

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav klinické rehabilitace

Viktorie Žídková

Variabilita srdeční frekvence v rukách fyzioterapeuta

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Petra Gaul Aláčová, Ph.D.

Olomouc 2022

ANOTACE

Typ práce: Bakalářská práce

Název práce v ČJ: Variabilita srdeční frekvence v rukách fyzioterapeuta

Název práce v AJ: Heart rate variability in the hands of a physiotherapist

Datum zadání: 29.11.2021

Datum odevzdání: 13.5.2022

VŠ, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav klinické rehabilitace

Autor: Viktorie Žídková

Vedoucí: Mgr. Petra Gaul Aláčová, Ph.D.

Oponent: Mgr. Lada Zbořilová

Abstrakt v ČJ: Bakalářská práce se zabývá variabilitou srdeční frekvence z pohledu fyzioterapeuta. Práce je rozdělena do čtyř kapitol. První kapitola je zaměřena na autonomní nervový systém a v podkapitolách je dále popsáno jeho rozdělení na centrální a periferní část, co je parasympatikus a sympatikus a taky jak autonomní nervový systém ovlivňuje řízení srdečního rytmu. Ve druhé kapitole je popsána tepová frekvence. Ve třetí už samotná variabilita srdeční frekvence, jak se hodnotí a jaké faktory na ní mohou působit. Čtvrtá kapitola popisuje metody ovlivnění variability srdeční frekvence z pohledu fyzioterapeuta. Cílem práce je seznámit s problematikou variability srdeční frekvence a zdůraznit její důležitou roli nejen ve fyzioterapii. Poznatky byly vyhledávány v odborné literatuře především ze zahraničních zdrojů pomocí databází PubMed, ProQuest, Mendeley, Google scholar a Web of Science.

Abstrakt v AJ: The bachelor thesis deals with the variability of heart rate in physiotherapy. The work is divided into four chapters. The first chapter focuses on the autonomous nervous system and further describes its division into central and peripheral part, what is the parasympathetic and sympathetic nervous system and how the autonomous nervous system affects the control of the heart rhythm. The second chapter describes the heart rate. In the third, the heart rate variability is discussed, how it is evaluated and what factors may affect it. The fourth chapter describes methods that influence heart rate variability from the point of view of a physiotherapist. The aim of this work is to introduce the issue of heart rate variability and emphasize its important role not only in physiotherapy. Findings were searched in the literature mainly from foreign sources using databases PubMed, ProQuest, Mendeley, Google scholar and Web of Science.

Klíčová slova v ČJ: variabilita srdeční frekvence, autonomní nervový systém, rehabilitace, dech, cvičení, biofeedback

Klíčová slova v AJ: heart rate variability, autonomic nervous system, rehabilitation, breath, exercise, biofeedback

Rozsah práce: 45 stran

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jsem pouze elektronické a bibliografické zdroje uvedené v referenčním seznamu.

Olomouc

.....

podpis autora

Poděkování

Chtěla bych poděkovat Mgr. Petře Gaul Aláčové, Ph.D., za konzultace, osobní přístup a odborné rady, které mi byly poskytnuty při psaní bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat rodině a partnerovi za podporu během mého studia.

OBSAH

ÚVOD	8
1 Autonomní nervový systém	9
1.1 Centrální část autonomního nervového systému	9
1.2 Periferní část autonomního nervového systému	10
1.2.1 Sympatikus	11
1.2.2 Parasympatikus.....	11
1.3 Mechanismy regulace srdečního rytmu	11
1.4 Autonomní dysfunkce a kardiovaskulární systém	13
2 Tepová frekvence	14
3 Variabilita srdeční frekvence	15
3.1 Hodnocení variability srdeční frekvence	16
3.1.1 Spektrální analýza HRV	17
3.1.2 Měření RR intervalů.....	18
3.1.3 Možnosti měření HRV	19
3.2 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence	20
4 Variabilita srdeční frekvence v rukách fyzioterapeuta.....	22
4.1 Biofeedback variability srdeční frekvence.....	22
4.1.1 Význam tréninku HRVB	23
4.1.2 Vliv dýchání na HRV	24
4.2 Vliv pohybové aktivity	27
4.2.1 Aerobní trénink	27
4.2.2 Vysoce intenzivní intervalový trénink (HIIT).....	27
4.2.3 Odporový trénink	27
4.2.4 Chůze a běh	28
4.3 Rehabilitace.....	28
4.3.1 Včasná rehabilitace	28

4.3.2	Vojtova metoda	29
4.3.3	Osteopatická manipulativní léčba	29
4.3.4	Mobilizace a manipulace.....	29
	ZÁVĚR	31
	SEZNAM ZKRATEK.....	33
	SEZNAM OBRÁZKŮ	34
	SEZNAM TABULEK.....	35
	REFERENČNÍ SEZNAM.....	36

ÚVOD

Tato práce pojednává o variabilitě srdeční frekvence a možnostech jejího ovlivnění v rámci fyzioterapie. Jedná se o téma velice důležité, neboť variabilita srdeční frekvence je podstatným ukazatelem dysfunkce srdce. Proto její analýza našla své uplatnění nejen v kardiologii, diabetologii, ale i v řadě dalších klinických oborů a také ve sportu. Hodnota variability srdeční frekvence ukazuje míru, s jakou je srdce a kardiovaskulární systém schopen reagovat na změny vnitřního prostředí organismu. Je ukazatelem fungování autonomního nervového systému, který se podílí na celé řadě životně důležitých funkcí. Kontroluje základní životní funkce jako je dýchání, trávení, srdeční tep atd., nezbytné pro přežití.

Vysoká variabilita srdeční frekvence vypovídá o zdraví jedince a schopnosti jeho systému se adaptovat. Naopak nízká hodnota variability srdeční frekvence naznačuje patologii a měla by vždy vést k diagnostice a hledání příčiny. Lze ji využívat jak při prevenci, tak při sledování pacienta nejen po prodělané kardiovaskulární nemoci. Stala se nástrojem využívaným ve zdravotnictví, ale i ve sportu, kde slouží trenérům a sportovcům v tréninkovém procesu. Je ukazatelem velikosti tréninkového zatížení, míry adaptability organismu a schopnosti zotavení po fyzické zátěži.

V dnešní době jsou populární nejrůznější sport testery, chytré hodinky či hrudní pásy. Lidé se dnes stále častěji zajímají o své zdraví, a proto minimálně jeden z těchto přístrojů už dnes vlastní skoro každý člověk. Většina těchto přístrojů již zvládá měřit variabilitu srdeční frekvence a tato možnost se tak mohla stát novou hudbou budoucnosti v prevenci nejrůznějších nemocí.

Ve fyzioterapii dochází k ovlivnění srdeční frekvence nejčastěji pomocí dechu při respirační fyzioterapii. Práce s dechem, hygiena dýchacích cest a zlepšení ventilačních parametrů je nedílnou součástí všech rehabilitačních intervencí, jelikož dech je úzce spjat s posturou.

1 Autonomní nervový systém

Autonomní (vegetativní) nervový systém (ANS) svými nervy inervuje hladkou svalovinu, která se nachází v cévách, orgánech, srdci a žlázách. Někdy je také nazýván útrobním nebo viscerálním, či vegetativním. Pracuje bez závislosti na naší vůli, udržuje homeostázu a pomáhá organismu adekvátně reagovat na nepříznivé situace a zároveň je zvládat (Naňka a Elišková, 2015, s. 259).

Z fyziologického hlediska je ANS definován jako soubor nervových buněk a vláken vedoucích vzruchy ke tkáním (eferentní složka) jiným, než je příčně pruhovaný sval, který podléhá volní kontrole. Kromě složky eferentní (visceromotorické) jsou reflexní okruhy tvořeny i složkou aferentní (viscerosenzitivní), jejich dráhy jsou propojeny na různých nervových etážích.

ANS je funkčně i strukturálně spojen se somatickou nervovou soustavou a se soustavou humorální regulace. Čím více jsou aktivována centra na vyšších etážích nervové soustavy, tím více se uplatňují obě složky (Irmiš, 2007, s. 13).

Vegetativní nervový systém se skládá z centrální části a z části periferní. Mícha, prodloužená mícha, mezimozek a mozková kůra, jakožto centrální část představují pro autonomní funkci různé regulační úrovně. Periferní část je tvořena sensorickými nervovými vlákny, které přivádějí informace z vnitřního prostředí a orgánů, dále ji tvoří dráhy směřující k efektorům (Trojan, 2003, s. 650).

1.1 Centrální část autonomního nervového systému

Na úrovni mozku se řídicí a informační centra nacházejí na různých místech centrálního nervového systému, a to v prodloužené míše, míše a na periférii. Centra mezi sebou koordinují informace a ovlivňují tak chování ANS nejen samostatně, ale i ve vzájemné spolupráci.

Mozková kůra má spolu s limbickým systémem význam na vzniku podmíněných reflexů v reakci na vnější podněty (Jandová, 2009, s. 30). Retikulární formace mozkového kmene zajišťuje řízení vigility, bdělosti, aktivaci a útlum organismu. Dále se podílí na některých autonomních reflexech, souvisejících s příjmem a zpracováním potravy (reflex sací, zvracení, polykání, sekrece šťávy žaludeční a pankreatické) (Irmiš, 2007, s. 22).

V mozkovém kmeni se nachází vitální centra – kardiovaskulární a respirační, jejichž poškození by vedlo ke smrti. Kardiovaskulární centrum se funkčně dělí na centra vazokonstrikční, vazodilatační, kardioexcitační a kardioinhibiční (Irmiš, 2007, s. 22). Kardiovaskulární centrum je pod vlivem informací z periferie přiváděných především větví nervus vagus. Na periférii se nacházejí četné receptory, které neustále monitorují aktuální stav

oběhu a podávají informace aferentními dráhami do vazomotorických center. Baroreceptory monitorují krevní tlak, nacházejí se ve velkých tepnách, nejvíce v oblouku aorty a v karotickém sinu. Při zvýšené stimulaci baroreceptorů zvýšením krevního tlaku je informace předána aferentními drahami do vazomotorických, kardioexcitačních a kardioinhibičních center, kde dochází k útlumu sympatiku a k aktivaci parasympatiku. To vede k poklesu minutového srdečního výdeje a celkového periferního odporu v důsledku vazodilatace, zároveň se normalizuje tlak krve. Při snížení krevního tlaku by došlo k opačné reakci, tudíž by se tlak opět normalizoval. Dalšími receptory podílející se na řízení krevního oběhu jsou chemoreceptory periferní i centrální, ty reagují na změny parciálního tlaku kyslíku (pO_2) a oxidu uhličitého (pCO_2) a na změny pH. Jejich stimulace vede ke změnám tonu hladké svaloviny rezistenčních cév (Kittnar, 2020, s. 176-177). Úkolem dýchacího ústředí je střídání vdechu a výdechu, řízení hloubky a frekvence dýchání. Je regulováno nejen nervově, ale i chemickými změnami arteriálního pCO_2 , pO_2 a koncentrací vodíkových iontů. Zařazení respiračního centra do autonomních ústředí je spíše z funkčního hlediska, jelikož dýchání často probíhá bez volní kontroly, i když je ovlivněno příčně pruhovanými svaly a podléhá volní kontrole (Irmiš, 2007, s. 22-23; Kittnar, 2020, s. 309).

Hypothalamus přijímá podněty ze specifických aferentních drah, retikulární formace, limbického systému (alokortexu) a neokortexu. Je důležitým článkem homeostázy, podílí se na řízení termoregulace, příjmu potravy a vody, pohlavní aktivity a sexuálního chování a složitých formách chování jako strach (únik) a zlost (útok) (Trojan, 2003, s. 657).

1.2 Periferní část autonomního nervového systému

Periferní ANS má centra uložená ve střední části šedé hmoty míšni a v oblasti mozkového kmene. Odtud začínají pregangliové neurony eferentní dráhy a teprve až po synaptickém přepojení na postgangliový neuron je inervován cílový orgán (žláza, hladký sval). Eferentní vegetativní dráhy jsou dvouneuronové, výjimkou je dřeň nadledvin, která je inervována pouze pregangliovými nervy (Irmiš, 2007, s. 14).

Z morfologického a funkčního hlediska se eferentní vegetativní nervový systém rozděluje podle mediátoru uvolňovaného na zakončeních postgangliových buněk na:

1. Adrenergní, sympatický – uvolňuje se noradrenalin,
2. Cholinergní, parasympatický – uvolňuje se acetylcholin,
3. Enterický (střevní) nervový systém je zodpovědný za pohyby a sekreci trávicí trubice a je částečně nezávislý na ANS.

Sympatický systém bývá označován také jako thorakolumbální, jelikož jeho eferentní neurony vystupují z hrudní a bederní míchy. Parasympatický systém je pak označován jako část kraniosakrální (vlákna vycházejí z jader mozkového kmene a z křížové míchy). Vnitřní orgány jsou inervovány sympatickými i parasympatickými vlákny s účinkem souhlasným (např. sekrece slin) nebo protichůdným (např. srdeční činnost). Většinou o konečném účinku sympatiku nebo parasympatiku rozhoduje okamžitý funkční stav efektoru (Trojan, 2003, s. 650-652). Nicméně některé systémy nemají reakce na parasympatické stimulační. Například většina cév postrádá inervaci parasympatiku. Jejich průměr je regulován sympatickým nervovým systémem (Gordan, Gwathmey a Xie, 2015, s. 206). Ve zdravém organismu existuje dynamická rovnováha mezi oběma systémy (Tortora a Derrickson, 2014 in Shaffer, McCraty a Zerr, 2014, s. 2).

1.2.1 Sympatikus

Aktivací sympatiku dochází k vyplavení adrenergních mediátorů. Organismus je připraven k obraně, útoku nebo útěku, neboť se zrychlí činnost srdce, rozšíří se tepny, čímž se zvýší krevní tlak, rozšíří se bronchy a utlumí se činnost trávicího systému. Eferentní vlákna sympatiku končí v gangliích sympatiku, která leží v blízkosti páteře. Postgangliové neurony sympatiku tvoří sympatické pleteně, ty se dostávají k orgánům samostatně nebo podél tepen, které opřádají (Orel, 2019, s. 353).

1.2.2 Parasympatikus

Parasympatikus je opakem sympatiku. Jeho převažující činnost udržuje organismus v klidu, podporuje trávení, snižuje krevní tlak a činnost srdce. Parasympatická pregangliová vlákna jsou velmi dlouhá, jelikož ganglia leží až v blízkosti inervovaných orgánů nebo přímo v nich. Nejmhutnějším parasympatickým nervem v našem těle je X. hlavový nerv – nerv bloudivý – nervus vagus (Orel, 2019, s. 353).

1.3 Mechanismy regulace srdečního rytmu

Řízení srdeční činnosti představuje komplexní a velice složitý proces, na kterém se podílejí nervové, humorální a celulární vlivy (Trojan et al., 2003, s. 213). Autonomní nervový systém je dominantním regulátorem srdeční činnosti (Aubert et al., 2003; Opavský, 2002 in Botek, Krejčí, McKune, 2017, s. 40), kterou reguluje pomocí aktivity sympatiku a parasympatiku. Pravou síň inervují vlákna pravé větve n.vagus a koncentrují se v oblasti sinoatriálního uzlu, jejich efekt je převážně chonotropní. Levostranná vlákna směřují k atrioventrikulárnímu uzlu a mají dromotropní účinky (Opavský, 2002, s. 28).

V klidu převládá aktivita parasympatického ANS, což má za následek průměrnou srdeční frekvenci 75 tepů za minutu. Parasympatická větev může zpomalit srdce na 20 nebo 30 tepů za minutu, případně jej krátce zastavit (Tortora a Derrickson, 2014 in Shaffer, McCraty a Zerr, 2014, s. 2). Vagové nervy jsou primární nervy parasympatického nervového systému a inervují převodní systém srdeční, vyčnívají do SA uzlu, AV uzlu a svaloviny síní. Zvýšená eferentní aktivita v těchto nervech vyvolává uvolnění acetylcholinu a jeho následnou vazbu na muskarinové receptory. Tímto dochází ke snížení rychlosti spontánní depolarizace v SA a AV uzlech čímž se snižuje srdeční frekvence. Protože existuje řídká inervace komor, vagová aktivita minimálně ovlivňuje komorovou kontraktilitu. Zakončení sympatických vláken je rozloženo po celém srdci rovnoměrně. Síně jsou pod vlivem sympatiku i parasympatiku, kdežto komory ovlivňuje především sympatikus (Trojan et al., 2003, s. 2014). Doba odezvy SA uzlu je velmi krátká a účinek jediného eferentního vagového impulzu závisí na fázi srdečního cyklu, ve které je přijat (Hainsworth, 1995 in Shaffer, McCraty a Zerr, 2014, s. 2).

Aktivace vagu nastává okamžitě a má pouze krátkodobý účinek, zatímco aktivace sympatiku má časové zpoždění několik sekund a jeho účinky mají delší trvání (Pumprla et al., 2002, s. 2; Shaffer, McCraty a Zerr, 2014, s. 13). Latence stimulace parasympatikem se pohybuje okolo 400 ms, přičemž na poklesu srdeční frekvence se vliv vagové aktivity projeví během prvních dvou stahů. Odeznění jeho účinků se projeví do 5 s na zvýšení srdeční frekvence. Doba latence sympatiku se pohybuje okolo 1-5 s, kdy následně dochází k progresivnímu nárůstu srdeční frekvence a ustálí se až po 20-30 s. Návrat k výchozím hodnotám po ukončení působení sympatiku probíhá mnohem pomaleji, což souvisí s pomalejším odbouráváním noradrenalinu ve tkáních myokardu (Botek, Krejčí, McKune, 2017, s. 41).

Ke zvýšení frekvence srdce (HR - heart rate) může dojít snížením vagové aktivity nebo vagovým blokem. Náhlé změny HR ať už nahoru nebo dolů, mezi jedním a dalším tepem jsou zprostředkovány parasympaticky (Hainsworth, 1995 in Shaffer, McCraty a Zerr, 2014, s. 2).

Kromě autonomní kardiální regulace se na kontrole srdečního rytmu a oběhového systému významně podílí reflexní aktivita receptorů, a to hlavně baroreceptory a chemoreceptory, jejichž funkce byla popsána výše (Kittnar, 2020, s. 176-177). Srdeční buňky jsou vybavené také muskarinovými (M_2) a adrenergními ($\beta_{1,2}$) receptory, které umožňují regulaci srdce pomocí působení hormonů a neurotransmiterů, konkrétně katecholaminů a acetylcholinu (Ganog, 1999 in Botek, Krejčí, McKune, 2017, s. 41). Adrenalin a noradrenalin působí na srdce skrze $\beta_{1,2}$ receptory, které mají na činnost myokardu synergní vliv stejně jako aktivita sympatiku, a to pozitivně chronotropní a ionotropní. Naopak acetylcholin působí na M_2

receptory a při jeho působení se srdeční akce chová analogicky, jako by byla pod vlivem vagu (Trojan, 2003, s. 2014).

Celulární regulace souvisí s výslednou velikostí kontrakce (Frank-Starlingův zákon), pro níž má význam počáteční napětí vláken myokardu tzv. preload. Protože čím více budou vlákna myokardu protažena, tím více se budou následně kontrahovat, což bude mít následně vliv na finální hodnotu minutového srdečního výdeje. Uvádí se, že v klidových podmínkách je průměrný objem přečerpávané krve $5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$, ale jenom vlivem změny předpětí vláken myokardu, bez jakékoliv nervové účasti se tato hodnota může vyšplhat až k $13 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ (Trojan, 2003, s. 2014; Botek, Krejčí, McKune, 2017, s. 41).

Na regulaci srdeční frekvence se pomocí vagové aferentace podílí také dýchání, přičemž vzniká fyziologický fenomén známý jako respirační sinusová arytmie (Ernes, 2014; Javorka, 2008; Opavský, 2002 in Botek, Krejčí, McKune, 2017, s. 41).

1.4 Autonomní dysfunkce a kardiovaskulární systém

Z dysfunkcí spadajících do kardiologie a neurologie byla podrobně studována autonomní reaktivita u osob s ortostatickou hypotenzí. V současné době spadá do kardiologie vyšetření osob se synkopami nejasného původu, resp. vyšetření osob, u nichž je podezření na vazovagální synkopy, head-up tilt testem (Opavský, 2002, s. 35).

Poruchy v autonomní reflexní regulaci se mohou projevit jako presynkopa nebo synkopa, což znamená dočasné celkové snížení mozkové perfuze charakterizované rychlým nástupem a krátkým trváním. Správná diagnostika ortostatických poruch vyžaduje podrobné vyšetření a analýzu reakcí na provokační testy.

Zvýšená aktivita sympatického ANS koreluje s progresí hypertrofie myokardu a se zvýšenou kardiovaskulární morbiditou a mortalitou. Chronická hyperaktivita parasympatického ANS vyplývá z více faktorů. Abnormální pokles funkce receptorů zahrnuje sníženou citlivost arteriálních baroreceptorů, kardiopulmonálních mechanoreceptorů a zvýšenou aktivitu ledvinových receptorů (Zalewski, Słomko a Zawadka-Kunikowska, 2018, s. 66).

2 Tepová frekvence

Průměrná frekvence srdce (PFS) měřená v klidu a udávaná za 1 minutu je určitá referenční linie, která je značně individuální v závislosti na věku, pohlaví, trénovanosti, zdravotním stavu atd. Patří mezi nejstarší a nejdůležitější parametry charakterizující činnost srdce. Tento parametr poskytuje informace o aktuálním fyziologickém či patofyziologickém stavu organismu, a také jak ukázaly některé studie, dokáže predikovat mortalitu (Javorka, 2008, s. 23).

Hodnotu PFS v klidu je možné změřit pomocí tepové frekvence za 30 sekund s přepočítáním na hodnotu za minutu. Průměr je potřeba vytvořit nejméně ze dvou měření. Tepová frekvence klesá s věkem. V dětství postupně klesá, a to od průměrné hodnoty 120 tepů/min u donošených novorozenců až k hodnotě 90 tepů/min u desetiletých dětí. V pubertálním a adolescentním věku, kdy se zvyšuje tonus parasymptiku, zejména u chlapců, poklesne tepová frekvence výrazněji. V dospělosti se výrazně nemění, klesá rychlostí 1tep/min/8 roků. S věkem klesá i variabilita srdeční frekvence a schopnost srdce reagovat na fyzickou zátěž vyšším zvýšením srdeční frekvence (Javorka, 2008, s. 23).

Nejčastější průměrná hodnota tepové frekvence v dospělosti je 72 tepů/min. Jedná se však o velmi orientační hodnotu, protože existují určité rozdíly v závislosti na pohlaví, životním stylu, pracovním zatížení apod. PFS během běžných každodenních aktivit a spánku se pohybuje mezi 45-95/min. Kolísání PFS v závislosti na rychlosti metabolismu celého těla přizpůsobeného aktivitám organismu a všem podmínkám jsou znakem fyziologicky regulovaného srdce (Javorka, 2008, s. 23).

Okamžitou frekvenci srdce je možné určit přepočítáním hodnoty aktuálního RR intervalu na hodnotu průměrné frekvence srdce, pokud by RR intervaly trvaly jednu celou minutu. Využívá se při hodnocení okamžitých (maximálních a minimálních) chronotropních reakcí srdce např. při fyzické zátěži, kardiovaskulárních testech i při měření variability srdeční frekvence (Javorka, 2008, s. 26).

Variabilita srdeční frekvence je daná proměnlivostí RR intervalů, anebo časem mezi dvěma systolami srdce (Javorka, 2008, s. 26).

3 Variabilita srdeční frekvence

Variabilita mezi údery srdce nebo RR intervalem je rysem zdravého kardiovaskulárního systému a je známá pod pojmem variabilita srdeční frekvence (HRV – heart rate variability) (Pumprla et al., 2002, s. 5). U zdravých jedinců je běžná vysoká hodnota HRV. I v klidu se objevují časté změny v délce po sobě jdoucích srdečních intervalů. Délka těchto srdečních intervalů je ovlivněna činností sympatického a parasympatického nervového systému a také vlivem různých humorálních faktorů (Marchev, 1998 in Georgieva-Tsaneva, 2019, s. 456).

Tyto výkyvy srdeční frekvence jsou výsledkem nelineárních interakcí mezi řadou různých fyziologických systémů. HRV je tedy považována za měřítko neurokardiální funkce, která odráží interakce srdce-mozek a dynamiku autonomního nervového systému (Shaffer, McCraty a Zerr, 2014, s. 5-6; McCraty et al., 2009, s. 6). Do určité míry platí koncept vyváženosti aktivit – rovnováha, která připomíná horizontální rameno váhy v pohybu okolo centrálního bodu. Tyto ramena váhy představují hodnoty parasympatického a sympatického systému. Nejzávažnější dysfunkce nastává při kombinaci zvýšené aktivity jednoho a současně poklesu aktivity druhého systému. Jedná se o závažné porušení dynamické rovnováhy ANS (Javorka, 2008, s. 20).

Dynamická rovnováha není konstantní, mění se v různých situacích (spánek, zátěž, stres apod.). Informace určující aktivitu obou systémů se přenáší eferentními vlákny s odlišnými mediátory na postgangliových zakončeních. Přenos informací je determinovaný frekvenční odpovědí chemických synapsí (Javorka, 2008, s. 20).

Příliš mnoho nestability jako jsou arytmie nebo chaos nervového systému je škodlivý pro efektivní fyziologické fungování a využití energie. Příliš malá variabilita naznačuje vyčerpání systému související s věkem, chronickým stresem, patologií nebo nedostatečným fungováním na různých úrovních samoregulačních řídicích systémů (Singer et al., 1988, s. 46; Thayer et al., 2009, s. 143; Malik et al., 1996, s. 354). Chronická onemocnění obecně souvisí s poruchou rovnováhy autonomního nervového systému, při které dochází k nadměrné stimulaci sympatiku a nedostatečné vagové aktivitě (Zalewski, Słomko a Zawadka-Kunikowska, 2018, s. 62). Tyto autonomní dysfunkce lze považovat za důsledek chronických nemocí, ale také za hlavní rizikový faktor podílející se na počátku jejich evoluce. Chorobný stav zahrnuje několik fyziologických změn jako je hypersekrece stresových hormonů, změny spánku, uvolňování zánětlivých mediátorů, hypertenze nebo imunitní dysfunkce, která může přispívat ke zhoršení zdraví a rozvoji komorbidit (Chrousos, 2009 in Fournié et al., 2021, s. 1). Nízká variabilita srdeční frekvence může vznikat následkem změny signalizace z periferie (např. snížení

senzitivity baroreflexů), centrální modulací jednotlivých vlivů na frekvenci srdce, nedostatečnou schopností eferentních drah přenášet signál včetně chemického přenosu na pregangliových a postgangliových synapsích, anebo sníženou schopností SA uzlu, převodového systému a myokardu vytvořit adekvátní akční potenciály, přenést je a včas aktivovat struktury pro kontrakci. Sníženou HRV je možné najít u mnohých patologických ale i fyziologických stavů, u osob s vysokým věkem po enormní fyzické zátěži, ale i při autonomní neuropatii či po transplantaci srdce. Také může být uměle snížena farmaky (Javorka, 2008, s. 20-21, 160).

Uvolněním norepinefrinu se aktivuje sympatikus, to vede ke zvýšení srdeční frekvence, kontraktility srdce a ke zvýšení vodivosti pro elektrické signály v srdci, což usnadňuje fyzické a duševní nároky. V klidu dominuje parasympatická aktivita uvolňováním acetylcholinu čímž dochází k zpomalení srdeční frekvence, snížení kontraktility srdce a inhibici rychlosti vedení elektrických signálů (Shaffer, McCraty a Zerr, 2014, s. 2; Gordan, Gwathmey a Xie, 2015, s. 205). Parasympatická aktivita je důležitá pro regenerační procesy a jako hlavní se podílí na kolísání srdeční frekvence (Thayer, Yamamoto, Brosschot, 2010 in Grässler, 2021, s. 2).

Význam HRV jako indexu funkčního stavu fyziologických kontrolních systémů byl zaznamenán již v roce 1965, kdy bylo zjištěno, že asfyxii plodu předchází snížení HRV před jakýmkoli změnami v samotné srdeční frekvenci (McCraty a Shaffer, 2015, s. 47). HRV je tak atraktivní možností a slibným klinickým nástrojem k vyhodnocování a identifikaci zdravotního postižení, díky jeho širokému záběru, nízkým nákladům a jednoduchosti získávání dat (Catai, et al., 2020, s. 92). Při sledování HRV v poslední době bylo zjištěno, že je prediktorem infekce, a to zejména pro diagnostiku COVID-19. Pokles HRV může být signálem infekce COVIDu-19 dříve, než dojde k projevu běžných příznaků, např. kašel nebo horečka. Sledování změn HRV a HR tak může pomoci vyhodnotit průběh tohoto viru (Buchhorn, Baumann a Willaschek, 2019, s. 34).

3.1 Hodnocení variability srdeční frekvence

Funkční hodnocení kardiovaskulárního systému v režimu beat-to-beat nabízí velmi rozsáhlé možnosti při objasnění autonomních poruch (Zalewski, Słomko a Zawadka-Kunikowska, 2018, s. 63).

Variabilitu srdeční frekvence neovlivňuje pouze respirační arytmie, kolísá i za klidových podmínek. Periodicitu HRV o nižší frekvenci si vysvětlujeme změnami systému regulující krevní tlak. Určitá autonomní regulace HRV zůstává i u částečně denervovaných – transplantovaných srdcí. HRV můžeme měřit několik minut až hodin, nejčastěji se analyzují

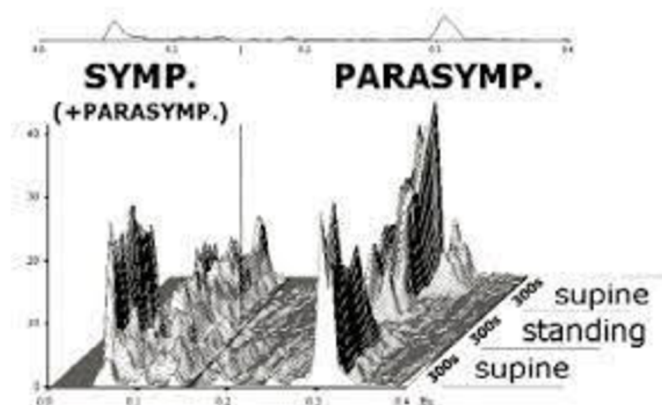
24hodinové záznamy. Pro vyhodnocení je zapotřebí stahů sinusového původu. Nejjednodušším způsobem vyhodnocení je využití směrodatné odchylky RR intervalů či výpočet směrodatné odchylky rozdílů mezi jednotlivými sousedními RR intervaly. Spektrální analýza HRV se využívá jako kvantitativní zhodnocení kardiiovaskulární regulace (Irmiš, 2007, s. 54).

3.1.1 Spektrální analýza HRV

Spektrální analýza převádí záznam RR intervalů na takzvanou výkonovou hustotu, která vyjadřuje závislost výkonu jednotlivých složek signálu na frekvenci (Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 55). Pro účely hodnocení HRV se využívá analýza rychlé Fourierovy transformace nebo autoregresivního modelu. I přesto, že se objevují i další způsoby posuzování HRV v biomedicínských oborech narostly geometrickou řadou údaje o spektrální analýze HRV u různých diagnóz a stavů. Přínosem je možnost porovnání jednotlivých spektrálních komponent, zejména vysokofrekvenční složky (HF) (0,15 - 0,4 Hz) a složky nízkofrekvenční (NF) (0,05 - 0,15 Hz), jelikož dávají informaci o změně sympatovagální rovnováhy (Opavský in Salinger, 2004, s. 83). Pro zjednodušení interpretace nálezů byla zavedena zkouška leh-stoj-leh, v níž se na míře ortostatické zátěže střídá převaha parasymptiku vleže, při stoje aktivita sympatiku a po opětovném položení aktivita parasymptiku. Fyziologická autonomní regulace má vyšší hodnotu spektrálního výkonu vysokofrekvenční složky vleže, což je projev respiračně vázané aktivity vagu. Ve stoje dochází naopak ke snížení. Po opakovaném položení můžeme u zdravých jedinců pozorovat takzvané „přestřelení“ hodnoty spektrálního výkonu vysokofrekvenční složky spektrální analýzy HRV. Z tohoto důvodu se pro správnost výsledku zhodnocení aktivity vagu doporučuje hodnocení spektrálních ukazatelů až z opakované polohy vleže při provádění zkoušky leh-stoj-leh (Opavský, 2002 in Salinger, 2004, s. 83).

Dostupnost a rychlost zpracování této metodiky napomohla k rozšíření spektrální analýzy HRV do klinické praxe v široké oblasti medicínských oborů, z nichž nejčastěji je využívána v kardiologii, neurologii a diabetologii (Salinger, 2004, s. 83).

Spektrální analýza umožňuje kvantifikovat různé frekvence obsažené ve vyšetřovaném signálu a studovat působení regulačního systému lidského těla. Analýza HRV se provádí ve čtyřech frekvenčních pásmech – vysoký frekvenční rozsah (HF), nízká frekvence (LF), velmi nízká frekvence (VLF) a ultra nízká frekvence (ULF). Analýza se obvykle provádí na pětiminutových segmentech, nikoli na celém kardiologickém záznamu (Malik et al., 1996).



Obrázek 1 Spektrální analýza variability srdeční frekvence (Pumpřla et al., 2014, s. 206)

Tabulka 1 Rozsah frekvencí (Malik et al., 1996)

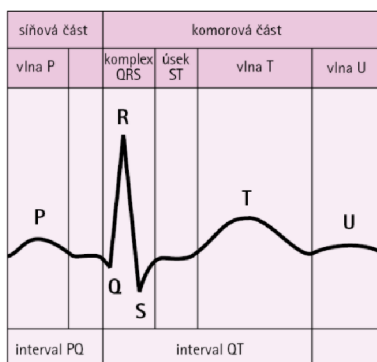
	Frekvence [Hz]	Příčina
ULF – ultra nízká frekvence	0 – 0,003	Denní/noční cyklus
VLF – velmi nízká frekvence	0,003 – 0,04	Sympatická aktivita
LF – nízká frekvence	0,04 – 0,15	Sympatická a parasympatická aktivita
HF – vysoká frekvence	0,15 – 0,04	Respirační sinusová arytmie; parasympatická aktivita

3.1.2 Měření RR intervalů

Pro měření RR intervalů lze použít jakýkoliv lékařský EKG (elektrokardiogram) přístroj, jelikož elektrokardiografie a Holterův monitoring jsou nejvhodnějšími metodami pro záznam elektrické aktivity srdce. Poskytují data pro měření časových intervalů mezi tepe. Elektrokardiografická data jsou velmi specifická pro každého jedince a lze je použít pro analýzu, diagnostiku a léčbu (Hadiyoso, Aulia a Rizal, 2019, s. 280). Existují i jednodušší přístroje na měření EKG například sporttestery a hrudní pásy (Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 49).

Analýzou EKG signálu dojde k rozpoznání jednotlivých QRS komplexů (QRS komplex – část EKG patřící systole srdečních komor) a RR intervalů, které jsou určeny jako doby po sobě jdoucích kmitů R. Základní jednotkou RR intervalu je jedna sekunda, v praxi se často využívá milisekunda. Tachogram je grafické zobrazení záznamu RR intervalů (Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 48). NN (normal-to-normal) je záznam obsahující intervaly QRS komplexu pocházející pouze z depolarizace sinoatriálního uzlu.

V praxi se však často objevují v záznamu artefakty ať už fyziologického charakteru nebo technického. Artefakty, které nejsou upraveny mohou zkreslit vypočtené ukazatele HRV (Lippman, Stein a Lerman, 1994 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 51). RR záznam se po kontrole a případné korekci dále zpracovává pro účely hodnocení autonomní srdeční regulace. K častým metodám hodnocení HRV patří časové a frekvenční metody, méně často se pak využívají metody geometrické a nelineární (Ernst, 2014 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 53).



Obrázek 2 EKG (Haberl, 2012, s.12)

3.1.3 Možnosti měření HRV

Tradičně se HRV měří v klinickém nebo laboratorním prostředí, pomocí zařízení, jako je EKG nebo Holter. Tyto zařízení nejsou příliš praktické při každodenním měření v domácím prostředí. Obecně platí, že problémy biokompatibility, nepohodlí, neuspokojivého designu a omezeného přístupu ke klinickému laboratornímu prostředí jsou faktory, které činí používání těchto technologií méně praktickými pro hodnocení zdraví a je méně pravděpodobné, že by byly přijaty v každodenním režimu jednotlivce (Hernández-Vincente et al., 2021 in Rodriguez et al., 2022, s. 2).

Na druhé straně se na trhu v poslední době objevila řada senzorů pro monitorování fyziologických dat v nosných zařízeních (npř. sporttestery, hrudní pásy) a rychle se staly velmi populární. Kombinace “user-friendly“ nosných zařízení a zdravotnických systému se v průběhu let ukázala jako životaschopná strategie, charakterizující novou éru monitorování, diagnostiky, léčby a prevence nemocí pomocí včasné detekce změn (Brothers et al., 2019 in Rodriguez et al., 2022, s. 2). Nositelná zařízení jsou jednoduchá na ovládání a dobře dostupná na rozdíl od EKG přístroje. V budoucnu by mohly pomoci s prevencí u starších dospělých, umožnit včasnou detekci fyzického úpadku a zajistit včasnou intervenci ke zlepšení autonomní regulace (Graham et al., 2019, s. 8).



Obrázek 3 Hrudní pás, 2020



Obrázek 4 Sporttester, 2017

Fotoplethysmografie (PPG) umožňuje měřit různé parametry jako je srdeční frekvence, krevní tlak, saturace kyslíkem a další. Technologie senzorů PPG (Bellenger et al., 2021 in Georgieva-Tsaneva, Gospodinova a Cheshmedzhiev, 2022, s. 2), je neinvazivní, snadno přístupná metoda pro detekci změn objemu krve v arteriálních cévách pomocí optických metod. Protékající krev má pulzující charakter, a proto se její objem mění, může být měřena na určitých místech lidského těla změnami intenzity světla, při odrazu nebo průchodu tkání (Stove et al., 2019 in Georgieva-Tsaneva, Gospodinova a Cheshmedzhiev, 2022, s. 2). Tyto rozdíly odrážejí změny v krevní perfuzi lidské tkáně. Senzor PPG se skládá z infračerveného zářiče, který přenáší světlo kůží do krevních cév a následně zpět do detektoru, který reaguje na světlo přenášené nebo odražené krevními cévami. Variabilita srdeční frekvence může být stanovena na základě zjištěných P piků v PPG signálu a časových řad PP intervalů vytvořených na jejich základě. HRV v signálech PPG určuje variaci časových řad tvořených PP intervaly a odpovídá změně intervalů RR v signálech EKG (Georgieva-Tsaneva, Gospodinova a Cheshmedzhiev, 2022, s. 2).

Rodrigues et al. (2022, s. 19), se zabývali možnostmi vzdáleného měření a sledování HRV prostřednictvím nosných zařízení s fotoplethysmografickými senzory. Pro svou studii vybrali hodinky Fitbit Inspire HR (na základě PPG) a hrudní pás Polar H10 (EKG signál). Naměřené výsledky oběma přístroji se od sebe nijak významně nelišily. V této studii autoři prokázali, že PPG je životaschopnou alternativou měření intervalu srdečního tepu pro analýzu HRV.

3.2 Faktory ovlivňující variabilitu srdeční frekvence

Variabilita srdeční frekvence zrcadlí vzájemně provázané eferentní působení sympatiku a parasympatiku na SA uzel, které je modulováno centrálními a periferními oscilátory během každého srdečního cyklu (Akselrod et al., 1981; Malik a Camm, 1995; Malliani, Pagani, Lombardi a Cerutti, 1991 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 44). V klidu jsou za významné fyziologické faktory srdeční frekvence a HRV považovány poloha těla, autonomní kardiální regulace a objem krevní plazmy (Aubert et al., 2003; Bosquet et al., 2008; Bucheheit, 2014;

Sandercock a Brodie, 2006 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 44). Kromě těchto faktorů ovlivňuje srdeční frekvenci také morfologie myokardu a věk, kdežto HRV je spíše modulována genetikou (Bucheheit, 2014; Sandercock a Brodie, 2006 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 44).

Studie již opakovaně potvrdily vliv věku na HRV, přičemž u jedinců starších 15 let je věk považován za přirozený činitel, který se podílí na poklesu kardiální vagové regulace (Antelmi et al., 2004; Fukusaki, Kawakubo a Yamamoto, 2000; Kui et al., 1999; Vallejo, Márquez, Borja-Aburto, Cárdenas a Hermosilo, 2005 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 46). Útlum parasymptiku způsobuje přesun sympatovagové rovnováhy směrem k sympatiku. Existují však studie, které ukazují, že věkem indukovaný pokles srdeční vagové regulace může být potlačen u pravidelně vytrvalostně sportujících jedinců až do vyššího věku (Aubert et al., 2003; Banach, Zoładź, Kolasińska-Kloch, Szyguła a Thor, 2000 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 46). Výsledky nových studií ukazují, že vztah mezi věkem a vagem modulovanými parametry HRV ve věku 40 až 80 let připomíná průběh aktivity parasymptiku tvar písmene U, a to bez ohledu na pohlaví (Almeida-Santos et al., 2016 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 46).

Dalším významným faktorem ovlivňujícím HRV je pohlaví. I když byla u žen v porovnání s muži zjištěna celkově nižší aktivita ANS, jsou pro ženy typické vyšší hodnoty vagem modulovaných ukazatelů HRV a nižší spektrální výkon v oblasti s větším vlivem aktivity sympatiku. Důvodem této intersexuální diference v autonomní kardiální regulaci je především rozdílná hormonální produkce, především estrogenů a oxytocinu, ale také funkce centrální nervové soustavy, konkrétně amygdaly (Koenig a Thayer, 2016 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 46). Zřejmě vyšší kardiální vagová regulace u žen funguje jako kardioprotektivní ochrana myokardu vůči kardiovaskulárním onemocněním. Navíc je u žen modifikována fázemi menstruačního cyklu. Během luteální fáze klesá výkon komponenty HF a stoupá výkon LF, což vede ke zvýšení poměru LF/HF (Aubert et al., 2003; Sato a Miyake, 2004 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 46).

Spánková deprivace a kvalita spánku působí na autonomní kardiální funkci negativně a ovlivňují jak kognitivní, tak sportovní výkonnost (Eagles, Mclellan, Hing, Carloss a Lovell, 2016 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 47). Vlivem nedostatečného spánku, či snížení jeho kvality, dochází u zdravých osob k redukci aktivity vagu a relativnímu vzestupu aktivity sympatiku (Zhong et al., 2005 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 47).

4 Variabilita srdeční frekvence v rukách fyzioterapeuta

Vyšetření HRV nabývá na důležitosti tam, kde je potřebné znát stav ANS a kvalitu jeho regulací. Vyšetřovací metody, kde významné místo zaujímá spektrální analýza HRV, se již zařadily do vyšetření u pacientů s ischemickou chorobou srdeční, u nemocných s měštnavou srdeční slabostí a v diagnostice diabetické autonomní neuropatie, v celkovém hodnocení nemocných s hypertenzí, synkopálními stavy, dysrytmiemi a také v pediatrii (Salinger, 2004, s. 83). Dále se využívá hodnocení HRV ve farmakologii, neurotoxikologii, tělovýchovném lékařství, psychiatrii, gerontologii a rehabilitaci (Šiška et al., 1998 in Salinger, 2004, s. 83).

HRV má uplatnění také v oblasti sportu, kde se využívá ke sledování procesu regenerace po vykonané pohybové aktivitě, která může být různého druhu a intenzity. Bylo zjištěno, že zlepšení variability souvisí se zvýšenou fyzickou zdatností (Sürücü et al., 2021, s. 4).

V současné literatuře byla popsána souvislost mezi srdeční autonomní modulací a kardiovaskulárními příhodami. U jedinců s nízkými hodnotami HRV existuje vyšší riziko vzniku kardiovaskulárního onemocnění, což se zdá, je spojeno s nedostatečnou reakcí na fyziologický stres (Shaffer a Ginsberg, 2017; Silva et al., 2021 in Silva et al., 2022, s. 2).

4.1 Biofeedback variability srdeční frekvence

Biofeedback variability srdeční frekvence (HRVB) je technika, kterou lze použít ke zlepšení obecné odolnosti. Má mnoho aplikací, s prokázanými pozitivními účinky na úzkost, depresi, celkový stres, spánek, bolest, hypertenzi, respirační onemocnění a srdeční funkce, stejně jako na kognitivní a sportovní výkon. Lze jej oslovit různými způsoby, včetně stimulace baroreflexního systému, zlepšení výměny plynů v plicích, cvičením dýchacích svalů a meditativní koncentrací na dýchání a tělesné vjemy (Lehrer a Gevirtz, 2014 in Lehrer, Vaschillo a Vindali, 2020, s. 145). Zdá se, že k těmto účinkům dochází v důsledku konkrétních fázových vztahů mezi dýcháním, srdeční frekvencí a krevním tlakem, když jedinec dýchá na konkrétní rezonanční frekvenci svého baroreflexního systému (Vaschillo et al. 2002).

Biofeedback variability srdeční frekvence je nefarmakologický zásah založený na nácviku pravidelného rytmického dýchání s frekvencí přibližně 6 cyklů za minutu, při kterém dochází k rezonanci mezi srdečním a dechovým rytmem vytvářející vysoké amplitudy HRV. Primárním mechanismem HRVB je stimulace parasympatického nervového systému, který zeslabuje účinky sympatického nervového systému. HRVB by proto mohl mít podobné účinky jako betablokátory, potencionálně prospěšné u pacientů s arteriální hypertenzí, srdečním selháním nebo koronárními chorobami (Burlacu et al., 2021, s. 9).

HRVB je bio-behaviorální intervence založená na fenoménu respirační sinusové arytmie (RSA), která popisuje zvýšení srdeční frekvence během inhalace a její snížení během výdechu. Tím pádem subjekty mohou modulovat svou srdeční frekvenci, a tím i svou HRV, a to úpravou svého dechového vzoru (Schumann et al., 2021, s. 2).

RSA je nejdéle zkoumanou oscilací srdeční frekvence, která je synchronizovaná s dechem (Javorka et al., 2008 in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 88). Opavský (in Botek, Krejčí a McKune, 2017, s. 88), hodnotí velikost RSA v klinické praxi jako index kvality kardiální vagové stimulovatelnosti během výdechu. Četnými studiemi byl opakovaně prokázán vliv dýchání na výkonové spektrum HRV, nicméně patrně nejvýrazněji vliv různé frekvence a hloubky dýchání moduluje výkon vysokofrekvenční spektrální komponenty HF, ve které se projevuje reflexní respirační vázaná aktivita vagu.

RSA biofeedback trénink je jedním z typů tréninků umožňující tělu stát se stabilnější tím, že dojde ke zvýšení aktivity parasympatiku. Vede k dýchání rychlostí srdeční frekvence, aktivita baroreflexu je tak spojená s dýcháním. Baroreflex, je reflex zprostředkovaný senzory krevního tlaku v aortě a karotidách, které slouží k jeho modulaci. Baroreceptory v arteriální stěně rozpoznají, že došlo k dilataci tepen a pokud se tlak krve zvýší, baroreflex okamžitě snižuje srdeční frekvenci (Jung-Nyun, Min-Cheol a Bong-Gu, 2022, s. 2).

4.1.1 Význam tréninku HRVB

Pacienti se srdečním selháním jsou poznamenáni dysfunkcí autonomního nervového systému. Srdeční selhání je charakterizováno zvýšenou funkcí sympatiku a sníženou aktivitou parasympatiku. Tato nerovnováha vede k další srdeční remodelaci a strukturálním změnám (van Bilsen, 2017 in Burlacu et al., 2021, s. 9). HRVB trénink může zvýšit HRV a pozitivně tak ovlivnit některé fyziologické mechanismy jako je zlepšení autonomní regulace, zvýšená citlivost baroreflexu a stimulace vagového eferentního systému (Moss a Shaffer, 2017, s. 2). Přizpůsobení dýchání s cílem maximalizovat oscilace srdeční frekvence, cvičí hlavní vagové reflexy, zejména baroreflex (Schumann et al., 2017 in Schumann et al., 2021, s. 8).

Studie pacientů s různými chronickými onemocněními uvádějí účinnost HRVB na zvýšení HRV a autonomních funkcí, redukci stresu a zlepšení klinických výsledků (Goessl, Curtiss a Hofmann, 2017 in Fournié et al., 2022, s. 2010). Například u skupiny pacientů s ischemickou chorobou srdeční, intervence HRVB zvýšila klidovou HRV, snížila tlak krve a také ovlivnila nepřátelské chování (Lin et al., 2015 in Schumann et al., 2021, s. 6). Burlacu et al. (2021, s. 10), ve své studii také uvádí, že HRVB trénink měl příznivé účinky na různá

kardiovaskulární onemocnění dokumentovaná v klinických studiích, jako je arteriální hypertenze, srdeční selhání a ischemická choroba srdeční.

Limmer, Laser a Schütz (2022, s. 238), zjistili, že mobilní HRVB trénink je bezpečný a dostupný způsob, jak zlepšit aspekty fyziologického a psychologického zdraví po infarktu myokardu bez jakýchkoliv vedlejších účinků. Přínosem této samořízené intervence je zvýšení HRV a snížení kardiovaskulárního rizika. Kromě toho vyšší HRV umožňuje lepší vyrovnání se se stresující událostí nebo zdravotními problémy, které se mohou v budoucnu objevit.

4.1.2 Vliv dýchání na HRV

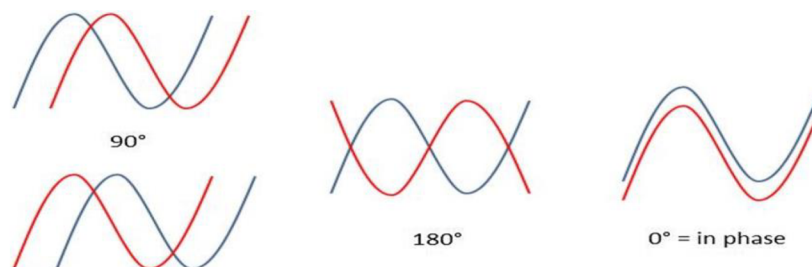
Guzi a Romanchuk (2017, s. 2027), měřili variabilitu srdeční frekvence při řízeném dýchání po vytrvalostním tréninku, a zjistili, že 7týdenní cyklus vytrvalostních tréninků vede ke změnám v kardiovaskulárním systému, které souvisí se snížením klidové srdeční frekvence. Změny hodnot HRV během kontrolovaného dýchání jsou způsobené frekvencí a rytmem dýchání. Indexy HRV na začátku a na konci tréninku se mezi sebou neliší při kontrolovaném dýchání 6x za minutu. Což naznačuje, že reakce na nízkofrekvenční účinky se nemění při zvyšující se vytrvalosti. Při kontrolovaném dýchání 15x za minutu, zvýšení výdrže nevede k rozdílům v celkové regulaci srdečního rytmu, neovlivňuje nízkofrekvenční účinky, ale způsobuje výrazně větší aktivaci vysokofrekvenční složky regulující srdeční rytmus. To se odráží na významném snížení poměru LF/HF v porovnání s vegetativním tonem na začátku studie stejně jako se spontánním dýcháním. Podobné změny odrážejí změny indexu tepové frekvence ve složkách velmi nízké frekvence HRV během kontrolovaného dýchání 15x za minutu, vykazovaly pokles neurohumorálních účinků na srdeční frekvenci ve srovnání se spontánním dýcháním a údaji na začátku studie.

4.1.2.1 Rezonanční frekvenční dýchání

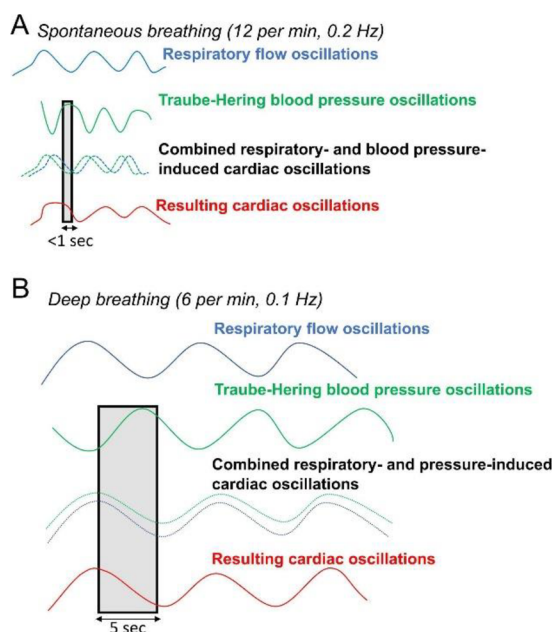
Zvláštním typem dýchání je pomalé dýchání rychlostí 6 dechů/min (0,1 Hz). Dýchání o frekvenci 0,1 Hz se označuje jako koherentní nebo rezonanční dýchání, protože se předpokládá, že indukuje koherentní, synchronní rezonanční frekvenci v různých fyziologických signálech (např. srdeční frekvence, baroreceptorový reflex, krevní tlak, perfuze mozku), čímž strhává různé fyziologické oscilační systémy (Mejía-Mejía, Torres a Restrepo, 2018, s. 2).

Respiračně vyvolané oscilace tlaku jsou z velké části výsledkem mechanické interakce mezi dýcháním a srdečním výdejem (Montaneo et al., 2000 in Sevoz-Couche, C. a Laborde S., 2022, s. 3). Během každého vdechu a zvýšení negativního nitrohruďního tlaku dochází k rychlému nárůstu venózního návratu a poklesu srdečního výdeje v pravé komoře, což vede k souvisejícímu poklesu arteriálního tlaku (Verhoeff a Mitchell, 2017 in Sevoz-Couche, C. a

Laborde S., 2022, s. 3). Tyto oscilace, nazývané Traube-Heringovy vlny, jsou „mimo fázi“ (180°) s proudem dýchání. Díky tonické aktivaci baroreflexu, vagové srdeční oscilace okamžitě kompenzují tyto změny vaskulárního tlaku. Výsledné srdeční oscilace jsou o 180° s oscilacemi krevního tlaku a tedy „ve fázi“ (0°) se změnami dýchání. Je třeba poznamenat, že srdeční Traube-Hering oscilace vyvolané krevním tlakem jsou synchronní (bez zpoždění) s dýcháním (Sevoz-Couche, C. a Laborde S., 2022, s. 3).



Obrázek 5 Fázové vztahy sinusových kmitů (Lehrer, Vaschillo a Vidali, 2020, s. 147)



Obrázek 6 Souvislost srdeční frekvence, krevního tlaku a dýchání (Sevoz-Couche, C. a Laborde S., 2022, s. 4)

4.1.2.2 Brániční hluboké dýchání

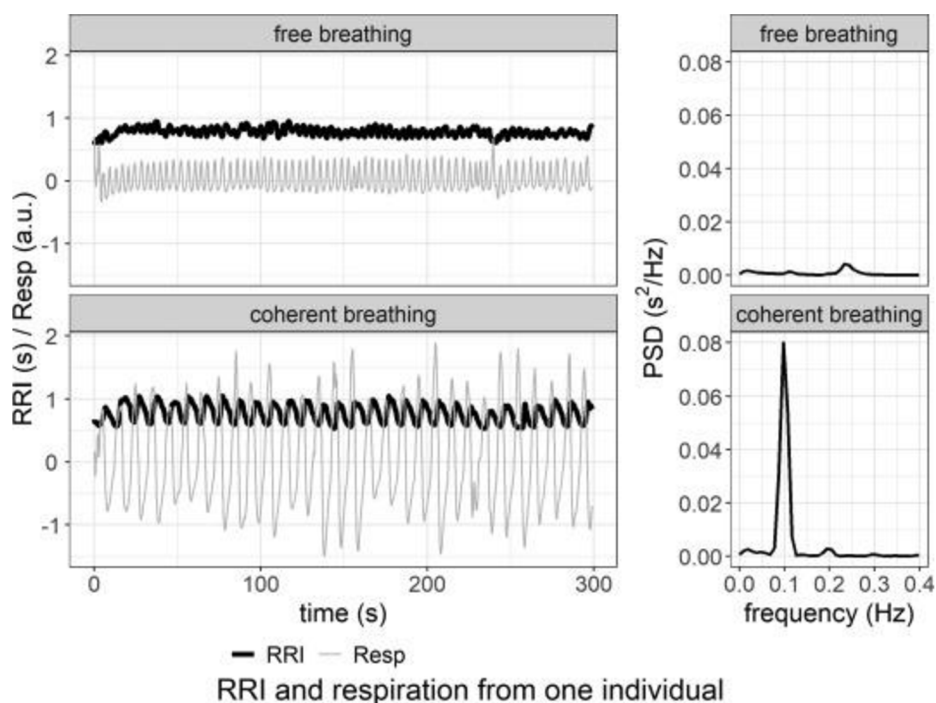
Brániční hluboké dýchání je také známé jako hluboké dýchání nebo pomalé břišní dýchání. Jedná se o dechové cvičení, při kterém dochází k hlubokému a pomalému rytmickému dýchání. Tímto cvičením dojde ke zvýšení délky kontrakce bránice, minimalizaci frekvence dýchání a prohloubení objemů nádechu a výdechu vedoucí k maximalizaci množství kyslíku vstupujícího do krevního řečiště (Ma et al., 2017, s. 2).

Nácvik pomalého dýchání je jednoduchý a účinný způsob seberegulace vedoucí k snížení autonomních stresových reakcí (Harris et al., 1976 in Yu et al., 2021, s. 1551). Z dlouhodobého

hlediska pravidelné pomalé dýchání zlepšuje dýchací návyky, které udržují autonomní rovnováhu a zvyšují odolnost vůči stresu (Yu et al., 2021, s. 1551).

Srdeční frekvence se při nádechu zvyšuje a při výdechu snižuje. Výzkum ukazuje, že pomalé dýchání může zvýšit HRV a dosáhnout svého maxima při dýchání v nízkých frekvencích (Steffen et al., 2017 in Yu et al., 2021, s. 1553).

Shyam et al. (2022, s. 7), v randomizované kontrolované studii dospěli k závěru, že 20 minut rezonančního frekvenčního dýchání každý den po dobu čtyř týdnů může vést k pozitivním změnám HRV, tj. ke zvýšení parasympatické a snížení sympatické aktivity. Doporučuje se praktikovat hluboké dýchání na rezonanční frekvenci po dobu několika minut každý den pro zmírnění stresu, úzkosti zlepšení kognitivních funkcí a snížení rizika kardiovaskulární morbidity.



Obrázek 7 Kontrast spontánního dýchání a rezonančního dýchání rychlostí 6 dechů/min (Schwerdtfeger et al., 2020, s. 687)

4.1.2.3 Vědomé dechové cvičení

Vědomé dechové cvičení (VBE – voluntary breathing exercise) zahrnuje kontrolované hluboké dýchání, dýchání kontrakcí rtů a břišní dýchání. Hluboký a pomalý režim VBE může zvýšit aktivitu parasympatiku, snížit aktivitu sympatiku a zlepšit funkci kardiovaskulárního systému. VBE není omezeno časem, místem, pomocným vybavením apod. proto je často využívanou metodou v rehabilitaci u pacientů s kardiovaskulárním onemocněním (Ublokka-Jones et al., 2018, s. 52; Wu et al., 2020, s. 9).

Ublosaka-Jones et al. (2018, s. 53), zkoumali vliv pomalého dýchání na krevní tlak a kapacitu plic u starších lidí s léčenou a stabilní izolovanou systolickou hypertenzí. Došli k závěru, že trénink pomalého dýchání má velký potenciál pro nefarmakologické zvládnutí hypertenze u starších lidí a data ukazují, že tato forma tréninku nesnižuje pouze systolický krevní tlak, ale také diastolický krevní tlak, srdeční frekvenci a dechovou frekvenci. I relativně nízká tréninková zátěž 25 % maximálního inspiračního tlaku, je dostatečná pro zlepšení inspirační svalové síly a kapacity plic. Výhody tréninku pomalého dýchání byly prokázány u starších osob s izolovanou systolickou hypertenzí, nicméně výsledky mohou být aplikovatelné i na starší osoby bez problémů s hypertenzí.

4.2 Vliv pohybové aktivity

4.2.1 Aerobní trénink

Pravidelná fyzická aktivita snižuje riziko kardiovaskulárních onemocnění a riziko předčasného úmrtí. Pozitivně ovlivňuje kardiovaskulární systém a funkční stav ANS (Sandercock, Bromley a Brodie, 2005, s. 436). Zejména aerobní trénink se popisuje jako forma pro snížení rizika kardiovaskulárních onemocnění a posílení parasympatické aktivity (Carter et al., 2003 in Grässler, 2021, s. 2).

4.2.2 Vysoce intenzivní intervalový trénink (HIIT)

Cassidy et al. (2018, s. 75), uvádí ve své studii, že HIIT (high intensity interval training) bez dohledu po dobu 12 týdnů, může zlepšit kontrolu glykémie u pacientů s diabetes mellitus druhého typu, ale má omezený účinek na měření kardiovaskulární autonomní regulace včetně HRV a variability krevního tlaku.

Nicméně Silva et al. (2022, s. 66), přichází se studií, která říká, že vysoce intenzivní intervalový trénink (HIIT) zejména prováděný v poměru 30 s cvičení a 30 s pauza u pacientů s diabetes mellitus druhého typu, podporuje kromě snížení klidového srdečního tepu také zvýšení RR intervalu, směrodatné odchylky všech normálních RR intervalů a procento RR intervalů s variací větší než 50 ms ve srovnání s nepřetržitým tréninkem střední intenzity. A díky tomuto zjištění navrhuji zařazení HIIT do kardiovaskulárních rehabilitačních programů.

4.2.3 Odporový trénink

Účinky vysoce intenzivního odporového tréninku na kardiovaskulární funkce a autonomní nervovou regulaci u starších dospělých nejsou průkazné. Odporový trénink měl ve skupině 25 starších dospělých osob po čtyřech měsících pozitivní vliv při zvyšování svalové hmoty a síly, ale nepodporoval změny kardiovaskulární funkce nebo autonomní nervové

regulace (Kanegusuku et al., 2015, s. 339). K podobným závěrům došla také studie Grässler et al. (2021, s. 17), kteří také neprokázali pozitivní účinky odporového tréninku na HRV u starších dospělých, bez ohledu na intenzitu tréninku aplikovanou v intervencích.

Jedním z možných důvodů, proč nedošlo ke změnám HRV mohla být dynamická povaha odporového tréninku, protože izometrický trénink vedl v předchozích studiích k pozitivním účinkům na modulaci parasymptiku (Taylor et al., 2003 in Grässler et al., 2021, s. 12). Kromě toho se předpokládá, že stárnutí snižuje citlivost HRV na trénink (Sandercock et al., 2005 in Grässler et al., 2021, s. 12), protože studie s mladými účastníky prokázaly příznivé účinky odporového tréninku na HRV (Da Barbosa et al., 2014 in Grässler B et al., s. 12).

4.2.4 Chůze a běh

Prasertsri et al. (2022, s. 9), ve své studii zkoumali vliv pravidelné přerušované chůze na HRV u starších dospělých s hypertenzí a prokázali větší zlepšení srdeční autonomní funkce. Výsledky studie naznačují, že při přerušované chůzi může být zvýšená parasymptická aktivita, což vede ke zvýšení HRV.

Hamidreza (2021, s. 8), ve své studii analyzoval vliv sezení, chůze a běhu na HRV u zdravých jedinců. S výsledkem, že čím těžší činnost je prováděna, tím větší změnu to způsobí ve složitosti a informačním obsahu HRV. Běh měl tedy nejvýznamnější vliv na změny HRV v této studii.

4.3 Rehabilitace

4.3.1 Včasná rehabilitace

Včasná rehabilitace pacientů po cévní mozkové příhodě (CMP) může vést ke zlepšení HRV, obnově fyzických funkcí a zlepšení kvality jejich života. Jelikož CMP vede k nízké aerobní kapacitě, je kladen důraz na význam včasné mobilizace, rehabilitace a fyzického funkčního tréninku u těchto pacientů (Beer et al., 2016 in Belli et al., 2021, s. 730).

Studie HRV prokazují potřebu flexibility autonomní aktivity jedince k udržení kvality života, protože narušení adaptace může způsobit autonomní dysfunkce, kardiovaskulární zhoršení a zvýšení nemocnosti a mortality u pacientů po CMP (Xiong et al., 2018, s. 2015).

Cílem rehabilitace je optimalizace fyzického fungování za účelem ovlivnění autonomní funkce. Fyziologická nestabilita je považována za překážku bezpečného provádění včasné rehabilitace na JIP (jednotka intenzivní péče). Fyziologická reakce kriticky nemocných pacientů se může den ode dne lišit, proto by měli být sledováni a terapie u těchto pacientů by

měla být nastavena individuálně a ideálně upravována i během intervence v závislosti na jejich stavu (Eggmann et al., 2022, s. 12).

Eggmann et al. (2022, s. 13), dospěli ve své práci k závěru, že rehabilitace pacientů na JIP je bezpečná a neovlivňuje negativně fyziologické parametry. Nicméně klinicky relevantní odchylky jsou běžné během tréninku a období rekonvalescence. Zdá se, že kratší sezení a aktivní léčba zvyšuje kardiorespirační odpověď během terapie.

4.3.2 Vojtova metoda

Vojtova reflexní lokomoce je založená na stimulaci tzv. spouštěcích zón na povrchu lidského těla. Primárně se využívala u poruch centrálního nervového systému v dětském věku. Později byla také aplikována na poruchy periferního nervového systému a na vybrané strukturální a funkční poruchy a poranění muskuloskeletálního systému. Stimulací zón dochází také k aktivaci autonomního nervového systému. Nejvýznamnější jsou kardiovaskulární odpovědi, kde byly nejčastěji pozorovány vazomotorické změny (Opavský et al., 2018, s. 206).

Opavský et al. (2018, s. 210-211), ve své studii nebyli schopni prokázat specifické autonomní reakce po aplikaci Vojtovy metody. Porovnávali reakce při stimulaci v aktivní zóně a mimo aktivní zónu, přičemž parametry HRV odrážející změny autonomní kontroly srdce ukazovaly téměř identické autonomní reakce po obou typech stimulace.

4.3.3 Osteopatická manipulativní léčba

Osteopatická manipulativní léčba (OMT) je neinvazivní forma manuální terapie, vyvinula se jako terapeutický přístup zaměřený na nápravu změn v muskuloskeletálních strukturách, které mají přímé nebo nepřímé negativní účinky na prokrvení tělesných tkání a vlastní fyziologické funkce (Carnevali et al., 2020, s. 1). Studium vztahu mezi OMT a ANS je v počátcích. Analýza HRV v experimentálních výzkumech v této souvislosti naznačuje předběžné poznatky o schopnosti OMT zvýšit aktivitu parasymptiku u zdravých jedinců. Zůstává však nezodpovězeno mnoho otázek, doba trvání a specifičnost odpovědí na různé techniky OMT jsou ty nejdůležitější (Carnevali et al., 2020, s. 5).

4.3.4 Mobilizace a manipulace

Reis et al. (2014, s. 5), ve své studii pokoušeli najít důkaz vlivu mobilizace hrudní páteře na zlepšení autonomní funkce a bolesti u pacientek s fibromyalgií (FM). Pozorovali, že ženy s FM vykazují změněné indexy HRV odrážející hyperaktivitu sympatiku v klidu, a že poté co pacientky podstoupily jednu terapii mobilizace hrudní páteře došlo k významnému navýšení aktivity vagu.

Younes et al. (2017, s. 8), zase zkoumali vliv manipulační léčby páteře na kardiovaskulární autonomní kontrolu u pacientů s akutní bolestí dolní části zad. Dospěli k závěru, že manipulace posunula sympatovagální rovnováhu směrem ke zvýšení parasympatické kardiovaskulární autonomní kontroly u těchto pacientů.

ZÁVĚR

Variabilita srdeční frekvence vypovídá o stavu autonomního nervového systému. Pokud ANS funguje správně, dochází k neustálým časovým odchylkám mezi jednotlivými úderý srdce, jelikož tělo reaguje na nejrůznější zevní a vnitřní faktory které na něj působí. Schopnost rychlých adaptačních změn je důležitou podmínkou k udržení dlouhodobé homeostázy organismu.

Jakákoliv porucha funkce orgánu nebo systému, který se podílí na řízení srdeční frekvence se projeví změnou HRV. Hodnota HRV informuje o zdraví daného jedince. Neboť vysoká hodnota HRV značí, že jedinec je schopen vysoké míry adaptace na zevní podmínky. Jeho tělo dokáže adekvátně zareagovat a přizpůsobit se. Kdežto lidé s nízkou hodnotou HRV svou adaptabilitu ztrácejí a je u nich vysoké riziko nemoci. Pokles hodnoty HRV závisí na mnoha faktorech jako je například věk, zdraví, psychické rozpoložení, stres, kvalita spánku, alkohol či užívání léčiv. Je žádoucí abychom hodnotu HRV sledovali a snažili se ji v průběhu věku minimálně udržet a optimálně zvyšovat. Ovlivnit HRV lze mnoha způsoby. Například pomocí biofeedbacku, hlubokého bráničního dýchání, aerobním cvičením či manipulační terapií.

Měření HRV v kardiorehabilitaci před cvičením může pomoci při sestavení cvičební jednotky na míru. Což může dát fyzioterapeutovi zpětnou vazbu, jak na tom pacient daný den je a jakých výkonů je schopen. Základním prvkem rehabilitace u kardiaků je pravidelný vytrvalostní aerobní trénink, jelikož dlouhodobé působení pohybové aktivity vede k adaptaci kardiiovaskulárního systému na zátěž a také ke zvýšení HRV.

Kromě kardiologie se využívá hodnocení HRV také v dalších medicínských oborech například v neonatologii, pediatrii, interní medicíně, psychiatrii či v neurologii. I ve sportu nachází HRV své uplatnění. Zde se využívá k optimalizaci tréninku, aby nedošlo k přetrénování jedince a aby byl dodržen proces regenerace.

Předkládaná práce je zaměřená na variabilitu srdeční frekvence z pohledu fyzioterapeuta. Jelikož toto téma je velice obsáhlé zaměřila jsem se hlavně na možnosti zvýšení HRV u starších osob s nejrůznějšími komorbiditami. První část zahrnuje obecné poznatky z oblasti anatomie a fyziologie týkající se variability srdeční frekvence. Druhá část práce se zaměřuje na přehled několika nejnovějších studií zabývajících se možnostmi ovlivnění HRV pomocí technik, které se běžně využívají během rehabilitace pacienta.

Z této práce lze vyvodit, že hodnoty variability srdeční frekvence jsou důležitým zdrojem informací nejen v medicíně a fyzioterapii, ale mají širokospektrální využití jak v rámci prevence, tak léčby.

SEZNAM ZKRATEK

ANS	autonomní nervový systém
AV uzel	atrioventrikulární uzel
EKG	elektrokardiogram
FM	fibromyalgie
HF	high frequency – vysoká frekvence
HIIT	high intensity interval training – vysoce intenzivní intervalový trénink
HR	heart rate - frekvence srdce
HRV	heart rate variability - variabilita srdeční frekvence
HRVB	heart rate variability biofeedback – biofeedback variability srdeční frekvence
JIP	jednotka intenzivní péče
LF	low frequency – nízká frekvence
LF/HF	poměr spektrálního výkonu nízko- a vysokofrekvenčního pásma
M ₂	muskarinový receptor
NN interval	intervaly QRS komplexu pocházející pouze z depolarizace SA uzlu
OMT	osteopatická manipulativní léčba
pCO ₂	parciální tlak oxidu uhličitého
PFS	průměrná frekvence srdce
pO ₂	parciální tlak kyslíku
PP interval	interval mezi dvěma P vlnami
PPG	fotopletysmografie
QRS komplex	část EKG patřící systole srdečních komor
RR interval	interval mezi dvěma po sobě následujícími údery srdce
RSA	respiratory sinus arytmia – respirační sinusová arytmie
SA uzel	sinoatriální uzel
ULF	ultra nízká frekvence
VBE	voluntary breathing exercise – vědomé dechové cvičení
VLF	velmi nízká frekvence
β _{1,2}	adrenergní receptory

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Spektrální analýza variability srdeční frekvence (Pumprla et al., 2014, s. 206).....	18
Obrázek 2 EKG (Haberl, 2012, s.12)	19
Obrázek 3 Hrudní pás, 2020	20
Obrázek 4 Sporttester, 2017	20
Obrázek 5 Fázové vztahy sinusových kmitů (Lehrer, Vaschillo a Vidali, 2020, s. 147)	25
Obrázek 6 Souvislost srdeční frekvence, krevního tlaku a dýchání (Sevoz-Couche, C. a Laborde S., 2022, s. 4)	25
Obrázek 7 Kontrast spontánního dýchání a rezonančního dýchání rychlostí 6 dechů/min (Schwerdtfeger et al., 2020, s. 687).....	26

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Rozsah frekvencí (Malik et al., 1996)	18
---	----

REFERENČNÍ SEZNAM

BELLI, T.R., SOUZA, L., BAZAN, S., BAZAN, R., LUVIZUTTO, G. 2021. Effects of rehabilitation programs on heart rate variability after stroke: a systematic review. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* [online]. 79(8), 724-731, [cit. 16.4.2022]. ISSN 16784227. Dostupné z: doi 10.1590/0004-282X-ANP-2020-0420.

BOTEK, M., KREJČÍ, J., McKUNE, A., J. 2017. *Variabilita srdeční frekvence v tréninkovém procesu: historie, současnost a perspektiva*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-5202-9.

BUCHHORN, R., BAUMANN, CH. a WILLASCHEK, CH. 2020. Heart Rate Variability in Patient with Coronavirus Disease 2019. *International Cardiovascular Forum Journal* [online]. 20, 34-36, [cit. 7.3.2022]. ISSN 24102636. Dostupné z: doi 10.17987/icfjv20i0.685.

BURLACU, A., BRINZA, C., POPA, I.V., COVIC, A. FLORIA, M. 2021. Influencing Cardiovascular Outcome through Heart Rate Variability Modulation: A Systematic Review. *Diagnostics* [online]. 11(12), 11, [cit. 6.4.2022]. ISSN 20754418. Dostupné z: doi 10.3390/diagnostics11122198.

CARNEVALI, L., LOMBARDI, L., FORNARI, M., SGOIFO, A. 2020. Exploring the Effects of Osteopathic Manipulative Treatment on Autonomic Function Through the Lens of Heart Rate Variability. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 14, 1-7, [cit. 17.4.2022]. ISSN 1662453X. Dostupné z: doi 10.3389/fnins.2020.579365.

CASSIDY, S., VAIDYA, V., HOUGHTON, D., ZALEWSKI, P., SEFEROVIC, J. P., HALLSWORTH, K., MACGOWAN, G. A., TRENELL, M. I., JAKOVLJEVIC, D. G. 2018. Unsupervised high-intensity interval training improves glycaemic control but not cardiovascular autonomic function in type 2 diabetes patients: A randomised controlled trial. *Diabetes & vascular disease research* [online]. 16(1), 69-76, [cit. 1.4.2022]. ISSN 17528984. Dostupné z: doi 10.1177/1479164118816223.

CATAI, A.M, PASTRE, C.M., de GODOY, M.F., da SALIVA, E., de MADEIROS TAKAHASHI, A.C., VANDERLEI, L.C.M. 2020. Heart rate variability: are you using it properly? Standardisation of procedures. *Brazilian Journal of Physical Therapy* [online]. 24(2), 91-102, [cit. 8.2.2022]. ISSN 18099246. Dostupné z: doi 10.1016/j.bjpt.2019.02.006.

EGGMANN, S., IRINCHEEVA, I., GERE LUDER, VERRA, M. L., MOSER, A., BASTIAENEN, H. G., JAKOB, S. M. 2022. Cardiorespiratory response to early rehabilitation in critically ill adults: A secondary analysis of a randomised controlled trial. *PLoS One*, [online]. 17(2), 1-16, [cit.1.4.2022] ISSN 19326203 Dostupné z: doi 10.1371/journal.pone.0262779.

RODRIGUES, E., LIMA, D., BARBOSA, P., GONZAGA, K., GUERRA, R.O., PIMENTEL, M., BARBOSA, H., MACIEL, A. 2022. HRV Monitoring Using Commercial Wearable Devices as a Health Indicator for Older Persons during the Pandemic. *Sensors* [online]. 22(5), 1-21, [cit. 12.4.]. ISSN 14248220. Dostupné z: doi 10.3390/s22052001.

FOURNIÉ, C., CHOUCOU, F., DALLEAU, G., CADERBY, T., CABRERA, Q., VERKINDT, C. 2021. Heart rate variability biofeedback in chronic disease management: A systematic review. *Complementary Therapies in Medicine* [online]. 60, 1-11, [cit. 8.2.2022]. ISSN 18736963. Dostupné z: doi 10.1016/j.ctim.2021.102750.

FOURNIÉ, C., VERKINDT, C., DALLEAU, G., BOUSCAREN, N., MOHR, C., ZUNIC, P., CABRERA, Q. 2022. Rehabilitation program combining physical exercise and heart rate variability biofeedback in hematologic patients: a feasibility study. *Supportive Care in Cancer* [online]. 30(3), 2009-2016, [cit. 27.3.2022]. ISSN 14337339. Dostupné z: doi 10.1007/s00520-021-06601-2.

GEORGIEVA-TSANEVA, G. 2019. Time and frequency analysis of heart rate variability data in heart failure patients. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* [online]. 10(11), 456-462, [cit. 8.2.2022]. ISSN 21565570. Dostupné z: doi 10.14569/IJACSA.2019.0101163.

- GEORGIEVA-TSANEVA, G., GOSPODINOVA, E. a CHESHMEDZHIEV, K. 2022. Cardiodiagnostics Based on Photoplethysmographics Signals. *Diagnostics* [online]. 12(2), 1-21, [cit. 12.4.2022]. ISSN 20754418. Dostupné z: doi 10.3390/diagnostics12020412.
- GORDAN, R., GWATHMEY, J.K., a XIE, L.H. 2015. Autonomic and endocrine control of cardiovascular function. *World Journal of Cardiology* [online]. 7(4), 204–214, [cit. 10.2.2022]. ISSN 1949-8462. Dostupné z: doi 10.4330/wjcv7.i4.204.
- GRAHAM, S.A., JESTE, D.V., LEE, E.E., WU, T.C., TU, X., KIM, H.C., DEPP, C.A. 2019. Associations Between Heart Rate Variability Measured With a Wrist-Worn Sensor and Older Adults' Physical Function: Observational Study. *JMIR Mhealth Uhealth* [online]. 7(10), 1-13, [cit. 12.4.2022]. ISSN 22915222. Dostupné z: doi 10.2196/13757.
- 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* [online]. 24, 1-21, [cit. 10.4.2022]. ISSN 18616909. Dostupné z: doi 10.1186/s11556-021-00278-6.
- GRÄSSLER, B., THIELMANN, B., BÖCKELMANN, I., HÖKELMANN, A. 2021. Effects of Different Training Interventions on Heart Rate Variability and Cardiovascular Health and Risk Factors in Young and Middle-Aged Adults: A Systematic Review. *Frontiers in Physiology* [online]. 12, 1-22, [cit. 10.2.2022]. ISSN 1664042X. Dostupné z: doi 10.3389/fphys.2021.657274.
- GUZII, O. V. a ROMANCHUK A., P. 2017. Heart rate variability during controlled respiration after endurance training. *Journal of Physical Education and Sport* [online]. 17(3), 2024-2029, [cit. 24.3.2022]. ISSN 22478051. Dostupné z: doi 10.7752/jpes.2017.03203.
- HADIYOSO, S., AULIA, S., a RIZAL, A. 2019. One-Lead Electrocardiogram for Biometric Authentication using Time Series Analysis and Support Vector Machine. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications* [online]. 10(2), 276-283, [cit. 7.2.2022]. ISSN 21565570. Dostupné z: doi 10.14569/ijacsa.2019.0100237.

HAMIDREZA, N. 2021. Complexity and information-based analysis of the heart rate variability (HRV) while sitting, hand biking, walking, and running. *Fractals* [online]. 29(5), 1-10, [cit. 12.4.2022]. ISSN 0218-348X. Dostupné z: doi 10.1142/S0218348X21502017.

HABERL, R. 2012. *EKG do kapsy*. Přeložil Branislav ŠTRAUCH. Praha: Grada, 281 s. ISBN 978-80-247-4192-5.

Hrudní pás, 2020. In: Sport science safety [online]. UK [cit. 11.5.2022]. Dostupné z: https://sportsiencesafety.stir.ac.uk/files/2020/09/polarH10_userMan.pdf.

IRMÍŠ, F. 2007. *Temperament a autonomní nervový systém: diagnostika, psychosomatika, konstituce, psychofyziologie*. Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-475-1.

JANDOVÁ, D. 2009. *Balneologie* (1. vyd.). Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-2820-9.

JAVORKA, K. 2008. *Variabilita frekvencie srdca: mechanizmy, hodnotenie, klinické využitie*. Martin: Vydavateľstvo Osveta. ISBN 9788080632694.

JUNG-NYUN, L., MIN-CHEOL, W. a BONG-GU, K. 2022. Process Design for Optimized Respiration Identification Based on Heart Rate Variability for Efficient Respiratory Sinus Arrhythmia Biofeedback. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. 19(4), 1-13, [cit. 27.3.2022]. ISSN 1661-7827. Dostupné z: doi 10.3390/ijerph19042087.

KANEGUSUKU, H., QUEIROZ, A.C., SILVA, V.J., de MELLO, M.T., UGRINOWITSCH, C., FORJAZ, C.L. 2015. High-Intensity Progressive Resistance Training Increases Strength With No Change in Cardiovascular Function and Autonomic Neural Regulation in Older Adults. *Journal of Aging and Physical Activity* [online]. 23(3), 339-345, [cit. 10.4.2022]. ISSN 1543267X. Dostupné z: doi 10.1123/japa.2012-0324.

KITTNAR, O. 2020. *Přehled lékařské fyziologie*. Praha: Grada Publishing, ISBN 978-80-271-1025-4.

LEHRER, P.M., VASCHILLO, E.G., VINDALI, V. 2020. Heart Rate and Breathing Are Not Always in Phase During Resonance Frequency Breathing. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* [online]. 45(3), 145-152, [cit.16.4.2022]. ISSN 1090-0586. Dostupné z: doi 10.1007/s10484-020-09459-y.

LIMMER, A., LASER, M. a SCHÜTZ, A. 2022. Mobile Heart Rate Variability Biofeedback as a Complementary Intervention After Myocardial Infarction: a Randomized Controlled Study. *International Journal of Behavioral Medicine* [online]. 29(2), 230-239, [cit. 16.4.2022]. ISSN 1070-55503. Dostupné z: doi 10.1007/s12529-021-10000-6.

MALIK, M., CAMM, J.A., BIGGER, T.J., GÜNTER, B., CERUTTI, S., COHEN, R.J., COUMEL, P., FALLEN, E.L., KENNEDY, H.L., KLEIGER, R.E., LOMBARDI, F., MOSS, A.J., ROTTMAN, J.N., SCHMIDT, G., SCHWARTZ, P.J., SINGER, D.H. 1996. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation* [online]. 93(5), 354-381, [cit. 11.5.2021]. ISSN 00097322. Dostupné z: doi 10.1161/01.cir.93.5.1043.

MA, X., YUE, Z. Q., GONG, Z. Q., ZHANG, H., DUAN, N. Y., SHI, Y. T., LI, Y. F. 2017. The effect of diaphragmatic breathing on attention, negative affect and stress in healthy adults. *Frontiers in psychology* [online]. 874(8), 1-12, [cit. 16.4.2022]. ISSN 16641078. Dostupné z: doi 10.3389/fpsyg.2017.00874.

McCARTY R. MIKE, A., TOMASINO, D., BRADLEY, R.T. 2009. The coherent heart: heart-brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order. *Integral Review* [online]. 5(2), 64, [cit. 17.10.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/41393262_The_Coherent_Heart_Heart-Brain_Interactions_Psychophysiological_Coherence_and_the_Emergence_of_System-Wide_Order.

McCARTY, R. a SHAFFER, F. 2015 Heart rate variability: New perspectives on physiological mechanisms, assessment of self-regulatory capacity, and health risk. *Global Advances In Health and Medicine* [online], 4(1), 46-61, [cit. 17.10.2021]. ISSN 21649561. Dostupné z: doi. 10.7453/gahmj.2014.073.

MEJÍA-MEJÍA, E., TORRES, R. a RESTREPO, D. 2018. Physiological coherence in healthy volunteers during laboratory-induced stress and controlled breathing. *Psychophysiology* [online]. 55(6), 1-14, [cit. 13.4.2022]. ISSN 14698986. Dostupné z: doi 10.1111/psyp.13046.

MOSS, D. a SHAFFER, F. 2017. The Application of Heart Rate Variability Biofeedback to Medical and Mental Health Disorders, *Biofeedback* [online], 45(1), 2-8, [cit. 26.10.2021]. ISSN 1081-5937. Dostupné z: doi 10.5298/1081-5937-45.1.03.

NAŇKA, O. a ELIŠKOVÁ, M. 2015. *Přehled anatomie* (3. vyd.). Praha: Galén, ISBN 978-80-7492-206-0.

OPAVSÝ, J. 2002. *Autonomní nervový systém a diabetická autonomní neuropatie: klinické aspekty a diagnostika*. Praha: Galén. ISBN 8072621947.

OPAVSÝ, J., SLACHTOVA, M., KUTIN, M., HOK, P., UHLIR, P., OPAVSKA, H., HLUSTIK, P. 2018. The effects of sustained manual pressure stimulation according to Vojta Therapy on heart rate variability. *Biomedical papers of the Medical Faculty of the University Palacky, Olomouc, Czechoslovakia* [online], 162(3), 206-211, [cit.17.4.2022]. ISSN 18047521. Dostupné z: doi 10.5507/bp.2018.028.

OREL, M. 2019. *Anatomie a fyziologie lidského těla: pro humanitní obory*. Praha: Grada. ISBN 978-80-271-0531-1.

PUMPRLA, J., HOWORKA, K., GROVES, D., CHESTER, M., NOLAN, J. 2002. Functional assessment of heart rate variability: physiological basis and practical applications. *International Journal of Cardiology* [online]. 84(1), 1-14, [cit.15.10.2021]. ISSN 01675273. Dostupné z: doi 10.1016/S0167-5273(02)00057-8.

PUMPRLA, J., SOVOVÁ, E., HOWORKA, K. 2014. Variabilita srdeční frekvence: Využití v interní praxi zaměřením na metabolický syndrom. *Dobrá rada* [online]. 16(5), 205-208, [cit. 11.5.2022]. Dostupné z: <https://www.internimediceina.cz/pdfs/int/2014/05/09.pdf>.

PRASERTSRI, P., PHOEMSAPTHAWEE, J., KUAMSUB, S., POOLPOL, K., BOONLA, O. 2022. Effects of long-term regular continuous and intermittent walking on oxidative stress, metabolic profile, heart rate variability, and blood pressure in older adults with hypertension. *Journal of Environmental and Public Healthn* [online]. 2022, 1-12, [cit. 30.3.2022]. ISSN 16879805. Dostupné z: doi 10.1155/2022/5942947.

REIS, M.S., DURIGAN, J.L.Q., ARENA, R., ROSSI, B.R.O., MENDES, R.G., BORGHI-SILVA, A. 2014. Effects of Posteroanterior Thoracic Mobilization on Heart Rate Variability and Pain in Women with Fibromyalgia. *Rehabilitation Research and Practice* [online]. 2014, 1-6, [cit. 17.4.2022]. ISSN 2090-2867. Dostupné z: doi 10.1155/2014/898763.

SALINGER, J., ed. 2004. *Variabilita srdeční frekvence a její hodnocení v biomedicinských oborech - od teorie ke klinické praxi: IV. odborný seminář s mezinárodní účastí*. Olomouc: Univerzita Palackého. ISBN 8024408058.

SANDERCOCK, G., BROMLEY, P. a BRODIE, D. 2005. Effects of exercise on heart rate variability: Inferences from meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. 37(3), 433–439, [cit. 11.2.2022]. ISSN 01959131. Dostupné z: doi 10.1249/01.MSS.0000155388.39002.9D.

SCHUMANN, A., de la CRUZ, F., KÖHLER, S., BROTTÉ, L., BÄR, K.J. 2021. The Influence of Heart Rate Variability Biofeedback on Cardiac Regulation and Functional Brain Connectivity. *Frontiers in Neuroscience* [online]. 15, 1-10, [cit. 31.3.2022]. ISSN 16624548. Dostupné z: doi 10.3389/fnins.2021.691988.

SCHWERDTFEGER, A.R., SCHWARZ, G., PFURTSCHELLER, K., THAYER, J.F., JARCZOK, M.N. a PFURTSCHELLER, G. 2020. Heart rate variability (HRV): From brain death to resonance breathing at 6 breaths per minute. *Clinical Neurophysiology* [online], 131(3), 676-693, [cit. 13.4.2022]. ISSN 18728952. Dostupné z: doi 10.1016/j.clinph.2019.11.013.

SEVOZ-COUCHE, C. a LABORDE S. 2022. Heart rate variability and slow-paced breathing: when coherence meets resonance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* [online]. 135, 1-14, [cit. 15.4.2022]. ISSN 0149-7634. Dostupné z: doi 10.1016/j.neubiorev.2022.104576.

SHAFFER, F., McCRATY, R. a ZERR, CL. 2014. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology* [online]. 5, 1-19, [cit. 17.10.2021]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi 10.3389/fpsyg.2014.01040.

SHYAM, C., ANJUM, D., BHARTI, B. a SHARMA, V. K. 2022. Effect of Resonance Breathing on Heart Rate Variability and Cognitive Functions in Young Adults: A Randomised Controlled Study. *Cureus* [online]. 14(2), 1-8, [cit. 13.4.2022]. ISSN 21688184. Dostupné z: doi 10.7759/cureus.22187.

SINGER, DH., MARTIN, G.J., NORMAN, M., WEIS, J.S., SCHAAD, J.W., KEHOE, R. ZHEUTLIN, T., FINTEL, D.J., HSIEH, A.M. LESCH, M. 1988. Low heart rate variability and sudden cardiac death. *Journal of Electrocardiology* [online]. 21(SUPP.), 46-55 , [cit. 17.10.2021]. ISSN 00220736. Dostupné z: doi 10.1016/0022-0736(88)90055-6.

SILVA, L.R.B., GENTIL, P., SEGURO, C.S., de OLIVIERA, J.C.M., SILVA, M.S., MARQUES, V.A., BELTRAME, T., REBELO, A.C.S. 2022. High-Intensity Interval Training Improves Cardiac Autonomic Function in Patients with Type 2 Diabetes: A Randomized Controlled Trial. *Biology* [online]. 11(1), 1-13, [cit. 26.3.2022]. ISSN 20797737. Dostupné z: doi 10.3390/biology11010066.

Sporttester, 2017. In: Sportigo[online]. CZ [cit. 11.5.2022]. Dostupné z: <https://www.sportigo.cz/wp-content/uploads/2017/11/Garmin-f%C3%A9nix-5-Sapphire-Black.jpg>.

SÜRÜCÜ, C., GÜNER, S., CÜCE, C., ARAS, D., AKÇA, F., ARSLAN, E., BIROL, A., UĞURLU, A. 2021. The effects of six-week slow, controlled breathing exercises on heart rate variability in physically active, healthy individuals. *Pedagogy of Physical Culture and Sports* [online]. 25(1), 4-9, [cit. 23.3.2022]. ISSN 26649837. Dostupné z: doi 10.15561/26649837.2021.0101.

THAYER, JF., HANSEN, A.L., SAUS-ROSE, E., JOHNSEN, B.H. 2009. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Annals of Behavioral Medicine* [online]. 37(2), 141-153, [cit. 17.10.2021]. ISSN 08836612. Dostupné z: doi 10.1007/s12160-009-9101-z.

TROJAN, S. 2003. *Lékařská fyziologie*. (4. vyd.). Praha: Grada Publishing, ISBN 8024705125.

UBLOSAKKA-JONES, C., TONGDEE, P., PACHIRAT, O., JONES, D. A. 2018. Slow loaded breathing training improves blood pressure, lung capacity and arm exercise endurance for older people with treated and stable isolated systolic hypertension. *Experimental Gerontology* [online]. 108, 48-53, [cit. 15.4.2022]. ISSN 18736815. Dostupné z: doi 10.1016/j.exger.2018.03.023.

WU, Q., LIU, L., JIANG, X., HU, Y. Y., LIANG, Q. S., HE, Z. S., XUE, Y., ZHU, W., TANG, Z. X., HOU, Y. Y., ZHAO, Q., & WANG, X. H. 2020. Effect of voluntary breathing exercises on stable coronary artery disease in heart rate variability and rate-pressure product: a study protocol for a single-blind, prospective, randomized controlled trial. *Trials* [online]. 21(1), 1-11, [cit. 15.4.2022]. ISSN 17456215. Dostupné z: doi 10.1186/s13063-020-04402-2.

XIONG, L., TIAN, G., LEUNG, H., SOO, Y., CHEN, X., IP, V., MOK, V., CHU, W., WONG, K.S., LEUNG, T. 2018. Autonomic Dysfunction Predicts Clinical Outcomes After Acute Ischemic Stroke. *A Prospective Observational Study* [online]. 49(1), 215-2018, [cit. 10.4.2022]. ISSN 0039-2499. Dostupné z: doi 10.1161/STROKEAHA.117.019312.

YOUNES, M., NOWAKOWSKI, K., DIDIER-LAURENT, B., GOMBERT, M., COTTIN, F. 2017. Effect of spinal manipulative treatment on cardiovascular autonomic control in patients with acute low back pain. *Chiropractic & manual therapies* [online], 25(1), 1-9, [cit. 17.4.2022]. ISSN 2045709X. Dostupné z: doi 10.1186/s12998-017-0167-6.

YU, B., AN, P., HENDRIKS, S., ZHANG, N., FEIJS, L., LI, M., HU, J. 2021. ViBreath: Heart Rate Variability Enhanced Respiration Training for Workaday stress management via an Eyes-Free Tangible Interference. *International Journal of Human-Computer Interaction* [online]. 37(16), 1551-1570, [cit. 23.3.2022]. ISSN 15327590. Dostupné z: doi 10.1080/10447318.2021.1898827.

ZALEWSKI, P., SŁOMKO, J. a ZAWADKA-KUNIKOWSKA, M. 2018. Autonomic dysfunction and chronic disease. *British Medicine Bulletin* [online]. 128(1), 61-74, [cit.8.2.2022]. ISSN 1471839. Dostupné z: doi 10.1093/bmb/ldy036.