effects of 8-week of training on heart rate variability, overtraining state and performance in international young swimmers. *Science & Sports*, 38(4), 362-369.
- Barreto, G. S. C., Vanderlei, F. M., Vanderlei, L. C. M., & Leite, Á. J. M. (2016). Impact of malnutrition on cardiac autonomic modulation in children. *Jornal de Pediatria*, 92, 638-644.
- 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*, 16(5), 412-417.
- Bellenger, C. R., Fuller, J. T., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2016). Monitoring athletic training status through autonomic heart rate regulation: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46, 1461-1486.
- Bellenger, C. R., Thomson, R. L., Davison, K., Robertson, E. Y., & Buckley, J. D. (2021). The impact of functional overreaching on post-exercise parasympathetic reactivation in runners. *Frontiers in Physiology*, 11, 614765.
- Benson, R., & Connolly, D. (2012). *Trénink podle srdeční frekvence: jak zvýšit kondici, vytrvalost, laktátový práh, výkon*. Grada.
- Bernaciková, M., Hrnčířiková, I., Cacek, J., & Dovrtělová, L. (2020). *Regenerace a výživa ve sportu*. Masarykova univerzita.



- Bernaciková, M., Mazúr, J., Sebera, M., & Hedbávný, P. (2020). Monitoring Heart Rate Variability As A Biomarker Of Fatigue In Young Athletes. *Sport and Quality of Life* 7.–9. 11. 2019, 167.
- Bootsma, M., Swenne, C. A., Van Bolhuis, H. H., Chang, P. C., Cats, V. M., & Brusckhe, A. V. (1994). Heart rate and heart rate variability as indexes of sympathovagal balance. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 266(4), H1565-H1571.
- Bosquet, L., Merkari, S., Arvisais, D., & Aubert, A. E. (2008). Is heart rate a convenient tool to monitor over-reaching? A systematic review of the literature. *British Journal of Sports Medicine*, 42(9), 709-714.
- Bosquet, L., Papelier, Y., Leger, L., & Legros, P. (2003). Night heart rate variability during overtraining in male endurance athletes. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(4), 506.
- Botek, M., Krejčí, J., & McKune, A. J. (2017). *Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: historie, současnost a perspektiva*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Botek, M., Neuls, F., Klimešová, I., & Vyhnánek, J. (2017). *Fyziologie pro tělovýchovné obory (vybrané kapitoly)*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Botek, M., Stejskal, P., Krejčí, J., Jakubec, A., & Gába, A. (2008). DETERMINATION OF THE VAGAL THRESHOLD AND CHANGES OF IT'S USING. *Acta Universitatis Palackianae Olomucensis. Gymnica*, 38(2).
- Botek, M., Stejskal, P., Jakubec, A., Kalina, M. (2004). Kvantifikace aktivity autonomního nervového systému v zotavení s možností monitorování procesu superkompenzace metodou spektrální analýzy variability srdeční frekvence. In Salinger, J. (Eds.). *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi: IV. odborný seminář s mezinárodní účastí, Fakulta tělesné kultury, Univerzita Palackého v Olomouci, Česká republika, Olomouc 8.11.2003: sborník článků a abstrakt*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Boudoulas, K. D., Paraskevidis, I. A., Boudoulas, H., & Triposkiadis, F. K. (2014). The left atrium: from the research laboratory to the clinic. *Cardiology*, 129(1), 1-17.
- Bourdillon, N., Schmitt, L., Yazdani, S., Vesin, J. M., & Millet, G. P. (2017). Minimal window duration for accurate HRV recording in athletes. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 456.
- Bourdillon, N., Yazdani, S., Nilchian, M., Mariano, A., Vesin, J. M., & Millet, G. P. (2018). Overload blunts baroreflex only in overreached athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(9), 941-949.
- Brunier, G., & Graydon, J. (1996). A comparison of two methods of measuring fatigue in patients on chronic haemodialysis: visual analogue vs Likert scale. *International Journal of Nursing Studies*, 33(3), 338-348.

- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 71297.
- Carrasco-Poyatos, M., González-Quílez, A., Martínez-González-Moro, I., & Granero-Gallegos, A. (2020). HRV-guided training for professional endurance athletes: A protocol for a cluster-randomized controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15), 5465.
- Catai, A. M., Pastre, C. M., de Godoy, M. F., da Silva, E., de Medeiros Takahashi, A. C., & Vanderlei, L. C. M. (2020). Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation checklist of procedures. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 24(2), 91-102.
- Coates, A. M., Hammond, S., & Burr, J. F. (2018). Investigating the use of pre-training measures of autonomic regulation for assessing functional overreaching in endurance athletes. *European Journal of Sport Science*, 18(7), 965-974.
- Coutts, A. J., Wallace, L. K., & Slattery, K. M. (2006). Monitoring changes in performance, physiology, biochemistry, and psychology during overreaching and recovery in triathletes. *International Journal of Sports Medicine*, 125-134.
- Cygankiewicz, I., & Zareba, W. (2013) Heart rate variability. In Aminoff et al. (Eds.) *Autonomic nervous system*. Elsevier.
- da Silva, V. P., de Oliveira, N. A., Silveira, H., Mello, R. G. T., & Deslandes, A. C. (2015). Heart rate variability indexes as a marker of chronic adaptation in athletes: a systematic review. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 20(2), 108-118.
- Dekker, J. M., Crow, R. S., Folsom, A. R., Hannan, P. J., Liao, D., Swenne, C. A., & Schouten, E. G. (2000). Low heart rate variability in a 2-minute rhythm strip predicts risk of coronary heart disease and mortality from several causes: the ARIC Study. *Circulation*, 102(11), 1239-1244.
- Djaoui, L., Haddad, M., Chamari, K., & Dellal, A. (2017). Monitoring training load and fatigue in soccer players with physiological markers. *Physiology & Behavior*, 181, 86-94.
- Dobiáš, V., & Bulíková, T. (2013). *Klinická propedeutika v urgentnej medicíne*. Grada.
- Dong, J. G. (2016). The role of heart rate variability in sports physiology. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 11(5), 1531-1536.
- Dupuy, O., Bherer, L., Audiffren, M., & Bosquet, L. (2013). Night and postexercise cardiac autonomic control in functional overreaching. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 38(2), 200-208.
- Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie*. Grada.
- Dylevský, I. (2019). *Somatologie: pro předmět Základy anatomie a fyziologie člověka, 3., přepracované a doplněné vydání*. Grada.

- Edwards, T., Spiteri, T., Piggott, B., Bonhotal, J., Haff, G. G., & Joyce, C. (2018). Monitoring and managing fatigue in basketball. *Sports*, 6(1), 19.
- Ernst, G. (2014). *Heart rate variability*. Springer.
- Fiala, P., Valenta, J., & Eberlová, L. (2015). *Stručná anatomie člověka*. Univerzita Karlova v Praze, Karolinum.
- Figueiredo, D. H., Figueiredo, D. H., Moreira, A., Goncalves, H. R., & Stanganelli, L. C. (2019). Effect of overload and tapering on individual heart rate variability, stress tolerance, and intermittent running performance in soccer players during a preseason. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(5), 1222-1231.
- Flatt, A. A., & Howells, D. (2019). Effects of varying training load on heart rate variability and running performance among an Olympic rugby sevens team. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(2), 222-226.
- Flatt, A. A., Esco, M. R., & Nakamura, F. Y. (2018). Association between subjective indicators of recovery status and heart rate variability among division-1 sprint-swimmers. *Sports*, 6(3), 93.
- Flatt, A. A., Hornikel, B., & Esco, M. R. (2017). Heart rate variability and psychometric responses to overload and tapering in collegiate sprint-swimmers. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(6), 606-610.
- Freeman, J. V., Dewey, F. E., Hadley, D. M., Myers, J., & Froelicher, V. F. (2006). Autonomic nervous system interaction with the cardiovascular system during exercise. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 48(5), 342-362.
- Fullagar, H. H., Skorski, S., Duffield, R., Hammes, D., Coutts, A. J., & Meyer, T. (2015). Sleep and athletic performance: the effects of sleep loss on exercise performance, and physiological and cognitive responses to exercise. *Sports Medicine*, 45(2), 161-186.
- Fusco, A., Sustercich, W., Edgerton, K., Cortis, C., Jaime, S. J., Mikat, R. P., ... & Foster, C. (2020). Effect of progressive fatigue on session RPE. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 5(1), 15.
- Garet, M., Tournaire, N., Roche, F., Laurent, R., Lacour, J. R., Barthélémy, J. C., & Pichot, V. (2004). Individual interdependence between nocturnal ANS activity and performance in swimmers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(12), 2112-2118.
- Granero-Gallegos, A., González-Quílez, A., Plews, D., & Carrasco-Poyatos, M. (2020). HRV-based training for improving VO2max in endurance athletes. A systematic review with meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(21), 7999.

- Grant, C. C., & Janse Van Rensburg, D. C. (2008). The effect of different types of sports on resting heart rate variability and autonomic nervous system balance: sports science. *African Journal for Physical Health Education, Recreation and Dance*, 14(3), 326-336.
- Grässler, B., Thielmann, B., Böckelmann, I., & Hökelmann, A. (2021). Effects of different exercise interventions on heart rate variability and cardiovascular health factors in older adults: a systematic review. *European Review of Aging and Physical Activity*, 18, 1-21.
- Gutin, B., Howe, C., Johnson, M. H., Humphries, M. C., Snieder, H., & Barbeau, P. (2005). Heart rate variability in adolescents: relations to physical activity, fitness, and adiposity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11), 1856-1863.
- Halson, S. L., & Jeukendrup, A. E. (2004). Does overtraining exist? An analysis of overreaching and overtraining research. *Sports Medicine*, 34, 967-981..
- Havlíčková, L. (1991). *Fyziologie tělesné zátěže. [Díl] 1, Obecná část*. Karolinum.
- Hayano, J., & Yuda, E. (2021). Assessment of autonomic function by long-term heart rate variability: Beyond the classical framework of LF and HF measurements. *Journal of Physiological Anthropology*, 40(1), 21.
- Hedelin, R., Wiklund, U., Bjerle, P., & Henriksson-Larsén, K. (2000). Cardiac autonomic imbalance in an overtrained athlete. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(9), 1531-1533.
- Heinc, P. (2006). Vyšetřování srdeční stability. *Kardiologická Revue*, 8 (4).
- Hošková, B., Majorová, S., & Nováková, P. (2015). *Masáž a regenerace ve sportu (2. vydání)*. Univerzita Karlova v Praze, Karolinum.
- Hottenrott, K., Hoos, O., & Esperer, H. D. (2006). Herzfrequenzvariabilität und sport. *Herz*, 31(6), 544-552.
- Hynynen, E. S. A., Uusitalo, A., Konttinen, N., & Rusko, H. (2006). Heart rate variability during night sleep and after awakening in overtrained athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(2), 313-317.
- Chen, Y., Liu, M., Zhou, J., Bao, D., Li, B., & Zhou, J. (2023). Acute Effects of Fatigue on Cardiac Autonomic Nervous Activity. *Journal of Sports Science & Medicine*, 22(4), 806.
- Chu Duc, H., Nguyen Phan, K., & Nguyen Viet, D. (2013). A review of heart rate variability and its applications. *APCBEE Procedia*, 7, 80-85.
- Iizuka, T., Ohiwa, N., Atomi, T., Shimizu, M., & Atomi, Y. (2020). Morning heart rate variability as an indication of fatigue status in badminton players during a training camp. *Sports*, 8(11), 147.
- Javaloyes, A., Sarabia, J. M., Lamberts, R. P., Plews, D., & Moya-Ramon, M. (2020). Training prescription guided by heart rate variability vs. block periodization in well-trained cyclists. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(6), 1511-1518.

- Javorka, K. (2008). *Variabilita frekvencie srdca: mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Osveta.
- Jensen, M. P., Molton, I. R., Groah, S. L., Campbell, M. L., Charlifue, S., Chiodo, A., ... & Tate, D. (2012). Secondary health conditions in individuals aging with SCI: terminology, concepts and analytic approaches. *Spinal Cord*, 50(5), 373-378.
- Kajaia, T., Maskhulia, L., Chelidze, K., Akhalkatsi, V., & Kakhabrishvili, Z. (2017). The effects of non-functional overreaching and overtraining on autonomic nervous system function in highly trained Georgian athletes. *Georgian Medical News*, 3(264), 97-101.
- Kim, H. G., Cheon, E. J., Bai, D. S., Lee, Y. H., & Koo, B. H. (2018). Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature. *Psychiatry Investigation*, 15(3), 235.
- Kiviniemi, A. M., Tulppo, M. P., Hautala, A. J., Vanninen, E., & Uusitalo, A. L. T. (2014). Altered relationship between R-R interval and R-R interval variability in endurance athletes with overtraining syndrome. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(2), e77-e85.
- Kleiger, R. E., Stein, P. K., & Bigger Jr, J. T. (2005). Heart rate variability: measurement and clinical utility. *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 10(1), 88-101.
- Koenig, J., Jarczok, M. N., Wasner, M., Hillecke, T. K., & Thayer, J. F. (2014). Heart rate variability and swimming. *Sports Medicine*, 44, 1377-1391.
- Kreher, J. B., & Schwartz, J. B. (2012). Overtraining syndrome: a practical guide. *Sports Health*, 4(2), 128-138.
- Kučera, D. (2013). *Moderní psychologie: hlavní obory a témata současné psychologické vědy*. Grada.
- Le Meur, Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., ... & Hauswirth, C. (2013). Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45(11), 2061-71.
- Lehnert, M., Novosad, J., & Neuls, F. (2001). *Základy sportovního tréninku I*. Hanex.
- Li, K., Rüdiger, H., & Ziemssen, T. (2019). Spectral analysis of heart rate variability: time window matters. *Frontiers in Neurology*, 10, 426305.
- Lu, K., Dahlman, A. S., Karlsson, J., & Candefjord, S. (2022). Detecting driver fatigue using heart rate variability: A systematic review. *Accident Analysis & Prevention*, 178, 106830.
- Lundstrom, C. J., Biltz, G. R., Uithoven, K. E., & Snyder, E. M. (2023). Effects of marathon training on heart rate variability during submaximal running: a comparison of analysis techniques. *Sport Sciences for Health*, 1-8.
- Máček, M., Máčková, J., & Radvanský, J. (2003). Syndrom přetrénování. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca*, 12(1), 1-13.

- Máček, M., Radvanský, J., Brůnová, B., Daďová, K., Fajstavr, J., & Kolář, P. (2011). *Fyziologie a klinické aspekty pohybové aktivity*. Galén.
- Mandal, A., & Kadyan, G. (2021). To Assess and Correlate Cardiorespiratory Adaptations in Endurance-Trained Cyclist and Recreational Cyclist. *International Journal of Physiotherapy and Research*, 9(6), 4058-65.
- Manresa-Rocamora, A., Sarabia, J. M., Javaloyes, A., Flatt, A. A., & Moya-Ramon, M. (2021). Heart rate variability-guided training for enhancing cardiac-vagal modulation, aerobic fitness, and endurance performance: A methodological systematic review with meta-analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(19), 10299.
- McCorry, L. K. (2007). Physiology of the autonomic nervous system. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 71(4).
- McGuigan, M. (2017). *Monitoring training and performance in athletes*. Human Kinetics
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., ... & Urhausen, A. (2013). Prevention, diagnosis and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science (ECSS) and the American College of Sports Medicine (ACSM). *European Journal of Sport Science*, 13(1), 1-24.
- Meeusen, R., Nederhof, E., Buyse, L., Roelands, B., De Schutter, G., & Piacentini, M. F. (2010). Diagnosing overtraining in athletes using the two-bout exercise protocol. *British Journal of Sports Medicine*, 44(9), 642-648.
- Merkunová, A., & Orel, M. (2008). *Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory*. Grada.
- Mishica, C., Kyröläinen, H., Hynynen, E., Nummela, A., Holmberg, H. C., & Linnamo, V. (2021). Relationships between heart rate variability, sleep duration, cortisol and physical training in young athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 20(4), 778.
- Mongin, D., Chabert, C., Extremera, M. G., Hue, O., Courvoisier, D. S., Carpena, P., & Galvan, P. A. B. (2022). Decrease of heart rate variability during exercise: An index of cardiorespiratory fitness. *PLOS One*, 17(9), e0273981.
- Montano, N., Ruscone, T. G., Porta, A., Lombardi, F., Pagani, M., & Malliani, A. (1994). Power spectrum analysis of heart rate variability to assess the changes in sympathovagal balance during graded orthostatic tilt. *Circulation*, 90(4), 1826-1831.
- Moore, J. (2021). *Normative HRV scores by age and gender (Heart Rate Variability chart)*. Dostupné z: <https://elitehrv.com/normal-heart-rate-variability-age-gender>
- Moya-Ramon, M., Mateo-March, M., Peña-González, I., Zabala, M., & Javaloyes, A. (2022). Validity and reliability of different smartphones applications to measure HRV during short

- and ultra-short measurements in elite athletes. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 217, 106696.
- Murgia, F., Melotti, R., Foco, L., Gögele, M., Meraviglia, V., Motta, B., ... & Pattaro, C. (2019). Effects of smoking status, history and intensity on heart rate variability in the general population: The CHRIS study. *PLOS One*, 14(4), e0215053.
- MySASY. (n.d). *Variabilita srdeční frekvence*. Dostupné z <https://www.mysasy.com/variabilita-srdecni-frekvence>
- Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Rabelo, F. N., Flatt, A. A., Esco, M. R., Bertollo, M., & Loturco, I. (2016). Monitoring weekly heart rate variability in futsal players during the preseason: the importance of maintaining high vagal activity. *Journal of Sports Sciences*, 34(24), 2262-2268.
- Nečas, E. (2021). *Obecná patologická fyziologie*. Univerzita Karlova v Praze, Karolinum.
- Neumann, G., Pfützner, A., & Hottenrott, K. (2005). *Trénink pod kontrolou: metody, kontrola a vyhodnocení vytrvalostního tréninku*. Grada.
- Ni, Z., Sun, F., & Li, Y. (2022). Heart Rate Variability-Based Subjective Physical Fatigue Assessment. *Sensors*, 22(9), 3199.
- Nováková, I. (2011). *Zdravotní nauka 1. díl: Učebnice pro obor sociální činnost*. Grada.
- Nuutila, O. P., Nikander, A., Polomoshnov, D., Laukkanen, J. A., & Häkkinen, K. (2017). Effects of HRV-guided vs. predetermined block training on performance, HRV and serum hormones. *International Journal of Sports Medicine*, 38(12), 909-920.
- Olišák, S. (2004). Skúsenosti a možnosti využitia variability srdcovej frekvencie vo vrcholovom športe. In Salinger, J. (Eds.). *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicínských oborech – od teorie ke klinické praxi: IV. odborný seminář s mezinárodní účastí, Fakulta tělesné kultury, Univerzita Palackého v Olomouci, Česká republika, Olomouc 8.11.2003: sborník článků a abstrakt*. Univerzita Palackého.
- Opavský, J. (2002). *Autonomní nervový systém a diabetická autonomní neuropatie: klinické aspekty a diagnostika*. Galén.
- Orel, M. (2019). *Anatomie a fyziologie lidského těla: pro humanitní obory*. Grada.
- Orsila, R., Virtanen, M., Luukkaala, T., Tarvainen, M., Karjalainen, P., Viik, J., ... & Nygård, C. H. (2008). Perceived mental stress and reactions in heart rate variability—a pilot study among employees of an electronics company. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 14(3), 275-283.
- Parrado, E., Cervantes, J., Pintanel, M., Rodas, G., & Capdevila, L. (2010). Perceived tiredness and heart rate variability in relation to overload during a field hockey world cup. *Perceptual and Motor Skills*, 110(3), 699-713.

- Pastucha, D. (2014). *Tělovýchovné lékařství: Vybrané kapitoly*. Grada.
- Pecha, J., Dovalil, J., & Suchý, J. (2016). *Význam soutěžní úspěšnosti ve výkonnostním vývoji tenistů*. Univerzita Karlova v Praze, Karolinum.
- Penna, E. M., Wanner, S. P., Campos, B. T., Quinan, G. R., Mendes, T. T., Smith, M. R., & Prado, L. S. (2018). Mental fatigue impairs physical performance in young swimmers. *Pediatric Exercise Science*, 30(2), 208-215.
- Perič, T. & Dovalil, J. (2010). *Sportovní trénink*. Grada.
- Petřek, J. (2019). *Základy fyziologie člověka: pro nelékařské zdravotnické obory*. Grada.
- Phoemsapthawee, J., Prasertsri, P., & Leelayuwat, N. (2019). Heart rate variability responses to a combined exercise training program: correlation with adiposity and cardiorespiratory fitness changes in obese young men. *Journal of Exercise Rehabilitation*, 15(1), 114.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3729-3741.
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine*, 43, 773-781.
- Pumpřla, J., Sovová, E., & Howorka, K. (2014). Variabilita srdeční frekvence: Využití v interní praxi se zaměřením na metabolický syndrom. *Interní medicína pro praxi*, 16(5), 205-209.
- Ralevski, E., Petrakis, I., & Altemus, M. (2019). Heart rate variability in alcohol use: A review. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 176, 83-92.
- Reginato, E., Azzolina, D., Folino, F., Valentini, R., Bendinelli, C., Gafare, C. E., ... & Lorenzoni, G. (2020). Dietary and lifestyle patterns are associated with heart rate variability. *Journal of Clinical Medicine*, 9(4), 1121.
- Rokyta, R. (2015). *Fyziologie a patologická fyziologie: pro klinickou praxi*. Grada.
- Russell, S., Jenkins, D., Smith, M., Halson, S., & Kelly, V. (2019). The application of mental fatigue research to elite team sport performance: New perspectives. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(6), 723-728.
- Sajjadih, A., Shahsavari, A., Safaei, A., Penzel, T., Schoebel, C., Fietze, I., ... & Kelishadi, R. (2020). The association of sleep duration and quality with heart rate variability and blood pressure. *Tanaffos*, 19(2), 135.
- Sandercock, G. R., Bromley, P. D., & Brodie, D. A. (2005). Effects of exercise on heart rate variability: inferences from meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 433-439.



- Sassi, R., Cerutti, S., Lombardi, F., Malik, M., Huikuri, H. V., Peng, C. K., ... & Macfadyen, R. (2015). Advances in heart rate variability signal analysis: joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. *EP Europace*, 17(9), 1341-1353.
- Sato, N., & Miyake, S. (2004). Cardiovascular reactivity to mental stress: relationship with menstrual cycle and gender. *Journal of Psychological Anthropology and Applied Human Science*, 23(6), 215-223.
- Seiler, S., Haugen, O., & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: intensity and duration effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1366.
- Shaffer, F., & Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 258.
- Shaffer, F., McCraty, R., & Zerr, C. L. (2014). A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*, 5, 1040.
- Shaikh, A. S., Shivalkar, S., & Sahu, G. (2023). Effect of Exercise on Heart Rate Variability in trained individuals as compared to untrained individuals. *European Journal of Cardiovascular Medicine*, 13(4).
- Sharkey, B. J., & Gaskill, S. E. (2019). *Fyziologie sportu pro trenéry*. Mladá Fronta.
- Schmitt, L., Regnard, J., & Millet, G. P. (2015). Monitoring fatigue status with HRV measures in elite athletes: an avenue beyond rMSSD? *Frontiers in Physiology*, 6, 343.
- Schmitt, L., Regnard, J., Auguin, D., & Millet, G. P. (2016). Monitoring training and fatigue with heart rate variability: case study in a swimming Olympic champion. *Journal of Fitness Research*, 5(3), 38-45.
- Schmitt, L., Regnard, J., Desmarests, M., Mauny, F., Mouro, L., Fouillot, J. P., ... & Millet, G. (2013). Fatigue shifts and scatters heart rate variability in elite endurance athletes. *PLOS One*, 8(8), e71588.
- Silbernagl, S., & Despopoulos, A. (2004). *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd., zcela přepracované a rozšířené, vyd. 3. české. Grada.
- Skala, F., & Zemkova, E. (2022). Effects of acute fatigue on cognitive performance in team sport players: Does it change the way they perform? A scoping review. *Applied Sciences*, 12(3), 1736.
- 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*. Univerzita Palackého v Olomouci.

- 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.
- Strüven, A., Holzapfel, C., Stremmel, C., & Brunner, S. (2021). Obesity, nutrition and heart rate variability. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(8), 4215.
- Tang, M., He, Y., Zhang, X., Li, H., Huang, C., Wang, C., ... & Chen, R. (2021). The acute effects of temperature variability on heart rate variability: a repeated-measure study. *Environmental Research*, 194, 110655.
- 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. *Eur Heart J* 17: 354-381
- Taylor, K., Chapman, D., Cronin, J., Newton, M. J., & Gill, N. (2012). Fatigue monitoring in high performance sport: a survey of current trends. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 20(1), 12-23.
- Thaler, M. S. (2013). *EKG a jeho klinické využití – překlad 6. vydání*. Grada.
- Thong, T., Li, K., McNames, J., Aboy, M., & Goldstein, B. (2003). Accuracy of ultra-short heart rate variability measures. In *Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE Cat. No. 03CH37439)* (Vol. 3, pp. 2424-2427). IEEE.
- Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2015). Monitoring fatigue during the in-season competitive phase in elite soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 10(8), 958-964.
- Tian, Y., He, Z. H., Zhao, J. X., Tao, D. L., Xu, K. Y., Earnest, C. P., & Mc Naughton, L. R. (2013). Heart rate variability threshold values for early-warning nonfunctional overreaching in elite female wrestlers. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(6), 1511-1519.
- Tian, Y., Huang, C., He, Z., Hong, P., & Zhao, J. (2015). Autonomic function responses to training: correlation with body composition changes. *Physiology & Behavior*, 151, 308-313.
- Trojan, S. (2003). *Lékařská fyziologie (Vyd. 4., přeprac. a dopl)*. Grada.
- Tseng, T. H., Chen, H. C., Wang, L. Y., & Chien, M. Y. (2020). Effects of exercise training on sleep quality and heart rate variability in middle-aged and older adults with poor sleep quality: a randomized controlled trial. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 16(9), 1483-1492.
- Uusitalo, A. L., Uusitalo, A. J., & Rusko, H. K. (2000). Heart rate and blood pressure variability during heavy training and overtraining in the female athlete. *International Journal of Sports Medicine*, 21(01), 45-53.

- Villafaina, S., Crespo, M., Martínez-Gallego, R., & Fuentes-García, J. P. (2022). Heart Rate Variability in Elite International ITF Junior Davis Cup Tennis Players. *Biology, 12*(1), 17.
- Vitale, J. A., Bonato, M., Torre, A. L., & Banfi, G. (2019). Heart rate variability in sport performance: do time of day and chronotype play a role? *Journal of Clinical Medicine, 8*(5), 723.
- Wang, J., & Meng, H. (2023). Sport Fatigue Monitoring and Analyzing Through Multi-Source Sensors. *International Journal of Distributed Systems and Technologies, 14*(2), 1-11.
- Weippert, M., Kumar, M., Kreuzfeld, S., Arndt, D., Rieger, A., & Stoll, R. (2010). Comparison of three mobile devices for measuring R-R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory ECG system. *European Journal of Applied Physiology, 109*, 779-786.
- Winsley, R. J., Battersby, G. L., & Cockle, H. C. (2005). Heart rate variability assessment of overreaching in active and sedentary females. *International Journal of Sports Medicine, 26*, 768-773.
- Yataco, A. R., Fleisher, L. A., & Katzel, L. I. (1997). Heart rate variability and cardiovascular fitness in senior athletes. *American Journal of Cardiology, 80*(10), 1389-1391.
- Zeng, J., Meng, J., Wang, C., Leng, W., Zhong, X., Gong, A., ... & Jiang, C. (2023). High vagally mediated resting-state heart rate variability is associated with superior working memory function. *Frontiers in Neuroscience, 17*, 1119405.
- Zhang, J. (2007). Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics, 30*(5), 374-379.
- Zhong, X., Hilton, H. J., Gates, G. J., Jelic, S., Stern, Y., Bartels, M. N., ... & Basner, R. C. (2005). Increased sympathetic and decreased parasympathetic cardiovascular modulation in normal humans with acute sleep deprivation. *Journal of Applied Physiology, 98*(6), 2024-2032.
- Zhu, H., Wang, H., Liu, Z., Li, D., Kou, G., & Li, C. (2018). Experimental study on the human thermal comfort based on the heart rate variability (HRV) analysis under different environments. *Science of the Total Environment, 616*, 1124-1133.