ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra teorie obvodů

Bakalářská práce

Vliv psychického stresu na variabilitu srdeční frekvence

Adéla Atassi
Lékařská elektronika a bioinformatika

Květen 2022
Vedoucí práce: prof. Ing. Roman Čmejla, CSc.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Atassi** Jméno: **Adéla** Osobní číslo: **491831**

Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**

Zadávající katedra/ústav: **Katedra teorie obvodů**

Studijní program: **Lékařská elektronika a bioinformatika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Vliv psychického stresu na variabilitu srdeční frekvence

Název bakalářské práce anglicky:

The effect of mental stress on heart rate variability

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte rešerši literatury týkající se hodnocení stresové reakce s využitím variability srdeční frekvence (HRV) při zátěžových situacích.
2. Ve spolupráci s PřF UK vytvořte databázi záznamů signálů pro fobické a nefobické osoby.
3. Proveďte a porovnejte různé metody analýzy HRV (časové, frekvenční, nelineární).
4. Hodnocení HRV ověřte také na dalších fyziologických signálech získaných např. pomocí BIOPACu z elektrokardiogramů nebo fotopletysmogramů.
5. Vyhodnoťte možnosti detekce a hodnocení úrovně stresu z HRV.

Seznam doporučené literatury:

[1] Landová, E., et al. 'Venomous snakes elicit stronger fear than nonvenomous ones: Psychophysiological response to snake images.' Plos one, 2020, 15.8: e0236999.
[2] Cacioppo, J. T., Tassinary, L. G., & Berntson, G. (Eds.). Handbook of psychophysiology. Cambridge university press, 2007.
[3] Kim, H. G., et al. 'Stress and heart rate variability: a meta-analysis and review of the literature'. Psychiatry investigation, 2018, 15.3: 235.
[4] Vollmer, M. 'HRVTool – an Open-Source Matlab Toolbox for Analyzing Heart Rate Variability,' 2019 Computing in Cardiology (CinC), 2019, pp. 1-4.
[5] Anderlová, K. Vliv stresu na srdeční variabilitu studentů farmacie I. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, 2019.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

prof. Ing. Roman Čmejla, CSc. katedra teorie obvodů FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

RNDr. Eva Landová, Ph.D. Přírodovědecká fakulta UK

Datum zadání bakalářské práce: **26.01.2022** Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2022**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2023**

prof. Ing. Roman Čmejla, CSc. podpis vedoucí(ho) práce	doc. Ing. Radoslav Bortel, Ph.D. podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry	prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D. podpis děkana(ky)

 © ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

.	
Datum převzetí zadání	Podpis studentky

© ČVUT v Praze, Design: ČVUT v Praze, VIC

Poděkování / Prohlášení

Chtěla bych poděkovat profesoru Ing. Romanu Čmejlovi, CSc., za cenné rady a vstřícnost při vedení této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Evě Landové, Ph.D., a Mgr. Šárce Peléškové za spolupráci a odborné připomínky. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině a přátelům za trpělivost a podporu.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 17. 5. 2022

.....

Abstrakt / Abstract

Tato práce se zabývá vlivem psychického stresu na variabilitu srdeční frekvence (HRV) u fobických osob. V teoretické části jsou vysvětleny pojmy stres a stresová reakce i metody používané pro měření jejich fyziologických projevů, rovněž je vysvětlen pojem fobie s důrazem na fobii ze zvířat, jíž se práce blíže zabývá. Dále je popsána srdeční činnost včetně frekvence srdce a vysvětleny metody analýzy HRV i používané parametry. V praktické části práce jsou zpracovány EKG signály získané od osob trpících fobií z hadů či pavouků. Z těchto signálů jsou získávány parametry HRV, které jsou následně vyhodnocovány. Jako parametry potenciálně vhodné pro detekci stresu u fobiků se jeví SD2/SD1, LF/HF, SD2, LF, pNN50 či HR.

Klíčová slova: stres, variabilita srdeční frekvence, fobie, zpracování signálů.

This thesis examines the effect mental stress has on the heart rate variability (HRV) of phobic patients. In the theoretical section, the concept of stress and stress response are explained as well as the methods used to measure their physiological expressions. Also, the concept of phobia is explained, with an emphasis on animal phobias which is the main focus of the thesis. The heart activity, including heart rate, is described and the methods used to analyse HRV are explained, including the parameters used. In the practical part, ECG signals taken from phobic patients afraid of snakes or spiders are processed. From these signals, the HRV parameters are obtained and then evaluated. Parameters SD2/SD1, LF/HF, SD2, LF, pNN50 or HR seem to be potentially useful for stress detection in phobic patients.

Keywords: stress, heart rate variability, phobia, signal processing.

Title translation: The effect of mental stress on heart rate variability

Obsah /

1 Úvod **1**
1.1 Stres 1
1.1.1 Stresory 2
1.1.2 Dělení stresu 2
1.2 Stresová reakce 2
1.3 Fyziologie stresu 3
1.3.1 Autonomní nervový systém . 3
1.3.2 Rozdíly ve fyziologii stresu u žen a mužů 4
1.3.3 Projevy stresu 4
1.4 Měření stresu 4
1.5 Fobie 5
1.5.1 Fobické projevy 5
1.6 Fobie ze zvířat 6

2 Variabilita srdeční frekvence **7**
2.1 Srdce a srdeční činnost 7
2.1.1 EKG 7
2.2 Frekvence srdce 8
2.2.1 Variabilita srdeční frekvence . 8
2.3 Analýzy HRV 9
2.3.1 Časová analýza 9
2.3.2 Frekvenční analýza 10
2.3.3 Nelineární metody 11
2.4 Ovlivňování HRV 13
2.4.1 Vliv stresu na parametry HRV 13

3 Metodika práce **15**
3.1 Pořízení dat 15
3.1.1 Dotazníky 15
3.1.2 Prezentace 17
3.2 Zpracování dat 18
3.2.1 Algoritmus k-means 18

4 Výsledky a diskuze **20**
4.1 Porovnání fobiků a zdravých osob 20
4.2 Určování extrémů mezi segmenty 22
4.2.1 Blokové signály 22
4.2.2 Neblokové signály 22
4.3 Klasifikace dle extrémů mezi segmenty 22
4.3.1 Klasifikace dle dvojic parametrů 23
4.4 Rozdílné hodnoty parametrů v závislosti na fobii 24
4.5 Korelace parametrů a klasifikace pomocí k-means 25
4.6 Zhodnocení měření vzhledem k výsledkům 25

5 Závěr **29**

Literatura **31**

A Zkratky a symboly **35**
A.1 Slovník zkratek 35

B Tabulky výsledků **36**

Tabulky / Obrázky

2.1 Přehled parametrů HRV 12
3.1 Věková struktura souboru respondentek 15
3.2 Výsledky dotazníku SNAQ 16
3.3 Výsledky dotazníku SPQ 16
3.4 Výsledky dotazníku DSR 16
3.5 Kategorie hadích stimulů 17
3.6 Kategorie pavoučích stimulů... 17
4.1 Porovnání hodnot parametrů u zdravých osob a u fobika 21
4.2 Úspěšnosti klasifikace dle extrémů jednotlivých parametrů . 23
4.3 Úspěšnosti klasifikace podle dvojic parametrů - hadí bloky . 24
4.4 Klasifikace dle rozdílných hodnot parametrů..... 24
4.5 Korelace parametrů v prostředních segmentech (krátké úseky segmentů)..... 27
4.6 Korelace parametrů v prostředních segmentech..... 28

2.1 EKG křivka 8
2.2 Frekvenční analýza HRV..... 11
2.3 Poincarého graf..... 12
4.1 EKG s detekovanými R špičkami 20
4.2 Příklad spektra získaného ze signálu 21
4.3 K-means HR a SD2 (hadí bloky)..... 26
4.4 K-means ApEn a SD2/SD1 (hadí nebloky)..... 26
B.1 Klasifikace - hadí bloky (krátké úseky) 36
B.2 Klasifikace - pavoučí bloky (krátké úseky) 37
B.3 Klasifikace - hadí nebloky (krátké úseky) 38
B.4 Klasifikace - pavoučí nebloky (krátké úseky) 39
B.5 Klasifikace - hadí bloky 40
B.6 Klasifikace - pavoučí bloky 41
B.7 Klasifikace - hadí nebloky 42
B.8 Klasifikace - pavoučí nebloky .. 43
B.9 Korelace - hadí bloky (krátké úseky)..... 43
B.10 Korelace - pavoučí bloky (krátké úseky) 44
B.11 Korelace - hadí nebloky (krátké úseky) 44
B.12 Korelace - pavoučí nebloky (krátké úseky) 44
B.13 Korelace - hadí bloky 45
B.14 Korelace - pavoučí bloky..... 45
B.15 Korelace - hadí nebloky..... 45
B.16 Korelace - pavoučí nebloky 46

Kapitola 1
Úvod

Se stresem v jeho akutní či chronické podobě se během života setká snad každý člověk. Fyziologické reakce vyvolávané stresem původně pomáhaly našim předkům přežít a i dnes mohou mít v některých situacích pozitivní účinky. Na druhou stranu však fyzické i psychické dopady stresu mohou značně snižovat kvalitu života jedince a někdy i negativně ovlivňovat jeho zdravotní stav.

Z pohledu různých vědních oborů včetně medicíny je podstatné, že pro detekci a hodnocení stresu lze často využívat fyziologické reakce organismu vyvolávané zejména činností nervového a endokrinního systému. Pro tyto účely se používají nejrůznější biologické signály spojené například s činností srdce, mozku, kožních žláz či zornic. Aby však bylo možné provádět měření těchto signálů za účelem bližšího zkoumání stresové reakce, je nutné umět zkoumaným respondentům vhodně navodit přiměřené pocity stresu.

Situace, jež člověka dostanou do akutní stresové reakce, mohou být různé – často může jít třeba o zkoušku ve škole, pracovní pohovor nebo prezentaci před publikem. Pro osoby trpící fobií však může výrazně stresující situací být i setkání s jejich fobickým stimulem. V případě specifických fobií ze zvířat, jimiž se tato práce zabývá, se pak nemusí vždy nutně jednat přímo o kontakt s konkrétním zvířetem, stresovou reakci může způsobit například i pohled na fotografii zvířete.

Tato práce si klade za cíl zjistit, zda je prostřednictvím metod analýzy variability srdeční frekvence možné detekovat stres a případně i jeho intenzitu u fobiků vystavených pohledu na jejich fobický stimul. Pro tyto účely využívá záznamy EKG signálů od respondentů trpících fobiemi z hadů a pavouků. Zmíněné signály byly pořízeny v rámci výzkumů prováděných na Přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy.

Teoretická část práce poskytuje přehled o stresu a jeho fyziologických projevech, dále o fobiích a v neposlední řadě o variabilitě srdeční frekvence, používaných metodách její analýzy a faktorech, jimiž může být ovlivňována. Praktická část práce se pak věnuje samotné analýze variability srdeční frekvence na datech získaných od fobických respondentů a jejímu vyhodnocení.

1.1 Stres

Stres (příp. stress) je slovníkem cizích slov definován jako „soubor podnětů působících nadměrně na organismus“ a dále jako „stav živého organismu při mobilizování obranných opatření proti působení těchto podnětů“. [1] Můžeme tedy říci, že se jedná o reakci organismu na podněty nebo situace, které jsou nějakým způsobem nestandardní, často ohrožující nebo nebezpečné.

Samotná definice stresu z pohledu medicínského, případně psychologického je podobná. Zakladatel teorie stresu Hans Selye jej definoval jako „nespecifickou reakci těla na jakýkoliv požadavek“. [2] Dle [3] stres nastává „když se lidé setkají s událostmi jež vnímají jako ohrožení své tělesné nebo duševní pohody“.

1.1.1 Stresory

V souvislosti s problematikou stresu se často setkáváme i s pojmem stresor (příp. stressor). Ten je ve slovníku cizích slov vysvětlen jako „příčina vyvolávající stres“, [3] pak stresory definuje jako „události, které jedinec vnímá jako ohrožení svého tělesného a psychického rovnovážného stavu“. Samotný stres nastává, pakliže intenzita stresoru či více stresorů je vyšší než může daný jedinec za daných podmínek zvládnout. [4]

Stresory můžeme rozlišovat podle různých kritérií, například na stresory vnitřní a vnější nebo akutní a chronické. [5] Mezi stresory obecně patří nejrůznější nebezpečné situace vyvolávající v jedinci pocit ohrožení, traumatické zážitky, konflikty (vnitřní i v mezilidských vztazích) apod. [6] Může se jednat o výrazně závažné situace (přírodní katastrofy, války, havárie, násilné trestné činy), ale i běžnější události (úmrtí blízké osoby, vážné onemocnění, ztráta zaměstnání apod.) [3]

Za určitý opak stresorů pak lze považovat takzvané salutory, tedy povzbuzující faktory přispívající ke schopnosti jedince zvládat danou stresovou situaci, např. dobré zprávy nebo podpora od jiného člověka. [4]

1.1.2 Dělení stresu

Stres můžeme dělit různými způsoby – např. na krátkodobý a dlouhodobý či na anticipační (z budoucí situace) a doznívající (z již proběhlé situace). [7] Patrně nejznámějším je však dělení na eustres a distres, které vychází z potřeby zohlednit v problematice stresu roli subjektivního zhodnocení situace jedincem.

Jako eustres označujeme stres, jenž není spojen s negativními emocemi – naopak jde o zátěž, která zároveň přináší radost (narození dítěte, svatba, výhra) nebo o hraniční rizikové situace, do nichž se jedinec dostal na základě vlastního rozhodnutí (sportovní výkony, cestování). [4] Jeho účelem je mobilizace jedince k výkonu. Eustres bývá krátkodobý a ačkoliv je provázen negativními projevy, po jeho skončení se zpravidla dostavují naopak pozitivní pocity radosti a uvolnění. [6]

Oproti tomu distres značí stres spojený s výrazně negativními emocemi, kdy se jedinec domnívá, že není možné stresovou situaci zvládnout. Bývá dlouhodobý, chronický a může ovlivnit fyzické i psychické zdraví jedince, případně jej až ohrozit na životě. [4, 6]

1.2 Stresová reakce

Stresová odpověď (reakce) je skupina fyziologických jevů, které mají pomoci organismu vyrovnat se s působením stresoru. Pokud však trvá příliš dlouho, může mít na organismus naopak negativní účinky. [8]

Hans Selye definoval na základě svých experimentů skupinu fyziologických reakcí organismu na různé druhy zátěže a ohrožení, kterou nazval obecný adaptační syndrom (GAS, General Adaptation Syndrome). Syndrom rozděluje do tří fází – poplach, rezistence a vyčerpání. Poplachová fáze zahrnuje aktivaci organismu ke zvýšené činnosti a k reakci „boj nebo útěk“. Ve fázi rezistence se organismus snaží vypořádat se stresorem, přičemž pokud tato fáze trvá příliš dlouho, může docházet k takzvaným nemocem adaptace (např. žaludeční vředy, hypertenze nebo další kardiovaskulární onemocnění). Ve fázi vyčerpání organismus podléhá stresoru. [4]

Reakce jedince na stres mohou být fyziologické i psychologické a často závisí na konkrétní situaci i jedinci. Silnější fyziologické reakce nastávají u situací, které jsou nové, neočekávané nebo neovlivnitelné. Navzájem se liší i reakce na akutní a chronický stres, což se projevuje např. u imunitního systému. Zatímco akutní stres vede spíše

k dočasnému posílení obranyschopnosti organismu, chronický stres naopak oslabuje imunitu. [5]

Je nutné zmínit, že různí jedinci mohou mít rozdílnou responzivitu na stres, tedy reagují na stresory odlišně. Intenzita, s níž daný jedinec reaguje na stres, je zřejmě podmíněna nejen geneticky, ale rovněž závisí na prenatálním vývoji a posléze i na výchově a prostředí. [5] Svou roli sehrává i zranitelnost jedince závisející na věku či zkušenostech. [4]

1.3 Fyziologie stresu

Klíčovým orgánem pro reakci organismu na stresor je mozek, přičemž zásadní úlohu zde hrají osa hypotalamus-hypofýza-nadledviny (HPA) a autonomní nervový systém (ANS), především tedy jeho sympatická část. [9] Jejich působením dochází k fyziologickým projevům, které můžeme měřit a vyhodnocovat tak stres jedince. Jelikož ANS zodpovídá spíše za rychlou primární reakci, zatímco HPA za pomalejší sekundární reakci [5], mohou stresové situace navozené odlišnými typy stresorů mít jiné projevy. [10]

Hypotalamus udržuje homeostázu prostřednictvím řízení veškerých autonomních a většiny endokrinních funkcí organismu. Při stresové reakci aktivuje hypofýzu, která uvolňuje hormony včetně ACTH (kortikotropin, adrenokortikotropní hormon). Ten aktivuje nadledvinky, čímž vyvolá následné uvolnění stresových hormonů včetně kortizolu. Kortizol zrychlí metabolismus, zvýší hladinu krevního cukru a začne se podílet na regulaci krevního tlaku a imunitních reakcí. Produkce kortikotropinu je po stresové události díky negativní zpětné vazbě tlumena a hladiny kortizolu se vracejí do normálu. U chronického stresu však k této regulaci nedochází a hladiny kortizolu jsou zvýšeny dlouhodobě. [5, 11]

1.3.1 Autonomní nervový systém

Autonomní nervový systém (ANS) je jednou z částí periferního nervového systému. Zodpovídá za základní vůlí neovlivnitelné životní funkce jako srdeční činnost, trávení a vylučování, pocení apod. Neurony patřící do autonomního (vegetativního) nervového systému inervují vnitřní orgány, srdce a cévy, kůži a žlázy. Ačkoliv je jeho funkce modulována činností centrální nervové soustavy (především drahami hypothalamu a limbického systému [12]), samotný ANS není ovlivnitelný vůlí, tudíž měřitelné projevy stresové odpovědi vyvolané jeho činností by měly být pro vyhodnocování stresu vhodnější než subjektivní měření (např. formou dotazníků).

Autonomní nervový systém se rozděluje na dvě větve – sympatikus (pars sympathica) a parasympatikus (pars parasympathica). Účinky obou větví jsou většinou odlišné až antagonistické [13], působí však koordinovaně a jejich vzájemná rovnováha udržuje normální stav organismu. [3]

Činnost sympatiku připravuje organismus na reakci „útok nebo útěk“, je spjata především se stavy vzrušení. Projevuje se zrychlením srdeční činnosti, zvýšením tělesné teploty a krevního tlaku, rozšířením zornic a dýchacích cest, zvýšením sekrece potu, kontrakcí svěračů apod. Rovněž aktivuje produkci některých hormonů. Sympatikus je rozsáhlejší, funguje jako celek, ovlivňuje více orgánů zároveň. [12, 3]

Naproti tomu činnost parasympatiku zodpovídá za klidové chování během odpočinku a za obnovu energetických rezerv organismu. Dochází ke zpomalení srdeční činnosti, poklesu tělesné teploty nebo relaxaci svěračů a zúžení dýchacích cest. Má menší rozsah (neinervuje např. kůži, svaly končetin) a většinou ovlivňuje pouze jeden orgán současně. [12, 3]

Srdce a celý kardiovaskulární systém jsou inervovány z obou větví ANS. Zatímco parasympatikus má větší chronotropní[1] účinek, sympatikus má především účinek inotropní[2]. [11] Sympatikus pak vyvolává zrychlení a zesílení srdeční činnosti, druhotně i rozšíření koronárních tepen, zatímco parasympatikus srdeční činnost naopak zpomaluje a tepny zužuje. [12]

ANS sehrává roli i na hormonální bázi, a to stimulací dřeně nadledvinek, již lze považovat za součást nervového i endokrinního systému. [13] Dřeň vyvolá produkci stresových hormonů – adrenalinu a noradrenalinu. [5] Oba tyto hormony se řadí mezi katecholaminy a mezi jejich účinky patří inotropní, chronotropní i dromotropní[3] účinky na srdeční činnost, bronchodilatace, mydriáza nebo zvýšení sekrece potu. [14]

1.3.2 Rozdíly ve fyziologii stresu u žen a mužů

Projevy stresové odpovědi i jejich intenzita se mohou lišit na základě pohlaví jedince. Zejména u žen ve fertilním věku jsou oproti mužům pozorovány menší účinky ANS i HPA, což zřejmě souvisí s hladinami estrogenu. V prepubertálním a postmenopauzálním období života tyto rozdíly přestávají být tolik významné. [15]

Pokud jde o činnost ANS, zmiňovány jsou především rozdíly v činnosti sympatiku, jenž u žen oproti mužům více reaguje na inhibiční stimuly než na ty excitující a jeho aktivace je celkově méně výrazná. Tyto rozdíly se navíc mohou měnit v závislosti na fázích menstruačního cyklu. [15]

1.3.3 Projevy stresu

Stresová reakce zahrnuje mnoho různých příznaků fyziologického, psychologického či emocionálního a behaviorálního charakteru. Mezi psychické a emocionální příznaky patří změny nálad, pocity únavy, potíže s koncentrací, zvýšená podrážděnost, snížená schopnost empatie či omezování mezilidských kontaktů. Behaviorální příznaky mohou zahrnovat např. nerozhodnost, zhoršenou kvalitu práce, ztrátu chuti k jídlu nebo naopak sklony k přejídání, zvýšenou konzumaci návykových látek nebo změny v denním rytmu a spánkovém režimu. [16, 4]

Pro účely této práce jsou však nejzásadnější projevy fyziologické. Do této skupiny patří palpitace („bušení srdce vnímané jako nepříjemný pocit“ [1]) a bolestivé pocity za hrudní kostí, bolesti hlavy až migrény, bolesti břicha, nechutenství, napětí svalů (především v oblasti krční a křížové páteře), časté nucení na močení, změny v menstruačním cyklu apod. [16, 4]

Jelikož stres má výrazné dopady na činnost oběhového a imunitního systému, může mít především v případě dlouhodobého chronického stresu spojitost s rozvojem kardiovaskulárních či infekčních chorob a zánětů. [11] Negativní dopady stresu se však mohou projevit i ve svalové soustavě, trávicím, vylučovacím a pohlavním systému nebo v dýchání. [16]

1.4 Měření stresu

Metody zjišťování a měření stresu lze rozdělit na metody psychologického charakteru, založené na využívání dotazníků, a metody vycházející ze znalostí o fyziologických, příp. biochemických projevech stresu. [4] Co se týče subjektivního hodnocení, existují různé standardizované dotazníky, často zaměřené na konkrétní skupinu jedinců,

[1] ovlivňující srdeční frekvenci
[2] ovlivňující stahy myokardu
[3] ovlivňující rychlost šíření vzruchu

např. studenty nebo osoby vykonávající konkrétní profesi. [7] zmiňuje jako nejčastěji využívaný dotazník PSS (Perceived Stress Scale) zaměřený na subjektivně pociťované emoce.

K měření a hodnocení fyziologických projevů stresu je možné využívat různé parametry, nejčastěji související se srdeční činností nebo dýcháním. [4] Za tradičně využívané signály v oblasti měření stresu lze považovat především EKG a EEG, dále pak např. kožní vodivost (GSR, EDA), fotopletysmografii (PPG) nebo oční aktivitu (rozšiřování zornic, rychlost mrkání). [17] Z biochemických parametrů bývá využíváno stanovení hladiny katecholaminů v moči nebo pozorování změn v sekreci hormonů, konkrétně ACTH (adrenokortikotropní hormon) a kortikosteroidů (např. kortizolu). [4]

Jak zmiňuje [4], nezanedbatelným faktorem v měření stresu prostřednictvím fyziologických parametrů je často i stres způsobený samotným snímáním.

1.5 Fobie

Dle klasifikace podle APA (American Psychological Association) z roku 1994 se fobie řadí mezi úzkostné poruchy. Konkrétně se jedná o fobické poruchy, tedy „poruchy, u nichž jedinec prožívá úzkost, pokud se nemůže vyhnout určitému objektu nebo situaci, ze kterých má strach“. [3]

Úzkostnou poruchou se rozumí abnormální úzkostná a stresová reakce na situaci, kterou většina lidí běžně zvládá. Kromě fobií k nim patří např. generalizovaná úzkostná, obsedantně kompulzivní nebo posttraumatická stresová porucha. Samotné projevy úzkosti se pak dělí na fyziologické, emoční, kongitivní a behaviorální. [3]

Fobie je dle [3] definována jako „intenzivní strach z podnětu nebo situace, kterou ostatní lidé nepovažují za výrazně nebezpečnou.“ Podobnou definici fobie uvádí i [18], a to „trvalý a nadměrný strach z určitého objektu nebo situace, která ve skutečnosti nebezpečná není“. Někteří lidé mohou trpět skrytou fobií, která se neprojeví, dokud se neocitnou ve fobické situaci, z níž nemají možnost úniku.

Fobie se dělí na prosté (specifické) fobie, sociální fobie a agorafobie, přičemž fobie z konkrétních situací (výšky, uzavřené prostory apod.) či objektů (včetně zvířat) patří mezi specifické fobie. [18] Ty se rozdělují do pěti základních subtypů, z nichž jedním jsou fobie ze zvířat.

Hranice mezi běžným výraznějším strachem a fobií není jednoznačná. Aby bylo možné hovořit o fobii, musí být strach jedince z daného podnětu nepřiměřený skutečné nebezpečnosti nebo mu výrazně negativně zasahovat do běžného života, kdy se buď daným podnětům vyhýbá či jsou pro něj nadměrně stresující. Zároveň však platí, že si mnoho fobiků dokáže přiznat iracionalitu svých obav ve chvílích, kdy nejsou se svým podnětem přímo konfrontováni. [18]

1.5.1 Fobické projevy

Projevy fobie často není možné subjektivně ani objektivně odlišit od projevů jiných úzkostných stavů a poruch. Primární symptomy mohou vyvolat i další pro jedince ohrožující pocity, například dojem že ztrácí kontrolu (obavy ze zvracení, omdlení, paralýzy) nebo že je ohrožen na životě (např. obavy z infarktu). Jedinec může pociťovat i strach z vlastního strachu, což jen umocňuje jeho stresové projevy. Zároveň již samotné očekávání střetu s podnětem vyvolávajícím jeho fobii může u fobika vyvolávat anticipační úzkost. [18]

Většina fyziologických fobických příznaků odpovídá projevům stresové reakce, další příznaky pak mohou být způsobeny zvýšeným svalovým napětím. Zároveň se projevy

fobie mohou lišit v závislosti na jejím typu, kdy například u fobie ze zranění na rozdíl od většiny jiných fobií nedochází ke zrychlení srdečního tepu, ale naopak k jeho poklesu. [18]

Po skončení konfrontace s fobickým podnětem nenastává uklidnění okamžitě, ale přichází postupně v souvislosti s aktivací parasympatiku a postupným metabolismem adrenalinu a noradrenalinu. Stejný proces se spouští i v případě, kdy fobická situace trvá již příliš dlouho a pacient jí začíná přivykat, tedy jeho akutní strach postupně slábne. Tento jev je nazýván habituace. [18]

Kromě tělesných projevů fobie přináší i reakce v oblasti myšlení a chování jedince. Patří sem katastrofické představy, negativní pocity vůči vlastní osobě, zúžené vnímání, sklony vyhýbat se nebo alespoň odkládat činnosti znamenající riziko setkání s podnětem, tendence k zabezpečovacímu chování nebo požívání léků či alkoholu. Kromě toho se fobie zhoršují při stresu či nemoci. [18]

1.6 Fobie ze zvířat

Fobie ze zvířat jsou nejčastěji se vyskytujícími specifickými fobiemi. Patří mezi ně fobie z různých druhů hmyzu, dále například ze psů, z myší nebo z ptáků, avšak nejhojněji se vyskytuje fobie z pavouků a z hadů. Začínají typicky v ranějším věku než jiné fobie, průměrně již kolem 4 až 5 let věku dítěte. Často však může v dospělosti dojít k jejich vymizení, někdy však naopak přetrvávají nebo se zhoršují. [19, 18]

Fobie bývají zpravidla spojeny s emocemi strachu a případně i znechucení, jejichž fyziologické projevy se mohou lišit. Zatímco strach má jedince ochránit před přímým ohrožením, znechucení zřejmě zajišťuje ochranu před případnými infekcemi. Obě tyto emoce jsou regulovány systémem zpětné vazby, přičemž jeho selhání může vést k rozvoji fobie. Reakce jedince je v takovém případě neadekvátně silná až paralyzující, zpravidla bývá doprovázena i silnější fyziologickou odpovědí.

Při experimentu v rámci [20] byly pozorované osoby vystavovány obrázkům hadů ze dvou různých kategorií, kde jedna skupina vyvolávala spíše pocity strachu a druhá naopak znechucení, přičemž byla zjišťována kožní vodivost a srdeční frekvence. Bylo zjištěno, že hadi vyvolávající pocity strachu vzbuzují výraznější fyziologickou reakci než hadi vyvolávající znechucení projevující se především v kožní vodivosti. V srdeční frekvenci se neprojevil významný rozdíl mezi strachem a znechucením, což může souviset s vyšší závislostí srdeční frekvence na dalších parametrech experimentu (např. doba, po niž je obrázek sledován). Rovněž se potvrdilo, že u osob s vyšší mírou strachu z hadů byla kožní i kardiovaskulární odpověď výraznější než u osob s nižší mírou strachu.

Kapitola 2
Variabilita srdeční frekvence

Jedním z biologických signálů využívaných pro analýzu stresu je variabilita srdeční frekvence (HRV) popisující změny v srdeční činnosti. Pro zjišťování variability je nutné určovat RR intervaly, k čemuž mohou být využity záznamy EKG nebo PPG signálů.

2.1 Srdce a srdeční činnost

Krevní oběh rozdělujeme na malý (plicní) a velký (tělní), společným prvkem obou oběhů je srdce sestávající ze čtyř oddílů. Do pravé síně ústí horní a dolní dutá žíla přivádějící neokysličenou krev z celého těla. Odtud se při otevření trojcípé chlopně krev přesouvá do pravé komory, z níž je při otevření poloměsíčité chlopně odváděna skrze plicní kmen do plic. Okysličená krev se pak z plic vrací plicními žilami do levé síně, odkud se při otevření dvojcípé chlopně přesouvá do levé komory. Z ní je pak při otevření poloměsíčité chlopně odváděna aortou do cévního systému celého těla, jímž jsou zásobeny paralelně zapojené orgány. [12–13]

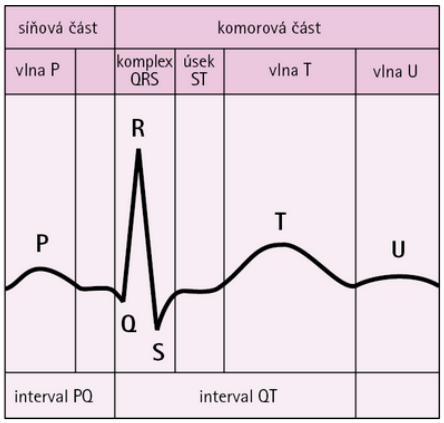
Myokard (srdeční svalovina) je speciální typ svalové tkáně. Jde o tzv. funkční syncytium, tedy jeho buňky jsou navzájem funkčně spojeny, díky čemuž podnět vzniklý kdekoliv v komorách (resp. síních) vede k jejich plné kontrakci. Buňky myokardu se rozlišují na buňky pracovní a buňky převodního systému srdečního, přičemž druhé zmíněné zodpovídají za tvorbu a přenos vzruchu. Díky nim je rytmická činnost myokardu zcela autonomní a nervy inervující srdce ji pouze modulují změnami poměru sympatické a parasympatické aktivity. [21, 12]

Srdeční cyklus je soubor jevů nastávajících v srdci, které se pravidelně opakují, a je vymezen dvěma po sobě jdoucími údery srdce. Začíná spontánní depolarizací sinoatriálního uzlu (tzv. primární, fyziologický „pacemaker“) v pravé síni. Dále se vzruch šíří na obě síně (dochází k jejich kontrakci) a rovněž do atrioventrikulárního uzlu (tzv. sekundární „pacemaker“), odkud je prostřednictvím Hisova svazku, Tawarových ramének a Purkyňových vláken přenášen na celý myokard komor. Dochází ke kontrakci komor a následně k jejich repolarizaci. [13, 11]

2.1.1 EKG

Elektrokardiografie je neinvazivní vyšetřovací metoda používaná zejména v kardiologii a interním lékařství k zaznamenání elektrické aktivity srdce a činnosti myokardu. Jejím výstupem je křivka (tzv. elektrokardiogram), na níž definujeme několik významných prvků vyznačených na obrázku 2.1.

P vlna znázorňuje depolarizaci síní – její začátek odpovídá depolarizaci pravé síně, konec naopak levé síně. QRS komplex odpovídá depolarizaci komor, jeho vrcholem je R špička odpovídající přechodu mezi systolou síní a komor (a tedy i první srdeční ozvě). T vlna značí repolarizaci komor. [13]



Obrázek 2.1. Popis jednotlivých částí EKG křivky. [22]

2.2 Frekvence srdce

Činnost srce je sice rytmická, ne však zcela pravidelná. Tato variabilita může poskytovat značné informace o stavu a činnosti srdce, případně i celého organismu. Jak uvádí [23], můžeme rozlišovat čtyři srdeční frekvence.

Vnitřní (vlastní) srdeční frekvence odpovídá samotné aktivitě sinoatriálního uzlu a je tedy nezávislá na působení ANS. Pro její zjištění je tudíž nejprve nutné farmakologicky vyřadit činnost autonomního nervstva. Její hodnota zásadně souvisí s věkem jedince (avšak např. v případě transplantace nadále odpovídá věku dárce).

Průměrná srdeční frekvence je určována jako průměrný počet úderů srdce za minutu. Kromě věku závisí i na pohlaví a celkovém fyzickém stavu. Za orientační ideální hodnotu je považováno 72 úderů za minutu.

Okamžitá srdeční frekvence je definována jako převrácená hodnota doby trvání konkrétního RR intervalu. Pokud by tedy všechny RR intervaly v signálu měly shodnou délku, průměrná srdeční frekvence bude mít stejnou hodnotu jako okamžitá frekvence v jakémkoliv okamžiku. Jelikož závisí na fyzické zátěži, bývá využívána při kardiovaskulárních testech.

Variabilita srdeční frekvence je způsobena nepravidelnostmi v srdečním rytmu. Nastává v klidu i při zátěži, může být totiž ovlivňována i pouhým dýcháním (tzv. respirační sinusová arytmie), ale i jinými faktory prostřednictvím nervového a endokrinního systému.

2.2.1 Variabilita srdeční frekvence

Variabilita srdeční frekvence (HRV) popisuje změny v délkách trvání RR intervalů, resp. změny v okamžité srdeční frekvenci. [24] Vypovídá především o stavu autonomního nervového systému řídícího srdeční činnost. Reprezentuje rozdíly v době trvání jednotlivých srdečních cyklů, tj. časových intervalů mezi dvěma po sobě následujícími srdečními tepy, resp. R špičkami v EKG křivce. [21]

HRV může být ovlivněna množstvím faktorů – dýcháním, termoregulací, fyzickou i psychickou zátěží jedince, polohou apod. Tyto faktory mohou vyvolávat změny v rozsahu až 15 %. [25] Některé metody analýzy HRV (např. analýza spektra) umožňují částečně odlišit příčiny, resp. typy srdeční variability. [23]

2.3 Analýzy HRV

V roce 1996 sestavila Task Force of the European Society of Cardiology (ESC) and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (NASPE) soubor pokynů k měření, vyhodnocování, fyziologickému významu a klinickému využití HRV. [24] Pro analýzu HRV se používají metody časové, frekvenční i nelineární analýzy. Pro krátké signály (zpravidla kratší než 5 minut) je za vhodnější považována analýza ve frekvenční oblasti. [9]

Parametry používané k vyhodnocování HRV jsou popsány v této podkapitole a rovněž stručně shrnuty v tabulce 2.1.

2.3.1 Časová analýza

Pro analýzu v časové oblasti se používají především statistické ukazatele, vypočítávané z již získaných R-R intervalů. Lze je rozdělit na parametry získávané přímo z RR intervalů (resp. z hodnot okamžité srdeční frekvence) a na parametry získávané z rozdílů mezi těmito intervaly. Časové parametry je vhodné získávat především z delších záznamů. [24] Jsou však používány i pro krátkodobé záznamy, především jde o parametry *SDNN*, *RMSSD*, *pNN50* a *HR Max – HR Min*. [21]

Nejjednodušším parametrem je *SDNN* (Standard Deviation of NN intervals), tedy směrodatná odchylka všech R-R intervalů (resp. NN intervalů) v signálů. NN intervaly jsou RR intervaly mezi dvěma normálními údery srdce. Pokud jsou zahrnuty všechny údery srdce bez ohledu na správnost, jde o parametr *SDRR* [26]. Oba parametry však někdy bývají zaměňovány či spojovány.

Hodnota parametru *SDNN* závisí na délce trvání záznamu a nelze ji tedy používat pro porovnávání záznamů o různých délkách. [24] Dle [9] značí míru fyziologické odolnosti jedince vůči stresu. V kratších záznamech může být rovněž ovlivňována dýcháním. [21]

$$SDNN = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N} |RR_i - meanRR|^2}$$

Za modifikace tohoto parametru lze označit parametry *SDANN* (Standard Deviation of Average NN intervals) pracující s průměrnými délkami R-R intervalů za určitý časových úsek (např. 5 minut) nebo *SDNN index* používaný především pro měření trvající 24 hodin. [24]

Další zmíněné parametry jsou ovlivňovány především parasympatikem [9], jsou spjaty s vysokofrekvenční variabilitou a navzájem korelují. [24] Patří mezi ně například *RMSSD* (Root Mean Square of Successive Differences of NN intervals) definované jako odmocnina ze součtu kvadrátů rozdílů po sobě jdoucích R-R intervalů. Bývá používán k hodnocení vysokofrekvenční variability a rovněž respirační sinusové arytmie. [11] Pro jeho měření je zpravidla nutný alespoň pětiminutový záznam, lze se však setkat i s kratšími.

$$RMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N-1} |RR_{i+1} - RR_i|^2}$$

Další z parametrů je *NN50* jakožto počet dvojic po sobě jdoucích R-R intervalů, které se navzájem liší o více než 50 ms. Lze jej potkat i v podobě *pNN50* coby podílu zmíněných dvojic na celkovém počtu dvojic intervalů. Tento parametr je dle [26] úzce spjat s aktivitou parasympatiku. Rovněž je u krátkodobých signálů považován za vhodnější než například *SDNN*.

Kromě statistických parametrů jsou využívány i parametry geometrické. Vycházejí zejména z histogramu NN intervalů, kdy šířka jeho tříd je stanovena na 7,8125 sekundy (tj. 1/128 sekundy). Mezi geometrické parametry patří HRV triangular index (*HRVTI*) definovaný jako počet všech NN intervalů dělený počtem intervalů v nejvyšším sloupci histogramu nebo parametr *TINN* (Triangular Interpolation of NN interval histogram), kdy je histogram aproximován trojúhelníkem pomoci metody nejmenších čtverců, hodnota *TINN* pak odpovídá šířce jeho základny. Geometrické parametry jsou vhodné především pro delší (alespoň 20 minut, nejlépe však 24 hodin) záznamy. [9, 24]

Pro časovou analýzu HRV jsou dle Task Force [24] doporučovány čtyři parametry – *SDNN*, *SDANN*, *RMSSD* a HRV triangular index. Kromě nich je jako součást analýz HRV možné použít i parametr *HR*, tedy srdeční frekvenci. Odpovídá převrácené hodnotě RR intervalu a uvádí se zpravidla v počtu úderů za minutu. Je možné hodnotit jednak její okamžitou hodnotu (tedy převrácenou hodnotu každého jednotlivého RR intervalu) nebo průměrnou hodnotu za určitý časový úsek.

Pokud jsou RR intervaly v sekundách, lze *HR* vypočítat jako

$$HR = \frac{60}{RR}$$

a průměrnou *HR* jako

$$meanHR = \frac{60}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} RR_i}.$$

2.3.2 Frekvenční analýza

Frekvenční analýza HRV vychází z teorie Fourierovy transformace, kdy daný signál lze rozložit na kombinaci jednodušších signálů (harmonických složek) o konkrétních frekvencích. [11] Pro účely frekvenční analýzy je nutné získat odhad PSD (Power Spectral Density, výkonová spektrální hustota), k čemuž mohou být využité neparametrické nebo parametrické metody. Ilustrační ukázka výsledného spektra je na obrázku 2.2.

Pro účely frekvenční analýzy je výsledné spektrum HRV signálu rozdělováno většinou do tří (u dlouhodobých záznamů až do čtyř) frekvenčních pásem. [26] Konkrétní vymezení frekvenčních rozsahů jednotlivých pásem se u různých autorů částečně liší. U krátkodobých záznamů by měla být frekvenční analýza upřednostňována před časovou. [24]

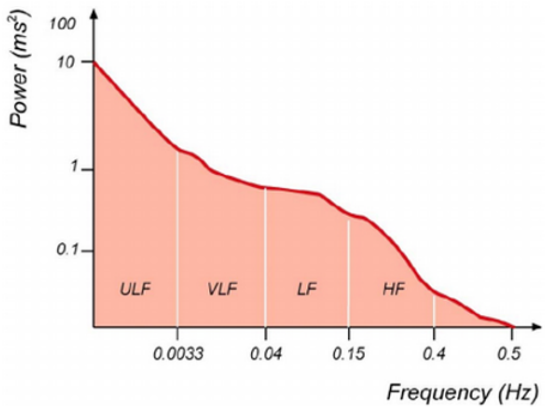
Pásmo velmi nízkých frekvencí (*VLF*) je stanoveno jako frekvence nižší než 0,04 Hz. Přesná fyziologická stránka této frekvenční složky není plně známa. [24] Podle [21] je činnost v tomto pásmu vyvolávána přímo srdcem a modulována aktivitou sympatiku. Jak uvádí [23], svou roli zde sehrává i teplotně způsobené kolísání vazomotorického tonu v periferiích a některé hormonální systémy, např. renin – angiotenzin – aldosteron. Dle [11] nebývá toto pásmo příliš využíváno v psychofyziologii. V souvislosti s fyzickou aktivitou nebo stresovou odpovědí mohou jeho frekvence zasahovat až do pásma nízkých frekvencí. U velmi krátkých (méně než 5 minut) záznamů by k němu dle [24] nemělo být vůbec přihlíženo.

Frekvence nižší než 0,003 Hz mohou být z *VLF* vyčleněny jako pásmo ultranízkých frekvencí (*ULF*) související zejména s cirkadiánním rytmem [26]. Vyskytuje se v dlouhodobých (24 hodin) záznamech. [24]

Pásmo nízkých frekvencí (*LF*) pokrývá frekvence mezi 0,04 a 0,15 Hz, někde [11] pouze od 0,8 do 0,12 Hz. Je řízeno sympatikem i parasympatikem, přičemž poměr jejich vlivů není zcela jednoznačný. Zvýšená aktivita se tedy v pásmu projeví např. při

mentální a mírné fyzické zátěži nebo psychickém stresu. Zároveň zde mají vliv i baroreceptory, jejichž frekvence se pohybuje kolem 0,1 Hz, a vazomotorický šum.

Pásmo vysokých frekvencí (*HF*) je většinou definováno jako frekvence mezi 0,15 a 0,4 Hz (např. u [23] je až do 0,5 Hz, dle [11] může být již od 0,12 Hz). Je spojeno s aktivitou parasympatiku, činností nervus vagus a rovněž je ovlivňováno dýcháním. Nižší aktivita v tomto pásmu se projevuje při panických a úzkostných stavech, stresu a u některých kardiovaskulárních onemocnění. [21]



Obrázek 2.2. Spektrum HRV signálu. [27]

Ve vysokofrekvenčním pásmu se projevuje respirační sinusová arytmie (RSA) – fyziologický jev patrný zejména u mladých lidí [23], kdy při nádechu dochází ke zvýšení okamžité srdeční frekvence, resp. zkrácení RR intervalů, a při výdechu je účinek opačný. Na vzniku RSA se podílí více mechanismů.

Pro vyhodnocování ve frekvenční oblasti bývá používán *LF/HF* poměr, tedy podíl výkonů v pásmu nízkých a vysokých frekvencí. Protože *LF* je ovlivňováno oběma větvemi ANS, zatímco *HF* pouze parasympatikem, vyšší hodnoty tohoto poměru by měly ukazovat na zvýšenou aktivitu sympatiku oproti parasympatiku. [21] Jelikož je ale parasympatikem ovlivňováno i *LF*, není tato teorie přijímána zcela jednoznačně. [11]

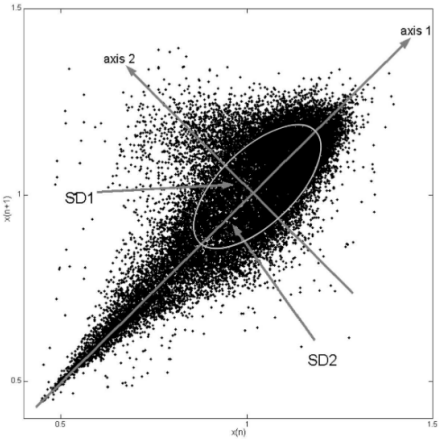
Rovněž i celkový výkon může být spojen s ANS, kdy aktivace sympatiku je spojena s jeho poklesem a naopak činnost bloudivého nervu (tedy parasympatiku) s jeho nárůstem. [24] Dále [23] zmiňuje i další parametry frekvenční analýzy jako např. frekvence maxim spektrální výkonové hustoty v rámci jednotlivých pásem nebo relativní výkony v jednotlivých pásmech oproti celkovému výkonu.

2.3.3 Nelineární metody

Pro účely nelineární analýzy HRV se používá Poincarého graf (Poincaré plot). Souřadnice každého bodu ve grafu jsou definovány délkami dvou po sobě jdoucích R-R intervalů, tedy (RR_i, RR_{i+1}). Množina získaných bodů pak připomíná elipsu, z níž získáváme parametry *SD1* a *SD2*. Ilustrační příklad Poincarého grafu je na obrázku 2.3.

Parametr *SD1* je definován jako směrodatná odchylka vzdáleností bodů od osy souměrnosti $y = x$. [29] jej počítá jako druhou odmocninu z poloviny kvadrátu směrodatné odchylky rozdílů po sobě jdoucích RR intervalů. *SD1* odpovídá okamžité a krátkodobé variabilitě a souvisí s parasympatickou aktivitou. [28, 30]

$$SD1 = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \ std\ (diff\ (RR)\ )^2}$$



Obrázek 2.3. Poincarého graf (převzato z [28]).

Parametr *SD2* je pak tomu definován jako směrodatná odchylka vzdáleností bodů od osy $y = x + prumernyRRinterval$. [29] jej počítá jako druhou odmocninu z rozdílu dvojnásobku kvadrátu směrodatné odchylky RR intervalů a poloviny směrodatné odchylky rozdílů po sobě jdoucích RR intervalů. *SD2* odpovídá dlouhodobé variabilitě a souvisí se sympatickou aktivitou. [26, 28]

$$SD2 = \sqrt{2 \cdot \ std\ (RR)^2 - \frac{1}{2} \cdot std\ (diff(RR)^2)}$$

Lze se setkat i s poměrem *SD1/SD2*, kdy jeho nižší hodnoty značí vyšší činnost sympatiku a naopak převrácená hodnota *SD2/SD1* spíše jeho nižší činnost. Závěr, že parametr *SD2* i poměr obou *SD* parametrů by tedy měly odpovídat míře činnosti sympatiku, však rozporuje například práce [31], kde se projevila spíše korelace s parametry považovanými za parasympatické (*RMSSD* a *HF*). Parametry *SD2* a *SD1/SD2* by zřejmě mohly být ovlivňovány spíše kombinovanou činností sympatiku i parasympatiku, nikoliv pouze jedním z nich.

Jako parametr pro hodnocení HRV může být použita i entropie, a to především jako parametr *ApEn* (Approximate Entropy). Čím je nižší, tím pravidelnější a tudíž předvídatelnější je HRV. [26]

parametr	typ analýzy	vliv
SDNN	časová	odolnost vůči stresu
RMSSD	časová	parasympatikus
pNN50	časová	parasympatikus
LF	frekvenční	sympatikus i parasympatikus
HF	frekvenční	parasympatikus
LF/HF	frekvenční	sympatikus i parasympatikus
SD1	nelineární	parasympatikus
SD2	nelineární	sympatikus (nejednoznačně)
SD1/SD2	nelineární	sympatikus (nejednoznačně)
ApEn	nelineární	pravidelnost signálu

Tabulka 2.1. Přehled používaných parametrů HRV.

2.4 Ovlivňování HRV

HRV může být ovlivňována různými vnějšími i vnitřními faktory. Patří mezi ně dědičnost, věk a pohlaví, poloha těla, tělesná hmotnost a teplota, životní styl, cirkadiánní rytmus nebo fyzická a mentální zátěž. Dále může být HRV ovlivněna i některými onemocněními, příp. medikací. [23, 7] Vliv má i samotná srdeční frekvence, kdy s vyšší frekvencí klesá HRV. [26]

Rozdíly mezi pohlavími jsou dle literatury patrné především u osob ve fertilním věku. U žen je oproti mužům pozorována vyšší aktivita v pásmu *HF*, naopak nižší aktivita v *LF* a rovněž nižší poměr *LF/HF*. Příčinou jsou zřejmě hormonální vlivy, odlišná tělesná konstituce a rozdílný poměr aktivit jednotlivých složek ANS, kdy u mužů převažuje sympatická složka, zatímco u žen složka parasympatická. [23, 32] U žen navíc může vliv na HRV mít i menstruační cyklus. [33]

Věk je považován za jeden z hlavních parametrů ovlivňujících variabilitu srdečního rytmu. S rostoucím věkem dochází k poklesu HRV i většiny jejích parametrů. [23] zmiňuje s věkem pokles celkového spektrálního výkonu i dílčích výkonů. Věkem příliš ovlivněné však nebývají parametry vycházející z velmi nízkých, příp. nízkých frekvencí, tedy ty spjaté aktivitou sympatiku.

Otázce vlivu věku se věnovala i práce [34], byly zde však zkoumány pouze vybrané časové parametry. Avšak i zde byl pozorován pokles parametrů s rostoucím věkem, přičemž u parametrů souvisejících s aktivitou parasympatiku (zde *RMSSD* a *pNN50*) následoval přibližně od 70. roku věku opětovný nárůst.

Rovněž zahřívání povrchu těla (tedy teplotní stres) v experimentech, z nichž vychází [23] vedlo k poklesu výkonu v *HF* pásmu i celkově ve všech pásmech, zároveň k nárůstu poměru *LF/HF*.

2.4.1 Vliv stresu na parametry HRV

Ke spojitosti mezi psychickou zátěží a HRV se vyjadřuje i [23], a to prostřednictvím experimentu se skupinou studentů vystavených zátěži v podobě matematického testu. Byl pozorován pokles celkové variability srdeční frekvence a prostřednictvím analýzy spekter i pokles činnosti parasympatiku. Dále pak [26] uvádí, že nízký výkon v *HF* pásmu koreluje se stresem či úzkostí.

V práci [35] bylo u 52 účastníků (26 mužů a 26 žen) zkoumáno, jak bude jejich HRV ovlivněno tím, že přednášejí pro 200 studentů, a zda se tyto projevy budou lišit v souvislosti s pohlavím. V rámci experimentu byl zjištěn pokles vysokofrekvenční složky HRV a nárůst *LF/HF* poměru. Oproti tomu v nízkofrekvenční složce HRV nebyly pozorovány změny. Zároveň nebyly zaznamenány význačné rozdíly u žen a mužů.

Stejně tak v práci [36] byla na 12 účastnicích zkoumána kardiovaskulární stresová odpověď na psychický stres během práce na počítači. I zde došlo při stresu k poklesu vysokofrekvenční složky a zvýšení *LF/HF* poměru (oproti měření bez stresové zátěže). Tato práce podporuje teorii, že HRV je dobrým ukazatelem psychického stresu.

Práce [7] zkoumala stres u studentů farmacie, přičemž byly sledovány především parametry frekvenční analýzy. Studenti s vyšší mírou stresové zátěže vykazovali nižší parametry HRV, zejména pokud šlo o výkon v *LF* pásmu.

V práci [37] byl prostřednictvím EKG záznamů pořízených v 70. letech od 653 mužů zjišťován vztah mezi parametry HRV a stresory ze zaměstnání. I zde pokesl výkon ve vysokofrekvenčním pásmu a naopak vzrostl *LF/HF* poměr, zároveň byl pozorován i pokles parametru *pNN50*. Ve výkonu nízkofrekvenčního pásma ani v parametru *SDNN* nebyly změny pozorovány.

Ve [38] byly u 34 studentů vyvolávány pocity strachu a smutku prostřednictvím promítání šesti krátkých filmů. Kromě parametrů srdeční činnosti bylo pozorováno i dýchání, vodivost kůže a výraz obličeje prostřednictvím EMG. Dle rešerše provedené pro tento experiment se při strachu většinou zvyšuje srdeční frekvence a naopak klesá její variabilita. Experiment mimo jiné potvrdil reakci „útok nebo útěk“ při pocitech strachu, což se projevilo právě např. zvýšením srdeční frekvence.

Rešerše literatury [39] zabývající se vlivem akutního psychického stresu na HRV zkoumala 12 studií, z nichž každá pracovala s určitým výběrem parametrů. Z časových parametrů došlo ke shodě ohledně poklesu *RMSSD*, *pNN50* a průměrného RR intervalu a částečně i co se týče poklesu *SDNN*. Z frekvenčních parametrů nedošlo ke shodě ohledně *LF*, avšak pokles *HF* a nárůst *LF/HF* se jednoznačně objevil ve většině zkoumaných prací. Co se týče nelineární analýzy, parametry *SD1* a *SD2* byly použity pouze v jedné práci.

Kapitola 3
Metodika práce

Tato kapitola popisuje strukturu dat, způsob jejich získání a metody zvolené pro jejich analýzu. Data pro účely práce byla získána od týmu kolem RNDr. Evy Landové, Ph.D. z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze.

3.1 Pořízení dat

Celkem byly získány EKG signály od 107 respondentek ve věku 18 až 65 let s různou mírou fobie z hadů či pavouků, v několika případech z obou druhů zvířat. Určení, zda a případně jak výraznou fobií respondentka trpí, bylo provedeno pomocí dotazníků. Zastoupení jednotlivých věkových kategorií popisuje tabulka 3.1, rozdělení dle hodnot v dotaznících pak tabulky 3.2 a 3.3.

Samotné měření pak probíhalo během sledování prezentací obsahujících obrázky daných zvířat. Všechny respondentky absolvovaly měření na oba typy stimulů (hady i pavouky) bez ohledu na to, které z nich je pro ně fobickým stimulem. Používány byly čtyři různé prezentace, čímž pádem byly od každé respondentky pořízeny čtyři signály.

V rámci této práce nebyly zkoumány signály pořízené od tzv. kontrol, tedy respondentů, kteří netrpí fobií ani na jedno z používaných zvířat. V případě, že by bylo nutné porovnat výsledky fobiků a kontrol u jednoho typu zvířete (např. hadů), bylo doporučeno jako kontroly využít data od respondentek, jež jsou fobické výhradně na druhý typ zvířete (např. pavouky).

věkové rozpětí	počet
18 - 20	5
20 - 30	70
30 - 40	19
40 - 50	9
50 - 60	2
60 - 70	2

Tabulka 3.1. Věková struktura souboru respondentek.

3.1.1 Dotazníky

Pro účely detekce a popřípadě i stanovení míry fobie respondentek byly použity české verze standardizovaných dotazníků SNAQ, SPQ a DS-R.

Dotazník SNAQ (Snake Anxiety Questionnaire) sestává ze 30 tvrzení týkajících se hadů a fobie z nich. Respondent u každého tvrzení určuje, zda je pro něj pravdivé či nepravdivé. Po vyplnění jsou sečteny body, kdy za kladnou odpověď je přičítán jeden bod a za zápornou nula bodů (přičemž tvrzení formulovaná v negativním tvaru jsou bodována opačně). Výsledné skóre se tedy pohybuje v rozpětí 0 až 30 bodů, avšak

hranice pro detekci fobika není určena jednoznačně a může se nacházet kolem rozmezí 18 až 22 bodů. Výsledky respondentek jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Velmi podobný je i dotazník SPQ (Spider Fear Questionnaire) složený ze 31 tvrzení ohledně pavouků a fobie z nich. Rovněž i zde respondent určuje, zda pro něj jednotlivá tvrzení platí či nikoliv. Sečtení bodů funguje shodně jako u SNAQ s tím, že výsledné skóre může nabývat rozpětí 0 až 31 bodů. Ani zde není hranice pro detekci fobika určena jednoznačně a nachází se v podobném rozmezí jako u SNAQ. Výsledky respondentek jsou uvedeny v tabulce 3.3.

Dotazník DS-R (Disgust Scale-Revised) se netýká přímo fobií, nýbrž pocitu znechucení, který však může být s některými fobiemi spjat. Skládá se z 27 tvrzení, přičemž respondent u každého určuje míru svého souhlasu s tvrzením pomocí škály 0 (silný nesouhlas) až 4 (silný souhlas). Výsledné skóre je i zde získáno sečtením bodů z odpovědí (negativně formulovaná tvrzení jsou opět bodována obráceně) a pohybuje se v rozmezí 0 až 100 bodů. Výsledky respondentek jsou uvedeny v tabulce 3.4.

SNAQ skóre	počet
0 - 10	49
10 - 18	13
18 - 22	13
22 - 30	32

Tabulka 3.2. Rozdělení respondentek dle výsledků dotazníku SNAQ.

SPQ skóre	počet
0 - 10	33
10 - 18	14
18 - 22	19
22 - 31	41

Tabulka 3.3. Rozdělení respondentek dle výsledků dotazníku SPQ.

DS-R skóre	počet
0 - 10	0
10 - 20	3
20 - 30	8
30 - 40	12
40 - 50	25
50 - 60	29
60 - 70	21
70 - 80	8
80 - 90	1
90 - 100	0

Tabulka 3.4. Rozdělení respondentek dle výsledků dotazníku DSR.

3.1.2 Prezentace

V rámci experimentu byly pro navození fobické situace použity prezentace obsahující obrázky konkrétních zvířat. Prezentace se navzájem částečně lišily obsahem (obrázky hadů nebo pavouků) i uspořádáním (tzv. blokové a neblokové). Jednalo se celkem o čtyři různé prezentace, a to

- bloková prezentace hadů
- nebloková prezentace hadů
- bloková prezentace pavouků
- nebloková prezentace pavouků.

V prezentacích byly použity obrázky dvojího typu (listy a zvířata). Listy byly používány jako neutrální stimul. Obrázky zvířat byly rozděleny do pěti kategorií podle toho, jak intenzivní reakci by u fobika měly vyvolat. Rozdělení je blíže popsáno v tabulkách 3.5 a 3.6.

kategorie	obsah obrázků
-	listy
0	části těl ještěrek
1	obrysy hadů, rozostření hadi
2	výřezy zobrazující hadí kůži
3	větší části hada
4	celí hadi (včetně hadů skrytých za listy)

Tabulka 3.5. Kategorie stimulů použitých v prezentacích s hady.

kategorie	obsah obrázků
-	listy
0	uskupení malých pavouků
1	části těl pavouků
2	obrysy pavouků, rozostření pavouci
3	větší části pavouka
4	celí pavouci (včetně pavouků skrytých za listy)

Tabulka 3.6. Kategorie stimulů použitých v prezentacích s pavouky.

Bloková prezentace sestávala z jedenácti skupin tvořených vždy deseti po sobě jdoucími obrázky stejného typu (listy nebo zvířata) a v případě zvířat i kategorie závažnosti. Jednotlivé skupiny byly za sebou řazeny tak, aby se střídaly skupiny listů a zvířat a zároveň aby se intenzita zvířecích skupin v rámci prezentace postupně zvyšovala. Skupiny byly v rámci prezentace navzájem odděleny snímkem černé obrazovky, který se zároveň nacházel i na úplném začátku a konci prezentace.

Nebloková prezentace byla tvořena 53 jednotlivými obrázky řazenými za sebou tak, aby se pravidelně střídal typ obrázku (list nebo zvíře) a rovněž aby se intenzita obrázků se zvířaty postupně zvyšovala v průběhu prezentace. Každé dva po sobě jdoucí obrázky byly navzájem odděleny snímkem černé obrazovky, jenž se opět nacházel i na začátku a konci prezentace.

Přechody mezi skupinami u blokových a jednotlivými snímky u neblokových prezentací byly značeny stiskem klávesy, který prováděl dozor v rámci experimentu.

3.2 Zpracování dat

Ke zpracování a analýze získaných EKG signálů bylo použito prostředí Matlab. Pro získání požadovaných RR intervalů bylo nutné v signálech nejprve detekovat R špičky. K tomu byla využita implementace Pan-Tompkinsova algoritmu použitá v předmětu Základy zpracování signálů (ZZS) v zimním semestru roku 2020, která sestávala z následujících kroků:

1. filtrace
2. kvadrát diference
3. moving-average filtrace
4. prahování a rozklad na dílčí úseky
5. detekce maxim v jednotlivých úsecích

Signál včetně označených R špiček byl navíc rozdělen na segmenty odpovídající jednotlivým skupinám (u blokových prezentací, resp. obrázkům u neblokových prezentací), zároveň byly z označených R špiček vypočítány RR intervaly nutné pro samotnou analýzu HRV.

K analýze HRV byly využity kódy z publikace [29]. Ty byly upřednostněny před toolboxem Matlabu [40] vytvořeným právě pro analýzy HRV z toho důvodu, že bylo nutné analyzovat z každého signálu velké množství jednotlivých segmentů. Příklad spektra získaného tímto způsobem je na obrázku 4.2.

Pro analýzu byly zvoleny následující parametry:

- *HR*,
- *SDNN*, *RMSSD*, *pNN50*,
- *LF*, *HF*, (*relLF*, *relHF*, *power*), *LF/HF*,
- *SD1*, *SD2*, *SD2/SD1*,
- *ApEn*,

přičemž parametry *relLF* a *relHF* jsou pouze relativní hodnoty *LF* a *HF* vůči celkovému výkonu definovanému jako součet obou parametrů a parametr *power* jakožto celkový výkon odpovídá tomuto součtu.

3.2.1 Algoritmus k-means

Algoritmus k-means, respektive jeho implementace, která je k dispozici v prostředí Matlab, byl použit pro jednu z částí zpracování výsledků. Jde o jeden z klasifikačních algoritmů shlukovací analýzy, který rozděluje body (data) do skupin (klastrů) dle jejich vzdálenosti od konkrétních bodů nazývaných centroidy.

Samotný algoritmus probíhá zjednodušeně v následujících krocích:

1. jsou vybrány centroidy
2. jsou zjištěny vzdálenosti jednotlivých prvků (bodů) od jednotlivých centroidů
3. každý prvek je přiřazen k centroidu, od nějž ho dělí nejmenší vzdálenost
4. centroidy jsou reinicializovány (jako průměry všech prvků k nim přiřazených)
5. kroky 3 až 4 se opakují, dokud jimi dochází ke zlepšení stavu (tj. poklesu celkového součtu vzdáleností bodů prvků od centroidů, k nimž byly přiřazeny)

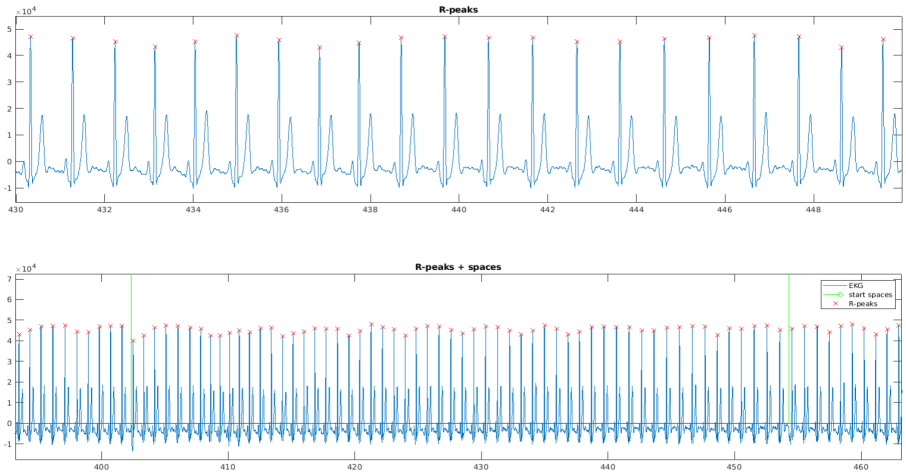
Centroidy mohou být inicializovány náhodně nebo do konkrétních bodů dle nějakého požadavku. Jednou z možností je i iniciaizace algoritmem k-means++, již používá právě zmíněná implementace v Matlabu, který vybírá centroidy postupně na základě vzdáleností od těch již vybraných.

Možnými nevýhodami k-means je nutnost určit předem počet klastrů a jeho neschopnost poradit si s vychýlenými prvky (tzv. outliers).

Kapitola 4
Výsledky a diskuze

V pořízených signálech byly detekovány R špičky a zároveň byly signály rozděleny na segmenty odpovídající jednotlivým částem prezentací. Obojí lze vidět na obrázku 4.1. Některé signály bylo nutné vyřadit, neboť v nich nebylo možné provést detekci. Jednalo se o signály silně poznamenané šumem nebo obsahující takové artefakty či jiné chyby, jež detekci znemožňovaly.

Rovněž byly vyřazeny signály obsahující nesprávný počet značek oddělujících jednotlivé segmenty. Jelikož toto značení bylo prováděno manuálně v průběhu měření, mohlo při něm dojít k chybám. Bylo tedy vhodnější signály s nejednoznačnou informací o segmentech raději vyřadit.



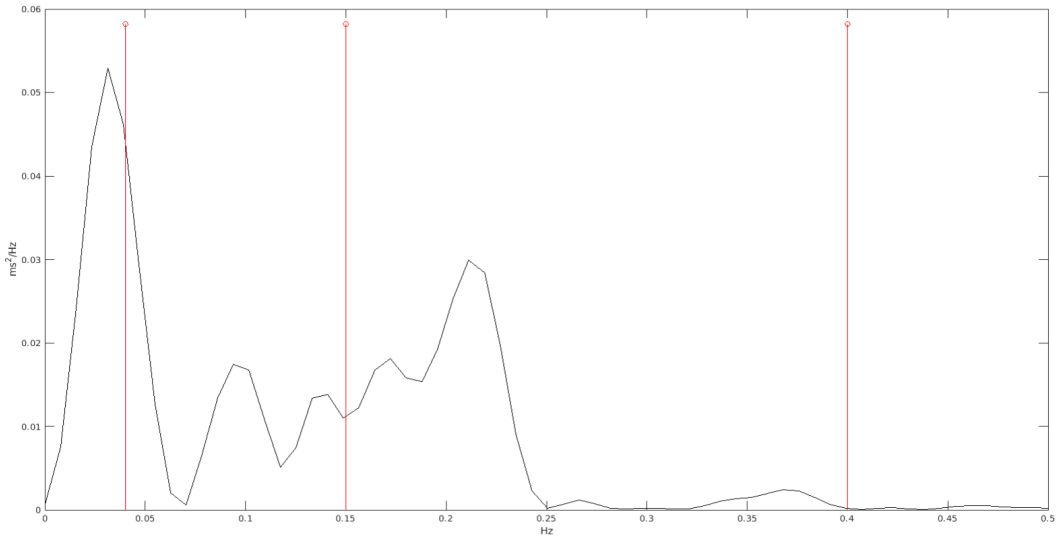
Obrázek 4.1. Detail EKG signálu s vyznačenými R špičkami (nahoře i dole) a oddělovači jednotlivých segmentů (pouze dole).

V rámci analýzy bylo zjišťováno celkem čtrnáct parametrů, a to pro jednotlivé segmenty signálů. Vzhledem ke struktuře prezentací nebyly prováděny analýzy signálů jako celků. Kromě analýz celých segmentů byly provedeny i analýzy desetivteřinových úseků na začátcích jednotlivých segmentů.

Za účelem dosažení co nejvýraznějších rozdílů mezi fobiky a nefobiky byly pro analýzy upřednostněny signály od respondentek s výrazně vysokým, resp. výrazně nízkým skóre z dotazníků. Zároveň byly k analýzám využity segmenty na koncích signálů (u blokových verzí segmenty 10 až 12, u neblokových 52 až 54), kde se nacházely nejsilnější fobické stimuly, tudíž by mělo docházet i k nejvýraznější reakci.

4.1 Porovnání fobiků a zdravých osob

Jelikož v experimentu nebyly pořízeny záznamy od zdravých (tj. nefobických) respondentek, byly pro účely porovnání použity údaje z [41], konkrétně průměrné hodnoty



Obrázek 4.2. Příklad frekvenčního spektra (dle kódů z [29]) jednoho segmentu signálu. Oddělená pásma jsou zleva VLF (0 až 0,04 Hz), LF (0,04 až 0,15 Hz) a HF (0,15 až 0,4 Hz).

ženských respondentek. Jedná se pouze o ilustrativní porovnání jednoho signálu od fobické respondentky (SNAQ = 28), který byl vybrán jako relativně fobicky typický a zároveň nezatížený chybami či artefakty. Jednalo se o segment 11 (nejsilnější fobický stimul) ze záznamu hadích bloků. Porovnání shrnuje tabulka 4.1.

parametr	z [41]	respondentka
HR (1/mRR)	67,80	75,77
SDNN	36	42
RMSSD	19	36
LF	414	708
HF	516	330
relLF	68	46 (46)
relHF	32	38 (55)
LF/HF	1,20	2,15

Tabulka 4.1. Porovnání průměrných hodnot parametrů HRV u zdravých žen a u vybrané fobické respondentky. Hodnoty relLF a relHF v závorkách byly vypočítány z hodnot LF a HF (původní hodnoty nedávají dohromady součet sto procent zřejmě proto, že zde byl použit i parametr VLF).

Z porovnání se dá usuzovat, že fobická reakce se vyznačuje nárůstem parametrů *LF*, *relLF* a *LF/HF*, tedy parametrů reprezentujících aktivitu sympatiku. V rozporu s tímto by mohl být nárůst parametru *RMSSD*, jenž by však mohl souviset s vzrůstající aktivitou parasympatiku ve snaze potlačit stresovou reakci organismu. Protože [41] neuvádí hodnoty parametrů vycházejích z Poincarého grafu, nebylo tudíž tyto parametry možné porovnat.

Zároveň na obrázcích ?? a ?? je možné porovnat frekvenční spektra a Poincarého grafy pro segmenty 10 (neutrální stimul) a 11 (nejintenzivnější fobický stimul). U spekter je zřejmý nárůst celkového výkonu, a to především v pásmu *LF*. Pokud jde o Poincarého grafy, je zde patrný menší rozdíl v tvaru, kdy při neutrálním stimulu připomíná elipsu,

která je považována za fyziologickou, zatímco při fobickém stimulu se již více blíží kružnici.

4.2 Určování extrémů mezi segmenty

Pro každý parametr bylo zjišťováno, ve kterém ze tří segmentů nabývá nejvyšší (popř. nejnižší) hodnoty. Předpoklad byl, že by jí u fobických respondentek mělo být nabýváno v prostředním z těchto tří segmentů, protože právě tam se nacházel fobický stimul.

V některých případech byly zjištěny výraznější rozdíly u parametru *pNN50*. Tyto však jsou zkresleny množstvím případů, kde parametr nabýval ve všech třech zkoumaných segmentech shodně nulovou hodnotu a nelze z nich tudíž vyvozovat relevantní závěry.

4.2.1 Blokové signály

Při zkoumání krátkých úseků blokových signálů byly nejvýraznější výsledky získány u hadích fobiků u parametrů *LF* (maxima v prostředním segmentu v 59,09 % případů) a *SD2/SD1* (maxima v 59,09 % a minima ve 13,64 % případů). Oba parametry zřejmě ukazují na nárůst aktivity sympatiku. Vzhledem k délce zkoumaných segmentů však nelze parametr *LF* vycházející z frekvenční analýzy považovat za zcela spolehlivé.

Rovněž i při analýze celých úseků těchto signálů se jako výraznější ukázaly výsledky od hadích fobiků, a to zejména v parametrech *SD2/SD1* (maxima v 66,67 % případů) a *ApEn* (maxima v 11,11 % a minima v 72,22 % případů). Výsledek tedy souhlasí s teorií, že parametr *SD2/SD1* odpovídá aktivitě sympatiku, a tedy i stresové reakci. Zároveň lze říci, že parametr *ApEn* měl v souvislosti s fobickou reakcí tendenci spíše klesat.

4.2.2 Neblokové signály

U krátkých úseků neblokových signálů byly největší rozdíly zaznamenány rovněž především pro hadí fobiky, a to u parametrů *HR* (minima ve 13,64 % případů), *SDNN* (maxima ve 13,64 % a minima v 63,64 % případů) a *SD2* (maxima ve 13,64 % případů). V analýze celých úseků se objevily rozdíly u hadích fobiků v parametrech *HR* (minima v 10 % případů), u pavoučích fobiků v *RMSSD* a *SD1* (v obou případech minima ve 13,64 % případů).

Parametr *HR* tedy v obou případech souhlasí s předpokladem, že ve stresu tepová frekvence spíše vzrůstá. Zároveň výsledky odpovídají tomu, že parametry *RMSSD* a *SD1* jsou navzájem úzce spjaté.

4.3 Klasifikace dle extrémů mezi segmenty

Údaje o tom, ve kterém ze tří segmentů bylo dosaženo extrému daného parametru, byly dále využity pro rozlišení mezi fobiky a nefobiky. Extrém v prostředním segmentu byl považován za příznak fobika, extrém v některém z krajních segmentů naopak za příznak nefobika. U každého parametru byla spočítána úspěšnost klasifikace, tedy kolik procent z celkového počtu použitých signálů, bylo správně označeno jako fobik/nefobik.

Celkový přehled všech parametrů pro všechny typy signálů je uveden v příloze B. V tabulce 4.2 jsou zmíněny pouze parametry, které na dané množině signálů poskytly úspěšnost větší než 65 %. Nejvíce takových parametrů se objevilo u hadích blokových signálů (a to jak při analýze krátkých úseků, tak celých segmentů), dále se objevily u celých segmentů pavoučích blokových a hadích neblokových signálů.

parametr (typ)	úspěšnost klasifikace
SD2/SD1 max (hadí bloky)	70,91 %
pNN50 min (hadí nebloky)	69,39 %
HR max (hadí bloky K)	67,31 %
pNN50 min (hadí bloky K)	67,31 %
SDNN max (hadí bloky)	67,27 %
RMSSD max (hadí bloky)	65,45 %
SD1 max (hadí bloky)	65,45 %
SD2 max (hadí bloky)	65,45 %
ApEn min (hadí bloky)	65,45 %
LF/HF max (hadí bloky K)	65,38 %
relLF max (hadí bloky K)	65,38 %
LF min (pavoučí bloky)	65,31 %
power (pavoučí bloky)	65,31 %
SD2/SD1 max (hadí nebloky)	65,31 %

Tabulka 4.2. Úspěšnost klasifikace dle vybraných parametrů na vybraných množinách signálů. Písmeno K zde značí analýzy krátkých úseků. Pro účely této klasifikace bylo použito 52 signálů pro krátké hadí bloky, 55 pro hadí bloky, 49 pro pavoučí bloky a 49 pro hadí nebloky.

Je nutné zmínit, že úspěšnosti klasifikace mohou být částečně poznamenány nepoměrem v zastoupení fobiků a nefobiků ve zkoumaném vzorku. Došlo k tomu zejména u hadích bloků, kde bylo zkoumáno pouze 18 fobiků oproti 37 nefobikům.

4.3.1 Klasifikace dle dvojic parametrů

Dále bylo testováno, zda vhodnou kombinací dvou parametrů dosahujících relativně vysokých úspěšností klasifikace je možné dosáhnout ještě vyšší úspěšnosti. Použity byly pouze parametry zmíněné v tabulce 4.2. Níže jsou uvedeny pouze dvojice, u nichž došlo k nárůstu úspěšnosti oproti jednotlivým parametrům.

Pro krátké úseky hadích blokových signálů byly použity následující kombinace:

- HR (max) a pNN50 (min) s úspěšností 71,15 %,
- HR (max) a LF/HF (max) s úspěšností 69,23 % a
- HR (max) a relLF (max) s úspěšností 69,23 %,

přičemž jako fobik byl označen každý případ, který alespoň v jednom z parametrů dosáhl extrému v prostředním segmentu.

Pro celé segmenty hadích blokových signálů bylo naopak u všech dvojic dosaženo lepších výsledků, pokud jako fobici byly označovány případy, které v obou parametrech dosáhly extrému v prostředním segmentu. Konkrétní úspěšnosti klasifikace dle dvojic jsou uvedeny v tabulce 4.3. Tyto výsledky však mohou být ovlivněny nepoměrem mezi fobiky a nefobiky ve zkoumané množině i úzkou spojitostí mezi některými parametry (*RMSSD* a *SD1*).

Pro celé segmenty pavoučích bloků byla použita pouze dvojice parametrů *LF* (minimum) a *power* (minimum). Bylo dosaženo úspěšnosti 69,39 %.

parametry	úspěšnost klasifikace
max SD2/SD1, min ApEn	81,82 %
max RMSSD, max SD2/SD1	72,73 %
max SD1, max SD2/SD1	72,73 %
max SDNN, max RMSSD	70,91 %
max SDNN, max SD1	70,91 %
max SD2, max SD2/SD1	70,91 %
max SD2, min ApEn	70,91 %
max RMSSD, max SD2	70,91 %
max SDNN, min ApEn	69,09 %
max RMSSD, min ApEn	67,27 %

Tabulka 4.3. Úspěšnost klasifikace dle vybraných dvojic parametrů na hadích blokových signálech.

4.4 Rozdílné hodnoty parametrů v závislosti na fobii

V této části bylo zjišťováno, zda se výrazně liší hodnoty některých parametrů u fobiků a nefobiků. I zde byly využity hodnoty dosažené v segmentech 10 až 12 (resp. 52 až 54) a použit dvouvýběrový t-test již implementovaný v prostředí Matlab. Za významně rozdílné byly považovány ty parametry, jejichž p-hodnota byla nižší než 0,05. Přehled parametrů, u nichž byla zjištěna významná rozdílnost, je uvedený v tabulce 4.4.

kategorie	parametr (segment)	p-hodnota	úspěšnost klasifikace
pavoučí bloky	HF (12)	0,0106	69,39 % (pod)
hadí bloky K	LF/HF (10)	0,0234	67,31 % (nad)
pavoučí bloky K	LF (12)	0,0186	65,96 % (pod)
pavoučí bloky K	SD2 (12)	0,0157	65,96 % (pod)
pavoučí bloky K	SDNN (12)	0,0208	65,96 % (pod)
hadí nebloky	LF/HF (54)	0,0125	65,31 % (nad)
pavoučí bloky K	HF (12)	0,0298	63,83 % (pod)
pavoučí bloky K	power (12)	0,0198	61,70 % (pod)
hadí bloky K	LF/HF (11)	0,0309	61,54 % (nad)
hadí bloky K	SD2/SD1 (11)	0,0142	61,54 % (nad)
hadí nebloky K	SD2/SD1 (11)	0,0160	61,36 % (nad)
hadí bloky K	SD2 (11)	0,0191	59,62 % (nad)
hadí bloky K	SDNN (11)	0,0432	59,62 % (nad)
hadí nebloky	SD1 (53)	0,0221	59,18 % (pod)
hadí nebloky	RMSSD (53)	0,0226	59,18 % (pod)
hadí bloky K	SD2/SD1 (10)	0,0354	57,69 % (nad)
hadí nebloky	SD2/SD1 (54)	0,0221	57,14 % (nad)

Tabulka 4.4. Vybrané výsledky t-testu jednotlivých parametrů v daných segmentech. Signály a parametry, v nichž nebyl získán žádný významný výsledek, jsou vynechány. V posledním sloupci jsou uvedeny úspěšnosti, jichž bylo dosaženo při použití těchto parametrů pro klasifikaci, v závorce je pak informace o tom, zda jako fobici byly označovány případy s hodnotou pod průměrem či nad průměrem.

Parametry s významně se lišícími hodnotami u fobiků a nefobiků byly následně využity pro klasifikaci, kdy signály s hodnotami nad, resp. pod průměrem byly označeny jako fobické. V tabulce 4.4 je vždy uvedena ta z těchto dvou variant, kterou bylo dosaženo vyšší úspěšnosti.

Z parametrů *LF/HF*, *SD2/SD1* a *SD2* u krátkých úseků hadích bloků lze soudit, že skutečně došlo ke stresové reakci. Skutečnost, že hodnoty se významně lišily již v segmentu předcházejícímu fobickému stimulu by mohlo znamenat buď anticipační reakci respondentky nebo naopak pozůstatky reakce na předchozí (9, resp. 51) stimulující segment. Oproti tomu parametry *HF*, *LF*, *SD2* a *power* u krátkých úseků pavoučích bloků zřejmě vypovídají spíše o odeznívání stresové reakce, čemuž odpovídá i číslo segmentu, v němž se nacházejí.

4.5 Korelace parametrů a klasifikace pomocí k-means

Pro účely této části byly použity pouze hodnoty z prostředních segmentů. Takto byly nalezeny parametry s nízkou vzájemnou korelací shrnuté v tabulkách 4.5 a 4.6, které byly následně využity pro klasifikaci pomocí k-means.

Tato klasifikace byla v některých případech ovlivněna některými vychýlenými body, kdy se hodnoty jednoho nebo obou parametrů výrazně lišily od ostatních. Toto mohlo být způsobeno například nějakým nezvyklým jevem v signálu, opomenutým artefaktem nebo chybou při zpracování. V několika případech bylo testováno, zda odstranění těchto bodů přispěje ke zvýšení přesnosti klasifikace, avšak účinek nebyl příliš výrazný.

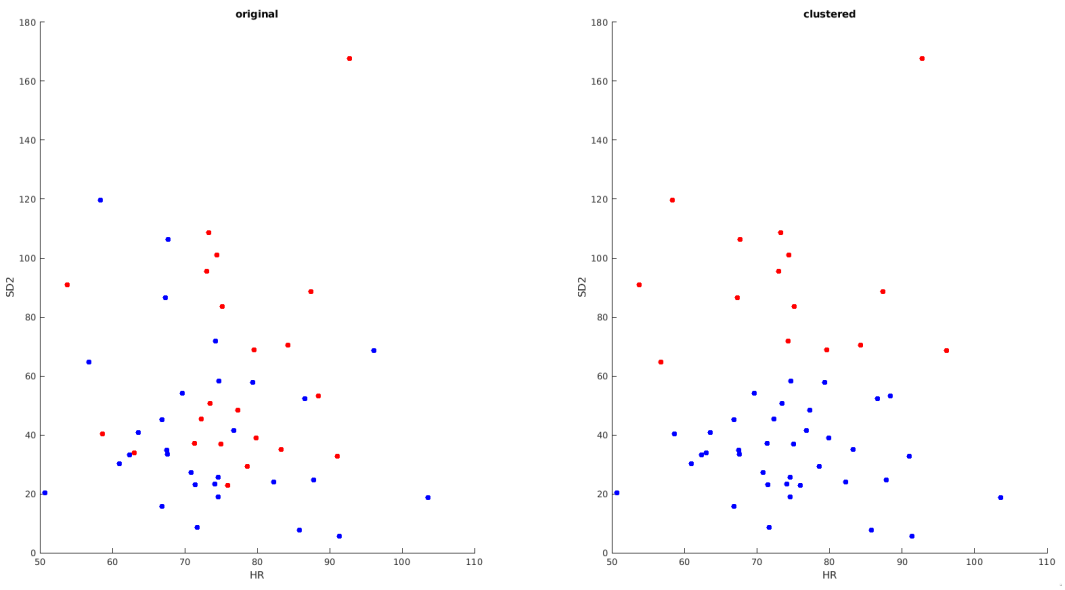
Níže jsou uvedeny případy, u nichž se podařilo dosáhnout úspěšnosti alespoň 60 %. Byla zde vynechána klasifikace hadích blokových signálů, neboť nepoměr mezi zastoupením fobiků a nefobiků mohl způsobit nesprávně vyšší úspěšnost klasifikace. Vzhledem ke způsobu, jímž použitý algoritmus inicializuje, se navíc úspěšnost při opakovaných pokusech mohla lišit, a tedy v následujícím odstavci jsou uvedeny nejčastější případy.

U krátkých úseků hadích bloků bylo nejlepší klasifikace dosaženo pomocí parametrů *ApEn* a *SD2/SD1* (úspěšnost 63,46 %) a *HR* a *SD2* (65,38 %, 4.3). U krátkých úseků hadích nebloků bylo největší úspěšnost dosaženo rovněž se dvojicí *ApEn* a *SD2/SD1* (63,63 %, 4.4), u celých segmentů hadích nebloků pak se dvojicí *ApEn* a *LF/HF* (63,27 %). V neposlední řadě bylo otestováno několik dvojic na základě výrazných rozdílů mezi hodnotami fobiků a nefobiků (shrnuto v tabulce 4.4). U krátkých úseků hadích bloků to byly dvojice *SD2/SD1* a *SDNN*, *SD2/SD1* a *SD2* (obě úspěšnost 63,46 %), u celých hadích nebloků dvojice *LF/HF* a *SD2/SD1* (61,23 %).

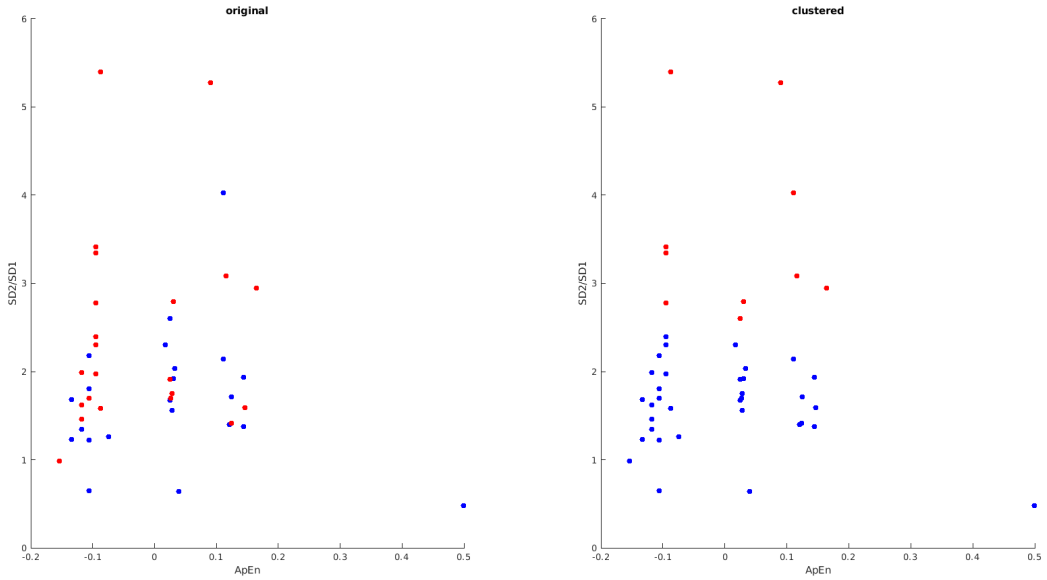
I zde se tedy pro rozlišení hadích fobiků a nefobiků zdají být vhodné parametry *LF/HF*, *SD2/SD1* a *SD2*, dále *LF*, *SDNN*, *HR* a *ApEn*. Většina z těchto parametrů bývá spojována s aktivitou sympatiku, tudíž tyto parametry by skutečně mohly být vhodné k detekci stresu, potažmo fobií. U pavoučích signálů bylo celkově dosaženo spíše nižší úspěšnosti, což by mohlo souviset například s jinými mechanismy fobie z pavouků (oproti hadům) nebo se samotnou mírou fobie respondentek, která mohla být odlišná.

4.6 Zhodnocení měření vzhledem k výsledkům

Tato část shrnuje možné faktory, které mohly negativně ovlivnit výsledky tohoto experimentu. Jedním z nich je již samotný výběr respondentů, kdy zejména u mladších žen, které byly mezi respondentkami zastoupeny nejvíce, může být zesílena činnost parasympatiku oproti sympatiku, což je protichůdné k mechanismům stresové reakce. Problematické může být rovněž rozlišení respondentů na fobické a nefobické, jelikož



Obrázek 4.3. Výsledek k-means pro krátké úseky hadích blokových signálů při použití parametrů HR a SD2. Modře jsou značeni nefobici, červeně fobici.



Obrázek 4.4. Výsledek k-means pro krátké úseky hadích neblokových signálů při použití parametrů ApEn a SD2/SD1. Modře jsou značeni nefobici, červeně fobici.

bylo prováděno pouze vyplňováním dotazníků a může tudíž být ze strany respondentů subjektivně ovlivněno.

S fobií souvisí i jevy anticipace a habituace, jež rovněž mohly mít na měření vliv. Anticipace působí v rozporu se strukturou prezentací, kdy nejsilnější stimuly jsou až na jejím konci. Habituace může nastávat vzhledem k délce prezentace. Rovněž by mohlo být vhodnější použít jako nefobické respondenty zcela zdravé (tj. nefobické na oba typy zvířat) osoby, nikoliv fobiky na druhý typ zvířete.

kategorie	parametr	parametr	R-hodnota
hadí bloky K	ApEn	pNN50	0,042
hadí bloky K	ApEn	SD2/SD1	-0,011
hadí bloky K	HR	SD2	-0,044
hadí bloky K	LF	SD2/SD1	-0,046
pavoučí bloky K	ApEn	SD2	0,041
pavoučí bloky K	LF	SD2/SD1	0,031
pavoučí bloky K	LF/HF	SDNN	0,001
pavoučí bloky K	SDNN	relHF, relLF	-+0,045
hadí nebloky K	ApEn	LF/HF	-0,033
hadí nebloky K	ApEn	SD2/SD1	-0,006
hadí nebloky K	LF	LF/HF	-0,029
hadí nebloky K	LF	SD2/SD1	-0,007
hadí nebloky K	SD2/SD1	SDNN	-0,050
hadí nebloky K	SDNN	relHF, relLF	+-0,008
pavoučí nebloky K	ApEn	pNN50	-0,036
pavoučí nebloky K	ApEn	RMSSD	0,019
pavoučí nebloky K	ApEn	SD1	0,005
pavoučí nebloky K	ApEn	power	-0,048
pavoučí nebloky K	HF	relHF, relLF	+-0,018
pavoučí nebloky K	pNN50	relHF, relLF	+-0,040
pavoučí nebloky K	LF/HF	power	0,046

Tabulka 4.5. Výběr nejnižších dosažených korelací parametrů v prostředních segmentech při analýze krátkých úseků jednotlivých segmentů. Druhý a třetí sloupec uvádějí parametry, o jejichž korelaci jde.

Samotná kvalita měření pak může být ovlivněna vedlejšími stresory (cizí prostředí, nepohodlí respondenta apod.) nebo faktory, které zapřičiňují vznik artefaktů. Může jít o ne zcela vhodné prostředí pro měření (z důvodu např. hluku) nebo o pohyby respondenta. Příčinou některých artefaktů mohlo být zároveň i značení přechodů mezi jednotlivými segmenty pomocí stisku klávesy. Toto značení bylo navíc prováděno manuálně, tudíž v něm mohlo dojít k chybám.

V neposlední řadě mohly být jinak zvoleny podmínky samotného vyhodnocování. V úvahu by zde připadalo vyhodnocování více segmentů, rovnoměrnější zastoupení fobiků a nefobiků v jednotlivých skupinách signálů nebo jinak zvolený práh rozlišující mezi fobiky a nefobiky.

kategorie	parametr	parametr	R-hodnota
hadí bloky	ApEn	LF	-0,040
hadí bloky	ApEn	SD2	-0,036
hadí bloky	LF	LF/HF	-0,037
hadí bloky	LF	relHF, relLF	-+0,041
pavoučí bloky	ApEn	LF	0,020
pavoučí bloky	ApEn	SD2/SD1	0,021
hadí nebloky	ApEn	LF	0,000
hadí nebloky	ApEn	LF/HF	0,020
hadí nebloky	ApEn	SD2/SD1	0,026
hadí nebloky	ApEn	power	0,045
hadí nebloky	HR	LF	-0,042
hadí nebloky	LF/HF	SD2	0,030
hadí nebloky	SD2/SD1	SD2	0,026
hadí nebloky	SD2	relHF, relLF	-+0,031
hadí nebloky	power	relHF, relLF	-+0,026
pavoučí nebloky	ApEn	pNN50	-0,008
pavoučí nebloky	LF	LF/HF	0,024
pavoučí nebloky	LF/HF	SD2	-0,027
pavoučí nebloky	SD2	relHF, relLF	+-0,026

Tabulka 4.6. Výběr nejnižších dosažených korelací parametrů v prostředních segmentech při analýze celých segmentů. Druhý a třetí sloupec uvádějí parametry, o jejichž korelaci jde.

Kapitola 5
Závěr

Tato práce je věnována tématu variability srdeční frekvence v souvislosti s psychickým stresem u osob trpících specifickou fobií ze dvou druhů zvířat (hadů a pavouků). V její teoretické části je poskytován stručný přehled týkající se stresu a fobií, dále fyziologii stresové reakce a jejím projevům v souvislosti s možnými metodami měření biosignálů za účelem detekce, popřípadě i kvantifikace stresu.

Praktická část práce je věnována analýze EKG signálů poskytnutých Přírodovědeckou fakultou Univerzity Karlovy v rámci tamních probíhajících výzkumů s fobickými osobami. HRV bylo zpracováváno z těchto signálů metodami časové, frekvenční a nelineární analýzy za použití Matlabu, výsledné parametry pak byly analyzovány především statisticky.

Jedním ze záměrů práce bylo určit, zda by bylo možné využít některé parametry HRV pro detekci fobie, popřípadě rozpoznání její míry. Pro tyto účely se na základě zjištěných dat jeví jako nejvhodnější parametry související především s aktivitou sympatiku, jako jsou *LF*, *LF/HF*, *SD2* či *SD2/SD1*. Jistý potenciál by mohl skýtat i parametr *pNN50*, bylo by zde však nutné se dále zabývat případy, v nichž nabývá převážně nulových hodnot.

U některých parametrů byly rovněž zaznamenány významné rozdíly v jeji h hodnotách mezi fobickými a nefobickými respondentkami. Jednalo se opět zejména o parametry *LF/HF* a *SD2/SD1*, u nichž byl u fobiků zaznamenán nárůst, ale zároveň například o parametry *RMSSD* a *SD1*, které naopak v jedné ze zkoumaných skupin signálů významně poklesly.

Samotná klasifikace pak byla prováděna několika způsoby, jak je blíže popsáno v kapitole Výsledky a diskuze. Nejlepší klasifikační experimenty dosahovaly úspěšnosti kolem 65 až 70 %, tudíž nelze dosavadní výsledky považovat za zcela spolehlivé a bylo by vhodné provádět do budoucna další podobné experimenty, nejlépe již zaměřené na parametry, které se v rámci této práce ukázaly být potenciálně užitečné.

Je vhodné zmínit, že výsledky práce mohou být ovlivněny faktory spojenými nejen s problematikou samotného měření biologických signálů, ale i týkajícími se měření stresu a v neposlední řadě i práce s fobickými respondenty. Pokud jde o průběh měření, jedná se zejména o rušivé vlivy a vznik artefaktů, které mnohé získané záznamy významně znehodnotily a v konečném důsledku byly jedním z důvodů redukce počtu skutečně použitých signálů.

Ačkoliv je měření stresu pomocí biologických signálů objektivní metodou, jeho výsledky mohou být ovlivněny i individuální odolností, a tedy shodné situace mohou působit jako odlišně závažný stresor. Totéž platí i v souvislosti s fobiemi, kdy u jedince může docházet k jevům anticipace či habituace, navíc i samotné určení míry fobie jedince probíhalo částečně subjektivně.

V případě pokračování v tomto či podobném experimentu by bylo vhodné zamezit rušení v pořízených signálech, snížit množství vyskytujících se artefaktů, lépe definovat hranici mezi fobikem a nefobikem, případně použít kontrolní respondenty z řad zcela nefobických osob místo křížových kontrol, a zvážit zkrácení doby, během níž jsou

respondenti měřeni. Zajímavé by mohlo být i využití jiných možností detekce stresu, například z oblasti biochemie, které jsou rovněž objektivní, avšak nemusely by být negativně ovlivňovány stejnými faktory jako biologické signály.

Literatura

[1] KLIMEŠ, Lumír. *Slovník cizích slov*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1981. ISBN 14-608-81.

[2] TAN, SY a A YIP. Hans Selye (1907–1982): Founder of the stress theory. *Singapore Medical Journal*. 2018, ročník 59, č. 4, s. 170-171. Dostupné na DOI 10.11622/smedj.2018043.

[3] ATKINSON, Rita L. *Psychologie*. Praha: Portál, 2003. ISBN 80-7178-640-3.

[4] KŘIVOHLAVÝ, Jaro. *Psychologie zdraví*. Praha: Portál, 2001. ISBN 80-7178-551-2.

[5] AYERS, Susan a Richard DE VISSER. Stres a zdraví. In: *Psychologie v medicíně*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5230-3.

[6] LOUKOVÁ, Tereza a Jan RUTAR. *Psychologie zdraví a sociální opory*.

[7] ANDERLOVÁ, Kamila. *Vliv stresu na srdeční variabilitu studentů farmacie I*. Dostupné na `https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/108560/120328575.pdf?sequence=1&isAllowed=y`.

[8] SETZ, Cornelia, Bert ARNRICH, Johannes SCHUMM, Roberto LA MARCA, Gerhard TROSTER a Ulrike EHLERT. Discriminating Stress From Cognitive Load Using a Wearable EDA Device. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2010, ročník 14, č. 2, s. 410-417. ISSN 1089-7771. Dostupné na DOI 10.1109/TITB.2009.2036164.

[9] KIM, Hye-Geum, Eun-Jin CHEON, Dai-Seg BAI, Young Hwan LEE a Bon-Hoon KOO. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investigation*. 2018, ročník 15, č. 3. ISSN 1738-3684. Dostupné na DOI 10.30773/pi.2017.08.17.

[10] KAJANTIE, Eero a David I. W. PHILLIPS. The effects of sex and hormonal status on the physiological response to acute psychosocial stress. *Psychoneuroendocrinology*. 2006, ročník 31, č. 2, s. 151-178. Dostupné na DOI 10.1016/j.psyneuen.2005.07.002.

[11] CACIOPPO, John T., Louis G. TASSINARY a Gary G. BERNTSON. *Handbook of psychophysiology*. 3. vyd. New York: Cambridge University Press, 2007.

[12] ČIHÁK, Radomír. *Anatomie*. třetí, upravené a doplněné vydání vyd. Praha: Grada, 2016. ISBN 978-80-247-5636-3.

[13] SILBERNAGL, Stefan a Agamemnon DESPOPOULOS. *Atlas fyziologie člověka*. 2. čes. vyd. podle 3. něm., přeprac. a rozš. vyd. Praha: Grada, 1993. ISBN 80-856-2379-X.

[14] KRŠEK, Michal. *Endokrinologie*. Praha: Galén, 2011. ISBN 978-80-7262-687-8.

[15] HINOJOSA-LABORDE, Carmen, Irene CHAPA, Darrell LANGE a Joseph R HAYWOOD. Gender differences in sympathetic nervous system regulation.

Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology. 1999, ročník 26, č. 2, s. 122–126. Dostupné na DOI 10.1046/j.1440-1681.1999.02995.x.

[16] KŘIVOHLAVÝ, Jaro. Minimum z minima o stresu. In: *Sestra a stres: příručka pro duševní pohodu*. Praha, 2010. ISBN 978-80-247-3149-0.

[17] GREENE, Shalom, Himanshu THAPLIYAL a Allison CABAN-HOLT. A Survey of Affective Computing for Stress Detection: Evaluating technologies in stress detection for better health. *IEEE Consumer Electronics Magazine*. 2016, ročník 5, č. 4, s. 44-56. ISSN 2162-2248. Dostupné na DOI 10.1109/MCE.2016.2590178.

[18] PRAŠKO, Ján, Hana PRAŠKOVÁ a Jana PRAŠKOVÁ. *Specifické fobie*. Praha: Portál, 2008. Rádci pro zdraví. ISBN 978-80-7367-300-0.

[19] RÁDLOVÁ, Silvie, Šárka PELÉŠKOVÁ, Jakub POLÁK, Eva LANDOVÁ a Daniel FRYNTA. Emoce vyvolané zvířaty II: strach a odpor. *E-psychologie*. 2018, ročník 12, č. 4, s. 61-77. Dostupné na DOI 10.29364/epsy.332.

[20] LANDOVÁ, Eva, Šárka PELÉŠKOVÁ a Kristýna SEDLÁČKOVÁ a DALŠÍ. Venomous snakes elicit stronger fear than nonvenomous ones: Psychophysiological response to snake images. *PLOS ONE*. 2020, ročník 15, č. 8. Dostupné na DOI 10.1371/journal.pone.0236999.

[21] SHAFFER, Fred, Rollin MCCRATY a Christopher L. ZERR. A healthy heart is not a metronome: an integrative review of the heart's anatomy and heart rate variability. *Frontiers in Psychology*. 2014. ISSN 1664-1078. Dostupné na DOI 10.3389/fpsyg.2014.01040.

[22] HABERL, Ralph. *EKG do kapsy*. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-8032-0.

[23] JAVORKA, Kamil. *Variabilita frekvencie srdca*. Martin: Oveta, 2008. ISBN 978-80-8063-269-4.

[24] ELECTROPHYSIOLOGY. Task Force of the European Society of Cardiology the North A. Heart Rate Variability. *Circulation*. 1996, ročník 93, č. 5, s. 1043-1065. Dostupné na DOI doi:10.1161/01.CIR.93.5.1043.

[25] ČVUT, FEL. *materiály k předmětu Zpracování biologických signálů*.

[26] SHAFFER, Fred a J. P. GINSBERG. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Frontiers in Public Health*. 2017. ISSN 2296-2565. Dostupné na DOI 10.3389/fpubh.2017.00258.

[27] YILMAZ, Mucahid, Hidayet KAYANCICEK a Yusuf CEKICI. Heart rate variability: Highlights from hidden signals. *Journal of Integrative Cardiology*. 2018, ročník 4, č. 5. Dostupné na DOI 10.15761/JIC.1000258.

[28] KITLAS GOLIŃSKA, Agnieszka. Poincaré Plots in Analysis of Selected Biomedical Signals. *Studies in Logic, Grammar and Rhetoric*. 2013, ročník 35, č. 48. Dostupné na DOI 10.2478/slgr-2013-0031.

[29] ELGENDI, Mohamed. PPG Feature Extraction. In: *PPG signal analysis: an introduction using MATLAB*. Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2021. ISBN 978-0-429-44958-1.

[30] HSU, Che-Hao, Ming-Ya TSAI, Go-Shine HUANG, Tso-Chou LIN, Kuen-Pao CHEN, Shung-Tai HO, Liang-Yu SHYU a Chi-Yuan LI. Poincaré plot indexes of heart rate variability detect dynamic autonomic modulation during general anesthesia induction. *Acta Anaesthesiologica Taiwanica*. 2012, ročník 50, č. 1, s. 12-18. Dostupné na DOI 10.1016/j.aat.2012.03.002.

[31] RAHMAN, Saif, Matthew HABEL a Richard J. CONTRADA. Poincaré plot indices as measures of sympathetic cardiac regulation: Responses to psychological stress and associations with pre-ejection period. *International Journal of Psychophysiology*. 2018, ročník 133, s. 79-90. Dostupné na DOI 10.1016/j.ijpsycho.2018.08.005.

[32] EVANS, Joyce M., Michael G. ZIEGLER, Abhijit R. PATWARDHAN, J. Blaine OTT, Charles S. KIM, Fabio M. LEONELLI a Charles F. KNAPP. Gender differences in autonomic cardiovascular regulation: spectral, hormonal, and hemodynamic indexes. *Journal of Applied Physiology*. 2001, ročník 91, č. 6, s. 2611-2618. Dostupné na DOI 10.1152/jappl.2001.91.6.2611. Dostupné na `https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappl.2001.91.6.2611`.

[33] TENAN, Matthew S., R. Matthew BROTHERS, Andrew J. TWEEDELL, Anthony C. HACKNEY a Lisa GRIFFIN. Changes in resting heart rate variability across the menstrual cycle. *Psychophysiology*. 2014, ročník 51, č. 10. ISSN 00485772. Dostupné na DOI doi:10.1111/psyp.12250.

[34] ALMEIDA-SANTOS, Marcos Antonio, Jose Augusto BARRETO-FILHO, Joselina Luzia Menezes OLIVEIRA, Francisco Prado REIS, Cristiane Costa DA CUNHA OLIVEIRA a Antonio Carlos Sobral SOUSA. Aging, heart rate variability and patterns of autonomic regulation of the heart. *Archives of Gerontology and Geriatrics*. 2016, ročník 63, s. 1-8. Dostupné na DOI 10.1016/j.archger.2015.11.011.

[35] FILAIRE, Edith, Hugues PORTIER, Alain MASSART, Luis RAMAT a Anna TEIXEIRA. Effect of lecturing to 200 students on heart rate variability and alpha-amylase activity. *European Journal of Applied Physiology*. 2010, ročník 108, č. 5, s. 1035-1043. Dostupné na DOI 10.1007/s00421-009-1310-4.

[36] HJORTSKOV, Nis, Dag RISSÉN, Anne Katrine BLANGSTED, Nils FALLENTIN, Ulf LUNDBERG a Karen SØGAARD. The effect of mental stress on heart rate variability and blood pressure during computer work. *European Journal of Applied Physiology*. 2004, ročník 92, č. 1-2, s. 84-89. Dostupné na DOI 10.1007/s00421-004-1055-z.

[37] CLAYS, Els, Dirk DE BACQUER, Vincent CRASSET, France KITTEL, Patrick DE SMET, Marcel KORNITZER, Robert KARASEK a Guy DE BACKER. The perception of work stressors is related to reduced parasympathetic activity. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2011, ročník 84, č. 2, s. 185-191. Dostupné na DOI 10.1007/s00420-010-0537-z.

[38] KREIBIG, Sylvia D., Frank H. WILHELM, Walton T. ROTH a James J. GROSS. Cardiovascular, electrodermal, and respiratory response patterns to fear- and sadness-inducing films. *Psychophysiology*. 2007, ročník 44, č. 5, s. 787-806. Dostupné na DOI 10.1111/j.1469-8986.2007.00550.x.

[39] ASTALDO, R., P. MELILLO, U. BRACALE, M. CASERTA, M. TRIASSI a L. PECCHIA. Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2015, ročník 18, s. 370-377. Dostupné na DOI 10.1016/j.bspc.2015.02.012.

[40] VOLLMER, Marcus. HRVTool - an Open-Source Matlab Toolbox for Analyzing Heart Rate Variability. Dostupné na DOI 10.22489/CinC.2019.032.

[41] NUNAN, David, Gavin R. H. SANDERCOCK a David A. BRODIE. A Quantitative Systematic Review of Normal Values for Short-Term Heart Rate Variability

in Healthy Adults. *Pacing and Clinical Electrophysiology*. 2010, ročník 33, č. 11, s. 1407-1417. Dostupné na DOI 10.1111/j.1540-8159.2010.02841.x.

Příloha A
Zkratky a symboly

A.1 Slovník zkratek

ACTH	Adrenokortikotropní hormon
ANS	Autonomní nervový systém
DS-R	Disgust Scale-Revised
EEG	Elektroencefalogram
EKG, ECG	Elektrokardiogram
GAS	Obecný adaptační syndrom
HF	Pásmo vysokých frekvencí
HPA	Osa hypotalamus-hypofýza-nadledvinky
HR	Srdeční frekvence
HRV	Variabilita srdeční frekvence
LF	Pásmo nízkých frekvencí
PPG	Fotopletysmogram
SNAQ	Snake Anxiety Questionnaire
SPQ	Spider Fear Questionnaire

Příloha B
Tabulky výsledků

hadí bloky krátké fobici		hadí bloky krátké nefobici			hadí bloky krátké fobici		hadí bloky krátké nefobici			hadí bloky krátké fobici		hadí bloky krátké nefobici			hadí bloky krátké fobici		hadí bloky krátké nefobici		
HR max					SD2 max					RMSSD min					ApEn min				
4	18.18%	16	53.33%	32.69%	4	18.18%	10	33.33%	40.38%	6	27.27%	9	30.00%	48.08%	10	45.45%	18	60.00%	51.92%
11	50.00%	6	20.00%		11	50.00%	10	33.33%		8	36.36%	11	36.67%		5	22.73%	10	33.33%	
7	31.82%	8	26.67%		7	31.82%	10	33.33%		8	36.36%	10	33.33%		7	31.82%	2	6.67%	
22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%	
SDNN max					SD2/SD1 max					pNN50 min					total power min				
7	31.82%	10	33.33%	42.31%	4	18.18%	7	23.33%	38.46%	10	45.45%	21	70.00%	32.69%	6	27.27%	13	43.33%	55.77%
10	45.45%	10	33.33%		13	59.09%	11	36.67%		7	31.82%	2	6.67%		6	27.27%	13	43.33%	
5	22.73%	10	33.33%		5	22.73%	12	40.00%		5	22.73%	7	23.33%		10	45.45%	4	13.33%	
22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%	
RMSSD max					ApEn max					LF min					relHF min				
6	27.27%	13	43.33%	38.46%	6	27.27%	11	36.67%	42.31%	8	36.36%	9	30.00%	55.77%	9	40.91%	11	36.67%	34.62%
9	40.91%	7	23.33%		8	36.36%	8	26.67%		6	27.27%	13	43.33%		10	45.45%	6	20.00%	
7	31.82%	10	33.33%		8	36.36%	11	36.67%		8	36.36%	8	26.67%		3	13.64%	13	43.33%	
22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%	
pNN50 max					total power max					HF min					relLF min				
12	54.55%	16	53.33%	42.31%	5	22.73%	7	23.33%	44.23%	7	31.82%	15	50.00%	50.00%	6	27.27%	9	30.00%	50.00%
6	27.27%	6	20.00%		12	54.55%	13	43.33%		6	27.27%	10	33.33%		8	36.36%	12	40.00%	
4	18.18%	8	26.67%		5	22.73%	10	33.33%		9	40.91%	5	16.67%		8	36.36%	9	30.00%	
22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%	
LF max					relHF max					LF/HF min									
6	27.27%	10	33.33%	38.46%	6	27.27%	9	30.00%	50.00%	6	27.27%	9	30.00%	50.00%					
13	59.09%	11	36.67%		8	36.36%	12	40.00%		8	36.36%	12	40.00%						
3	13.64%	9	30.00%		8	36.36%	9	30.00%		8	36.36%	9	30.00%						
22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%						
HF max					relLF max					SD1 min									
5	22.73%	8	26.67%	48.08%	9	40.91%	11	36.67%	34.62%	7	31.82%	9	30.00%	50.00%					
10	45.45%	13	43.33%		10	45.45%	6	20.00%		7	31.82%	11	36.67%						
7	31.82%	9	30.00%		3	13.64%	13	43.33%		8	36.36%	10	33.33%						
22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%						
LF/HF max					HR min					SD2 min									
9	40.91%	11	36.67%	34.62%	9	40.91%	6	20.00%	61.54%	9	40.91%	13	43.33%	50.00%					
10	45.45%	6	20.00%		5	22.73%	15	50.00%		6	27.27%	10	33.33%						
3	13.64%	13	43.33%		8	36.36%	9	30.00%		7	31.82%	7	23.33%						
22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%						
SD1 max					SDNN min					SD2/SD1 min									
7	31.82%	13	43.33%	38.46%	8	36.36%	12	40.00%	51.92%	7	31.82%	11	36.67%	51.92%					
9	40.91%	7	23.33%		7	31.82%	12	40.00%		3	13.64%	8	26.67%						
6	27.27%	10	33.33%		7	31.82%	6	20.00%		12	54.55%	11	36.67%						
22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%		22	100.00%	30	100.00%						

Obrázek B.1. Detekce extrémů v segmentech a klasifikace na základě těchto extrémů pro krátké úseky hadích bloků.

pavoučí bloky krátké fobici		pavoučí bloky krátké nefobici			pavoučí bloky krátké fobici		pavoučí bloky krátké nefobici			pavoučí bloky krátké fobici		pavoučí bloky krátké nefobici			pavoučí bloky krátké fobici		pavoučí bloky krátké nefobici		
HR max					SD2 max					RMSSD min					ApEn min				
6	24.00%	3	13.64%	40.43%	7	28.00%	7	31.82%	44.68%	9	36.00%	10	45.45%	51.06%	11	44.00%	11	50.00%	55.32%
13	52.00%	7	31.82%		12	48.00%	8	36.36%		9	36.00%	8	36.36%		8	32.00%	9	40.91%	
6	24.00%	12	54.55%		6	24.00%	7	31.82%		7	28.00%	4	18.18%		6	24.00%	2	9.09%	
25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%	
SDNN max					SD2/SD1 max					pNN50 min					total power min				
7	28.00%	7	31.82%	42.55%	9	36.00%	5	22.73%	51.06%	17	68.00%	14	63.64%	51.06%	9	36.00%	8	36.36%	48.94%
12	48.00%	7	31.82%		9	36.00%	8	36.36%		5	20.00%	4	18.18%		7	28.00%	5	22.73%	
6	24.00%	8	36.36%		7	28.00%	9	40.91%		3	12.00%	4	18.18%		9	36.00%	9	40.91%	
25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%	
RMSSD max					ApEn max					LF min					relHF min				
7	28.00%	7	31.82%	59.57%	7	28.00%	8	36.36%	42.55%	11	44.00%	8	36.36%	55.32%	9	36.00%	8	36.36%	51.06%
6	24.00%	9	40.91%		7	28.00%	2	9.09%		6	24.00%	7	31.82%		8	32.00%	7	31.82%	
12	48.00%	6	27.27%		11	44.00%	12	54.55%		8	32.00%	7	31.82%		8	32.00%	7	31.82%	
25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%	
pNN50 max					total power max					HF min					relLF min				
5	20.00%	5	22.73%	59.57%	5	20.00%	5	22.73%	51.06%	10	40.00%	8	36.36%	53.19%	8	32.00%	7	31.82%	48.94%
3	12.00%	6	27.27%		10	40.00%	9	40.91%		7	28.00%	7	31.82%		11	44.00%	9	40.91%	
17	68.00%	11	50.00%		10	40.00%	8	36.36%		8	32.00%	7	31.82%		6	24.00%	6	27.27%	
25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%	
LF max					relHF max					LF/HF min									
4	16.00%	5	22.73%	44.68%	8	32.00%	7	31.82%	48.94%	8	32.00%	7	31.82%	48.94%					
13	52.00%	9	40.91%		11	44.00%	9	40.91%		11	44.00%	9	40.91%						
8	32.00%	8	36.36%		6	24.00%	6	27.27%		6	24.00%	6	27.27%						
25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%						
HF max					relLF max					SD1 min									
5	20.00%	4	18.18%	51.06%	9	36.00%	8	36.36%	51.06%	8	32.00%	10	45.45%	46.81%					
10	40.00%	9	40.91%		8	32.00%	7	31.82%		11	44.00%	8	36.36%						
10	40.00%	9	40.91%		8	32.00%	7	31.82%		6	24.00%	4	18.18%						
25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%						
LF/HF max					HR min					SD2 min									
9	36.00%	8	36.36%	51.06%	8	32.00%	10	45.45%	61.70%	9	36.00%	7	31.82%	51.06%					
8	32.00%	7	31.82%		5	20.00%	9	40.91%		8	32.00%	7	31.82%						
8	32.00%	7	31.82%		12	48.00%	3	13.64%		8	32.00%	8	36.36%						
25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%						
SD1 max					SDNN min					SD2/SD1 min									
7	28.00%	7	31.82%	57.45%	8	32.00%	7	31.82%	51.06%	6	24.00%	7	31.82%	51.06%					
7	28.00%	9	40.91%		8	32.00%	7	31.82%		9	36.00%	8	36.36%						
11	44.00%	6	27.27%		9	36.00%	8	36.36%		10	40.00%	7	31.82%						
25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%		25	100.00%	22	100.00%						

Obrázek B.2. Detekce extrémů v segmentech a klasifikace na základě těchto extrémů pro krátké úseky pavoučích bloků.

hadí nebloky krátké fobici		hadí nebloky krátké nefobici			hadí nebloky krátké fobici		hadí nebloky krátké nefobici			hadí nebloky krátké fobici		hadí nebloky krátké nefobici			hadí nebloky krátké fobici		hadí nebloky krátké nefobici		
HR max					SD2 max					RMSSD min					ApEn min				
6	27.27%	9	40.91%	43.18%	9	40.91%	12	54.55%	52.27%	8	36.36%	7	31.82%	45.45%	10	45.45%	6	27.27%	50.00%
9	40.91%	6	27.27%		3	13.64%	4	18.18%		10	45.45%	8	36.36%		7	31.82%	7	31.82%	
7	31.82%	7	31.82%		10	45.45%	6	27.27%		4	18.18%	7	31.82%		5	22.73%	9	40.91%	
22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%	
SDNN max					SD2/SD1 max					pNN50 min					total power min				
8	36.36%	11	50.00%	54.55%	3	13.64%	11	50.00%	40.91%	12	54.55%	10	45.45%	45.45%	10	45.45%	8	36.36%	45.45%
3	13.64%	5	22.73%		7	31.82%	3	13.64%		8	36.36%	6	27.27%		8	36.36%	6	27.27%	
11	50.00%	6	27.27%		12	54.55%	8	36.36%		2	9.09%	6	27.27%		4	18.18%	8	36.36%	
22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%	
RMSSD max					ApEn max					LF min					relHF min				
9	40.91%	9	40.91%	54.55%	8	36.36%	13	59.09%	50.00%	8	36.36%	6	27.27%	50.00%	7	31.82%	8	36.36%	47.73%
6	27.27%	8	36.36%		8	36.36%	8	36.36%		10	45.45%	10	45.45%		4	18.18%	3	13.64%	
7	31.82%	5	22.73%		6	27.27%	1	4.55%		4	18.18%	6	27.27%		11	50.00%	11	50.00%	
22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%	
pNN50 max					total power max					HF min					relLF min				
12	54.55%	11	50.00%	63.64%	8	36.36%	12	54.55%	52.27%	10	45.45%	7	31.82%	50.00%	6	27.27%	5	22.73%	50.00%
2	9.09%	8	36.36%		5	22.73%	6	27.27%		6	27.27%	6	27.27%		12	54.55%	12	54.55%	
8	36.36%	3	13.64%		9	40.91%	4	18.18%		6	27.27%	9	40.91%		4	18.18%	5	22.73%	
22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%	
LF max					relHF max					LF/HF min									
8	36.36%	11	50.00%	50.00%	6	27.27%	5	22.73%	50.00%	6	27.27%	5	22.73%	50.00%					
5	22.73%	5	22.73%		12	54.55%	12	54.55%		12	54.55%	12	54.55%						
9	40.91%	6	27.27%		4	18.18%	5	22.73%		4	18.18%	5	22.73%						
22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%						
HF max					relLF max					SD1 min									
6	27.27%	10	45.45%	52.27%	7	31.82%	8	36.36%	47.73%	8	36.36%	7	31.82%	45.45%					
7	31.82%	8	36.36%		4	18.18%	3	13.64%		10	45.45%	8	36.36%						
9	40.91%	4	18.18%		11	50.00%	11	50.00%		4	18.18%	7	31.82%						
22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%						
LF/HF max					HR min					SD2 min									
7	31.82%	8	36.36%	47.73%	9	40.91%	10	45.45%	54.55%	7	31.82%	6	27.27%	47.73%					
4	18.18%	3	13.64%		3	13.64%	5	22.73%		11	50.00%	10	45.45%						
11	50.00%	11	50.00%		10	45.45%	7	31.82%		4	18.18%	6	27.27%						
22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%						
SD1 max					SDNN min					SD2/SD1 min									
8	36.36%	7	31.82%	59.09%	7	31.82%	7	31.82%	38.64%	11	50.00%	6	27.27%	59.09%					
5	22.73%	9	40.91%		14	63.64%	9	40.91%		7	31.82%	11	50.00%						
9	40.91%	6	27.27%		1	4.55%	6	27.27%		4	18.18%	5	22.73%						
22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%		22	100.00%	22	100.00%						

Obrázek B.3. Detekce extrémů v segmentech a klasifikace na základě těchto extrémů pro krátké úseky hadích nebloků.

pavoučí nebloky krátké fobici		pavoučí nebloky krátké nefobici			pavoučí nebloky krátké fobici		pavoučí nebloky krátké nefobici			pavoučí nebloky krátké fobici		pavoučí nebloky krátké nefobici			pavoučí nebloky krátké fobici		pavoučí nebloky krátké nefobici		
HR max					SD2 max					RMSSD min					ApEn min				
10	40.00%	8	32.00%	38.00%	8	32.00%	9	36.00%	44.00%	10	40.00%	6	24.00%	56.00%	14	56.00%	11	44.00%	50.00%
12	48.00%	6	24.00%		8	32.00%	5	20.00%		8	32.00%	11	44.00%		6	24.00%	6	24.00%	
3	12.00%	11	44.00%		9	36.00%	11	44.00%		7	28.00%	8	32.00%		5	20.00%	8	32.00%	
25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%	
SDNN max					SD2/SD1 max					pNN50 min					total power min				
7	28.00%	10	40.00%	40.00%	5	20.00%	10	40.00%	52.00%	16	64.00%	18	72.00%	48.00%	8	32.00%	14	56.00%	40.00%
9	36.00%	4	16.00%		9	36.00%	10	40.00%		5	20.00%	4	16.00%		10	40.00%	5	20.00%	
9	36.00%	11	44.00%		11	44.00%	5	20.00%		4	16.00%	3	12.00%		7	28.00%	6	24.00%	
25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%	
RMSSD max					ApEn max					LF min					relHF min				
7	28.00%	7	28.00%	48.00%	6	24.00%	5	20.00%	60.00%	7	28.00%	12	48.00%	46.00%	11	44.00%	5	20.00%	62.00%
8	32.00%	7	28.00%		10	40.00%	15	60.00%		10	40.00%	8	32.00%		7	28.00%	13	52.00%	
10	40.00%	11	44.00%		9	36.00%	5	20.00%		8	32.00%	5	20.00%		7	28.00%	7	28.00%	
25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%	
pNN50 max					total power max					HF min					relLF min				
13	52.00%	14	56.00%	44.00%	6	24.00%	6	24.00%	48.00%	10	40.00%	10	40.00%	46.00%	9	36.00%	11	44.00%	46.00%
5	20.00%	2	8.00%		8	32.00%	7	28.00%		8	32.00%	6	24.00%		8	32.00%	6	24.00%	
7	28.00%	9	36.00%		11	44.00%	12	48.00%		7	28.00%	9	36.00%		8	32.00%	8	32.00%	
25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%	
LF max					relHF max					LF/HF min									
8	32.00%	6	24.00%	46.00%	9	36.00%	11	44.00%	46.00%	9	36.00%	11	44.00%	46.00%					
7	28.00%	5	20.00%		8	32.00%	6	24.00%		8	32.00%	6	24.00%						
10	40.00%	14	56.00%		8	32.00%	8	32.00%		8	32.00%	8	32.00%						
25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%						
HF max					relLF max					SD1 min									
6	24.00%	7	28.00%	48.00%	11	44.00%	5	20.00%	62.00%	10	40.00%	4	16.00%	58.00%					
9	36.00%	8	32.00%		7	28.00%	13	52.00%		7	28.00%	11	44.00%						
10	40.00%	10	40.00%		7	28.00%	7	28.00%		8	32.00%	10	40.00%						
25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%						
LF/HF max					HR min					SD2 min									
11	44.00%	5	20.00%	62.00%	6	24.00%	7	28.00%	54.00%	9	36.00%	10	40.00%	42.00%					
7	28.00%	13	52.00%		7	28.00%	9	36.00%		11	44.00%	7	28.00%						
7	28.00%	7	28.00%		12	48.00%	9	36.00%		5	20.00%	8	32.00%						
25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%						
SD1 max					SDNN min					SD2/SD1 min									
8	32.00%	8	32.00%	54.00%	8	32.00%	10	40.00%	40.00%	9	36.00%	10	40.00%	50.00%					
6	24.00%	8	32.00%		12	48.00%	7	28.00%		8	32.00%	8	32.00%						
11	44.00%	9	36.00%		5	20.00%	8	32.00%		8	32.00%	7	28.00%						
25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%		25	100.00%	25	100.00%						

Obrázek B.4. Detekce extrémů v segmentech a klasifikace na základě těchto extrémů pro krátké úseky pavoučích nebloků.

hadí bloky fobici		hadí bloky nefobici			hadí bloky fobici		hadí bloky nefobici			hadí bloky fobici		hadí bloky nefobici			hadí bloky fobici		hadí bloky nefobici		
HR max					SD2 max					RMSSD min					ApEn min				
4	22.22%	8	21.62%	47.27%	5	27.78%	16	43.24%	34.55%	5	27.78%	10	27.03%	45.45%	3	16.67%	14	37.84%	34.55%
7	38.89%	15	40.54%		7	38.89%	8	21.62%		9	50.00%	16	43.24%		13	72.22%	14	37.84%	
7	38.89%	14	37.84%		6	33.33%	13	35.14%		4	22.22%	11	29.73%		2	11.11%	9	24.32%	
18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%	
SDNN max					SD2/SD1 max					pNN50 min					total power min				
5	27.78%	17	45.95%	32.73%	4	22.22%	15	40.54%	29.09%	5	27.78%	14	37.84%	38.18%	7	38.89%	9	24.32%	47.27%
6	33.33%	6	16.22%		12	66.67%	10	27.03%		12	66.67%	15	40.54%		6	33.33%	14	37.84%	
7	38.89%	14	37.84%		2	11.11%	12	32.43%		1	5.56%	8	21.62%		5	27.78%	14	37.84%	
18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%	
RMSSD max					ApEn max					LF min					relHF min				
6	33.33%	15	40.54%	34.55%	9	50.00%	6	16.22%	52.73%	8	44.44%	11	29.73%	40.00%	5	27.78%	11	29.73%	49.09%
5	27.78%	6	16.22%		2	11.11%	13	35.14%		6	33.33%	10	27.03%		9	50.00%	18	48.65%	
7	38.89%	16	43.24%		7	38.89%	18	48.65%		4	22.22%	16	43.24%		4	22.22%	8	21.62%	
18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%	
pNN50 max					total power max					HF min					relLF min				
10	55.56%	18	48.65%	40.00%	5	27.78%	14	37.84%	43.64%	4	22.22%	8	21.62%	45.45%	9	50.00%	11	29.73%	36.36%
3	16.67%	7	18.92%		5	27.78%	11	29.73%		7	38.89%	14	37.84%		6	33.33%	8	21.62%	
5	27.78%	12	32.43%		8	44.44%	12	32.43%		7	38.89%	15	40.54%		3	16.67%	18	48.65%	
18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%	
LF max					relHF max					LF/HF min									
5	27.78%	17	45.95%	41.82%	9	50.00%	11	29.73%	36.36%	9	50.00%	11	29.73%	36.36%					
6	33.33%	11	29.73%		6	33.33%	8	21.62%		6	33.33%	8	21.62%						
7	38.89%	9	24.32%		3	16.67%	18	48.65%		3	16.67%	18	48.65%						
18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%						
HF max					relLF max					SD1 min									
6	33.33%	12	32.43%	41.82%	5	27.78%	11	29.73%	49.09%	4	22.22%	10	27.03%	45.45%					
6	33.33%	11	29.73%		9	50.00%	18	48.65%		9	50.00%	16	43.24%						
6	33.33%	14	37.84%		4	22.22%	8	21.62%		5	27.78%	11	29.73%						
18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%						
LF/HF max					HR min					SD2 min									
5	27.78%	11	29.73%	49.09%	9	50.00%	12	32.43%	47.27%	6	33.33%	10	27.03%	47.27%					
9	50.00%	18	48.65%		5	27.78%	13	35.14%		6	33.33%	14	37.84%						
4	22.22%	8	21.62%		4	22.22%	12	32.43%		6	33.33%	13	35.14%						
18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%						
SD1 max					SDNN min					SD2/SD1 min									
6	33.33%	15	40.54%	34.55%	5	27.78%	9	24.32%	49.09%	7	38.89%	12	32.43%	45.45%					
5	27.78%	6	16.22%		8	44.44%	17	45.95%		4	22.22%	11	29.73%						
7	38.89%	16	43.24%		5	27.78%	11	29.73%		7	38.89%	14	37.84%						
18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%		18	100.00%	37	100.00%						

Obrázek B.5. Detekce extrémů v segmentech a klasifikace na základě těchto extrémů pro hadí bloky.

pavoučí bloky fobici		pavoučí bloky nefobici			pavoučí bloky fobici		pavoučí bloky nefobici			pavoučí bloky fobici		pavoučí bloky nefobici			pavoučí bloky fobici		pavoučí bloky nefobici		
HR max					SD2 max					RMSSD min					ApEn min				
6	25.00%	6	24.00%	42.86%	5	20.83%	8	32.00%	48.98%	8	33.33%	11	44.00%	40.82%	7	29.17%	9	36.00%	59.18%
12	50.00%	9	36.00%		9	37.50%	9	36.00%		7	29.17%	3	12.00%		6	25.00%	11	44.00%	
6	25.00%	10	40.00%		10	41.67%	8	32.00%		9	37.50%	11	44.00%		11	45.83%	5	20.00%	
24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%	
SDNN max					SD2/SD1 max					pNN50 min					total power min				
5	20.83%	7	28.00%	53.06%	7	29.17%	7	28.00%	51.02%	12	50.00%	16	64.00%	40.82%	4	16.67%	11	44.00%	34.69%
9	37.50%	11	44.00%		7	29.17%	8	32.00%		5	20.83%	1	4.00%		12	50.00%	5	20.00%	
10	41.67%	7	28.00%		10	41.67%	10	40.00%		7	29.17%	8	32.00%		8	33.33%	9	36.00%	
24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%	
RMSSD max					ApEn max					LF min					relHF min				
6	25.00%	6	24.00%	61.22%	7	29.17%	7	28.00%	46.94%	5	20.83%	10	40.00%	34.69%	6	25.00%	7	28.00%	55.10%
8	33.33%	14	56.00%		8	33.33%	7	28.00%		11	45.83%	4	16.00%		8	33.33%	11	44.00%	
10	41.67%	5	20.00%		9	37.50%	11	44.00%		8	33.33%	11	44.00%		10	41.67%	7	28.00%	
24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%	
pNN50 max					total power max					HF min					relLF min				
9	37.50%	3	12.00%	63.27%	8	33.33%	5	20.00%	57.14%	9	37.50%	15	60.00%	42.86%	8	33.33%	10	40.00%	40.82%
6	25.00%	13	52.00%		8	33.33%	12	48.00%		6	25.00%	3	12.00%		9	37.50%	5	20.00%	
9	37.50%	9	36.00%		8	33.33%	8	32.00%		9	37.50%	7	28.00%		7	29.17%	10	40.00%	
24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%	
LF max					relHF max					LF/HF min									
7	29.17%	8	32.00%	55.10%	8	33.33%	10	40.00%	40.82%	8	33.33%	10	40.00%	40.82%					
8	33.33%	11	44.00%		9	37.50%	5	20.00%		9	37.50%	5	20.00%						
9	37.50%	6	24.00%		7	29.17%	10	40.00%		7	29.17%	10	40.00%						
24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%						
HF max					relLF max					SD1 min									
7	29.17%	5	20.00%	46.94%	6	25.00%	7	28.00%	55.10%	7	29.17%	10	40.00%	40.82%					
11	45.83%	10	40.00%		8	33.33%	11	44.00%		8	33.33%	4	16.00%						
6	25.00%	10	40.00%		10	41.67%	7	28.00%		9	37.50%	11	44.00%						
24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%						
LF/HF max					HR min					SD2 min									
6	25.00%	7	28.00%	55.10%	11	45.83%	13	52.00%	46.94%	8	33.33%	12	48.00%	40.82%					
8	33.33%	11	44.00%		5	20.83%	4	16.00%		10	41.67%	6	24.00%						
10	41.67%	7	28.00%		8	33.33%	8	32.00%		6	25.00%	7	28.00%						
24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%						
SD1 max					SDNN min					SD2/SD1 min									
6	25.00%	6	24.00%	61.22%	7	29.17%	12	48.00%	40.82%	7	29.17%	5	20.00%	55.10%					
8	33.33%	14	56.00%		10	41.67%	6	24.00%		10	41.67%	13	52.00%						
10	41.67%	5	20.00%		7	29.17%	7	28.00%		7	29.17%	7	28.00%						
24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%		24	100.00%	25	100.00%						

Obrázek B.6. Detekce extrémů v segmentech a klasifikace na základě těchto extrémů pro pavoučí bloky.

hadí nebloky fobici		hadí nebloky nefobici			hadí nebloky fobici		hadí nebloky nefobici			hadí nebloky fobici		hadí nebloky nefobici			hadí nebloky fobici		hadí nebloky nefobici		
HR max					SD2 max					RMSSD min					ApEn min				
5	25.00%	7	24.14%	53.06%	9	45.00%	14	48.28%	48.98%	4	20.00%	7	24.14%	36.73%	7	35.00%	10	34.48%	36.73%
8	40.00%	14	48.28%		5	25.00%	9	31.03%		8	40.00%	6	20.69%		8	40.00%	6	20.69%	
7	35.00%	8	27.59%		6	30.00%	6	20.69%		8	40.00%	16	55.17%		5	25.00%	13	44.83%	
20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%	
SDNN max					SD2/SD1 max					pNN50 min					total power min				
9	45.00%	13	44.83%	55.10%	6	30.00%	13	44.83%	34.69%	7	35.00%	9	31.03%	30.61%	7	35.00%	7	24.14%	42.86%
5	25.00%	12	41.38%		7	35.00%	4	13.79%		10	50.00%	5	17.24%		7	35.00%	8	27.59%	
6	30.00%	4	13.79%		7	35.00%	12	41.38%		3	15.00%	15	51.72%		6	30.00%	14	48.28%	
20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%	
RMSSD max					ApEn max					LF min					relHF min				
11	55.00%	13	44.83%	57.14%	7	35.00%	10	34.48%	59.18%	6	30.00%	6	20.69%	46.94%	8	40.00%	12	41.38%	42.86%
4	20.00%	12	41.38%		5	25.00%	14	48.28%		7	35.00%	10	34.48%		6	30.00%	7	24.14%	
5	25.00%	4	13.79%		8	40.00%	5	17.24%		7	35.00%	13	44.83%		6	30.00%	10	34.48%	
20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%	
pNN50 max					total power max					HF min					relLF min				
12	60.00%	18	62.07%	51.02%	7	35.00%	16	55.17%	38.78%	6	30.00%	8	27.59%	42.86%	8	40.00%	7	24.14%	48.98%
4	20.00%	9	31.03%		10	50.00%	9	31.03%		8	40.00%	9	31.03%		7	35.00%	11	37.93%	
4	20.00%	2	6.90%		3	15.00%	4	13.79%		6	30.00%	12	41.38%		5	25.00%	11	37.93%	
20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%	
LF max					relHF max					LF/HF min									
7	35.00%	14	48.28%	40.82%	8	40.00%	7	24.14%	48.98%	8	40.00%	7	24.14%	48.98%					
9	45.00%	9	31.03%		7	35.00%	11	37.93%		7	35.00%	11	37.93%						
4	20.00%	6	20.69%		5	25.00%	11	37.93%		5	25.00%	11	37.93%						
20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%						
HF max					relLF max					SD1 min									
9	45.00%	15	51.72%	44.90%	8	40.00%	12	41.38%	42.86%	4	20.00%	7	24.14%	36.73%					
7	35.00%	9	31.03%		6	30.00%	7	24.14%		7	35.00%	5	17.24%						
4	20.00%	5	17.24%		6	30.00%	10	34.48%		9	45.00%	17	58.62%						
20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%						
LF/HF max					HR min					SD2 min									
8	40.00%	12	41.38%	42.86%	12	60.00%	15	51.72%	53.06%	6	30.00%	8	27.59%	38.78%					
6	30.00%	7	24.14%		2	10.00%	8	27.59%		8	40.00%	7	24.14%						
6	30.00%	10	34.48%		6	30.00%	6	20.69%		6	30.00%	14	48.28%						
20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%						
SD1 max					SDNN min					SD2/SD1 min									
11	55.00%	13	44.83%	57.14%	5	25.00%	8	27.59%	38.78%	7	35.00%	6	20.69%	53.06%					
4	20.00%	12	41.38%		8	40.00%	7	24.14%		8	40.00%	14	48.28%						
5	25.00%	4	13.79%		7	35.00%	14	48.28%		5	25.00%	9	31.03%						
20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%		20	100.00%	29	100.00%						

Obrázek B.7. Detekce extrémů v segmentech a klasifikace na základě těchto extrémů pro hadí nebloky.

pavoučí nebloky fobici		pavoučí nebloky nefobici			pavoučí nebloky fobici		pavoučí nebloky nefobici			pavoučí nebloky fobici		pavoučí nebloky nefobici			pavoučí nebloky fobici		pavoučí nebloky nefobici		
HR max					SD2 max					RMSSD min					ApEn min				
6	27.27%	8	29.63%	55.10%	3	13.64%	10	37.04%	42.86%	12	54.55%	5	18.52%	57.14%	10	45.45%	9	33.33%	55.10%
8	36.36%	13	48.15%		10	45.45%	9	33.33%		3	13.64%	9	33.33%		10	45.45%	15	55.56%	
8	36.36%	6	22.22%		9	40.91%	8	29.63%		7	31.82%	13	48.15%		2	9.09%	3	11.11%	
22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%	
SDNN max					SD2/SD1 max					pNN50 min					total power min				
3	13.64%	10	37.04%	42.86%	5	22.73%	8	29.63%	46.94%	14	63.64%	14	51.85%	48.98%	8	36.36%	10	37.04%	44.90%
10	45.45%	9	33.33%		7	31.82%	8	29.63%		4	18.18%	6	22.22%		9	40.91%	9	33.33%	
9	40.91%	8	29.63%		10	45.45%	11	40.74%		4	18.18%	7	25.93%		5	22.73%	8	29.63%	
22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%	
RMSSD max					ApEn max					LF min					relHF min				
6	27.27%	11	40.74%	42.86%	1	4.55%	6	22.22%	44.90%	8	36.36%	9	33.33%	42.86%	7	31.82%	8	29.63%	51.02%
8	36.36%	7	25.93%		3	13.64%	3	11.11%		7	31.82%	6	22.22%		6	27.27%	9	33.33%	
8	36.36%	9	33.33%		18	81.82%	18	66.67%		7	31.82%	12	44.44%		9	40.91%	10	37.04%	
22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%	
pNN50 max					total power max					HF min					relLF min				
10	45.45%	14	51.85%	48.98%	7	31.82%	8	29.63%	42.86%	9	40.91%	6	22.22%	63.27%	5	22.73%	4	14.81%	46.94%
5	22.73%	7	25.93%		9	40.91%	8	29.63%		4	18.18%	13	48.15%		11	50.00%	12	44.44%	
7	31.82%	6	22.22%		6	27.27%	11	40.74%		9	40.91%	8	29.63%		6	27.27%	11	40.74%	
22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%	
LF max					relHF max					LF/HF min									
6	27.27%	10	37.04%	46.94%	5	22.73%	4	14.81%	46.94%	5	22.73%	4	14.81%	46.94%					
7	31.82%	8	29.63%		11	50.00%	12	44.44%		11	50.00%	12	44.44%						
9	40.91%	9	33.33%		6	27.27%	11	40.74%		6	27.27%	11	40.74%						
22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%						
HF max					relLF max					SD1 min									
7	31.82%	11	40.74%	44.90%	7	31.82%	8	29.63%	51.02%	12	54.55%	5	18.52%	57.14%					
7	31.82%	7	25.93%		6	27.27%	9	33.33%		3	13.64%	9	33.33%						
8	36.36%	9	33.33%		9	40.91%	10	37.04%		7	31.82%	13	48.15%						
22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%						
LF/HF max					HR min					SD2 min									
7	31.82%	8	29.63%	51.02%	9	40.91%	10	37.04%	46.94%	9	40.91%	10	37.04%	44.90%					
6	27.27%	9	33.33%		7	31.82%	8	29.63%		8	36.36%	8	29.63%						
9	40.91%	10	37.04%		6	27.27%	9	33.33%		5	22.73%	9	33.33%						
22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%						
SD1 max					SDNN min					SD2/SD1 min									
6	27.27%	11	40.74%	42.86%	10	45.45%	9	33.33%	42.86%	7	31.82%	8	29.63%	48.98%					
8	36.36%	7	25.93%		8	36.36%	7	25.93%		8	36.36%	10	37.04%						
8	36.36%	9	33.33%		4	18.18%	11	40.74%		7	31.82%	9	33.33%						
22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%		22	100.00%	27	100.00%						

Obrázek B.8. Detekce extrémů v segmentech a klasifikace na základě těchto extrémů pro pavoučí nebloky.

hadí bloky (krátké úseky)	ApEn	HF	HR	LF	pNN50	ratio (LF/HF)	RMSSD	SD ratio (SD2/SD1)	SD1	SD2	SDNN	power	relHF	relLF
ApEn	1.000													
HF	0.446	1.000												
HR	0.468	0.167	1.000											
LF	0.425	0.947	0.201	1.000										
pNN50	0.042	0.358	-0.368	0.401	1.000									
ratio (LF/HF)	0.056	-0.121	0.247	0.056	-0.214	1.000								
RMSSD	0.492	0.811	-0.063	0.775	0.669	-0.178	1.000							
SD ratio (SD2/SD1)	-0.011	-0.201	0.320	-0.046	-0.375	0.768	-0.356	1.000						
SD1	0.485	0.807	-0.073	0.768	0.678	-0.185	1.000	-0.367	1.000					
SD2	0.322	0.576	-0.044	0.720	0.643	0.228	0.757	0.123	0.750	1.000				
SDNN	0.431	0.724	-0.053	0.792	0.693	0.062	0.925	-0.087	0.921	0.947	1.000			
power	0.446	0.997	0.176	0.968	0.371	-0.083	0.811	-0.168	0.805	0.613	0.746	1.000		
relHF	-0.096	0.110	-0.311	-0.090	0.232	-0.932	0.192	-0.750	0.200	-0.240	-0.059	0.066	1.000	
relLF	0.096	-0.110	0.311	0.090	-0.232	0.932	-0.192	0.750	-0.200	0.240	0.059	-0.066	-1.000	1.000

Obrázek B.9. Korelace parametrů z prostředních segmentů pro krátké úseky hadích bloků.

pavoučí bloky (krátké úseky)	ApEn	HF	HR	LF	pNN50	ratio (LF/HF)	RMSSD	SD ratio (SD2/SD1)	SD1	SD2	SDNN	power	relHF	relLF
ApEn	1.000													
HF	-0.072	1.000												
HR	0.560	-0.101	1.000											
LF	-0.119	0.882	-0.071	1.000										
pNN50	-0.241	0.743	-0.381	0.548	1.000									
ratio (LF/HF)	-0.135	-0.225	-0.105	0.072	-0.325	1.000								
RMSSD	0.087	0.714	-0.157	0.530	0.766	-0.243	1.000							
SD ratio (SD2/SD1)	0.091	-0.228	0.156	0.031	-0.445	0.747	-0.409	1.000						
SD1	0.076	0.718	-0.164	0.532	0.773	-0.250	1.000	-0.419	1.000					
SD2	0.041	0.766	-0.079	0.817	0.613	0.132	0.763	0.051	0.758	1.000				
SDNN	0.069	0.784	-0.120	0.740	0.707	0.001	0.914	-0.122	0.910	0.958	1.000			
power	-0.091	0.986	-0.093	0.949	0.694	-0.124	0.668	-0.141	0.671	0.806	0.790	1.000		
relHF	0.083	0.170	0.057	-0.172	0.285	-0.880	0.216	-0.696	0.224	-0.198	-0.045	0.052	1.000	
relLF	-0.083	-0.170	-0.057	0.172	-0.285	0.880	-0.216	0.696	-0.224	0.198	0.045	-0.052	-1.000	1.000

Obrázek B.10. Korelace parametrů z prostředních segmentů pro krátké úseky pavoučích bloků.

hadí nebloky (krátké úseky)	ApEn	HF	HR	LF	pNN50	ratio (LF/HF)	RMSSD	SD ratio (SD2/SD1)	SD1	SD2	SDNN	power	relHF	relLF
ApEn	1.000													
HF	0.141	1.000												
HR	0.522	-0.140	1.000											
LF	0.079	0.945	-0.133	1.000										
pNN50	-0.051	0.495	-0.571	0.510	1.000									
ratio (LF/HF)	-0.033	-0.146	0.209	-0.029	-0.329	1.000								
RMSSD	0.351	0.677	-0.345	0.620	0.758	-0.268	1.000							
SD ratio (SD2/SD1)	-0.006	-0.136	0.413	-0.007	-0.416	0.668	-0.393	1.000						
SD1	0.343	0.679	-0.358	0.621	0.766	-0.277	1.000	-0.408	1.000					
SD2	0.122	0.714	-0.227	0.811	0.638	0.052	0.738	0.125	0.728	1.000				
SDNN	0.245	0.733	-0.277	0.776	0.724	-0.058	0.897	-0.050	0.890	0.958	1.000			
power	0.123	0.995	-0.140	0.974	0.505	-0.111	0.667	-0.097	0.669	0.753	0.756	1.000		
relHF	0.081	0.099	-0.135	-0.056	0.295	-0.925	0.261	-0.663	0.269	-0.133	0.008	0.051	1.000	
relLF	-0.081	-0.099	0.135	0.056	-0.295	0.925	-0.261	0.663	-0.269	0.133	-0.008	-0.051	-1.000	1.000

Obrázek B.11. Korelace parametrů z prostředních segmentů pro krátké úseky hadích nebloků.

pavoučí nebloky (krátké úseky)	ApEn	HF	HR	LF	pNN50	ratio (LF/HF)	RMSSD	SD ratio (SD2/SD1)	SD1	SD2	SDNN	power	relHF	relLF
ApEn	1.000													
HF	-0.129	1.000												
HR	0.279	-0.372	1.000											
LF	0.051	0.742	-0.248	1.000										
pNN50	-0.036	0.727	-0.499	0.601	1.000									
ratio (LF/HF)	0.297	-0.112	0.167	0.219	-0.070	1.000								
RMSSD	0.019	0.479	-0.386	0.418	0.651	-0.099	1.000							
SD ratio (SD2/SD1)	0.256	-0.059	0.104	0.191	-0.155	0.726	-0.183	1.000						
SD1	0.005	0.494	-0.389	0.418	0.664	-0.139	0.997	-0.247	1.000					
SD2	0.159	0.578	-0.347	0.741	0.645	0.341	0.736	0.386	0.705	1.000				
SDNN	0.128	0.574	-0.373	0.690	0.671	0.252	0.843	0.270	0.817	0.984	1.000			
power	-0.048	0.942	-0.336	0.924	0.715	0.046	0.482	0.062	0.491	0.701	0.673	1.000		
relHF	-0.284	0.018	-0.169	-0.347	0.040	-0.850	0.088	-0.604	0.110	-0.319	-0.234	-0.164	1.000	
relLF	0.284	-0.018	0.169	0.347	-0.040	0.850	-0.088	0.604	-0.110	0.319	0.234	0.164	-1.000	1.000

Obrázek B.12. Korelace parametrů z prostředních segmentů pro krátké úseky pavoučích nebloků.

hadí bloky	ApEn	HF	HR	LF	pNN50	ratio (LF/HF)	RMSSD	SD ratio (SD2/SD1)	SD1	SD2	SDNN	power	relHF	relLF
ApEn	1.000													
HF	-0.247	1.000												
HR	0.488	-0.327	1.000											
LF	-0.040	0.614	-0.168	1.000										
pNN50	-0.366	0.838	-0.506	0.543	1.000									
ratio (LF/HF)	0.337	-0.358	0.298	-0.037	-0.383	1.000								
RMSSD	-0.247	0.908	-0.485	0.559	0.856	-0.391	1.000							
SD ratio (SD2/SD1)	0.524	-0.437	0.406	-0.156	-0.516	0.562	-0.574	1.000						
SD1	-0.249	0.908	-0.486	0.558	0.857	-0.391	1.000	-0.574	1.000					
SD2	-0.036	0.766	-0.388	0.718	0.686	-0.240	0.810	-0.147	0.810	1.000				
SDNN	-0.091	0.833	-0.433	0.695	0.759	-0.285	0.893	-0.258	0.893	0.987	1.000			
power	-0.188	0.946	-0.296	0.837	0.804	-0.263	0.859	-0.367	0.859	0.826	0.863	1.000		
relHF	-0.470	0.552	-0.407	-0.041	0.551	-0.724	0.547	-0.556	0.548	0.315	0.391	0.366	1.000	
relLF	0.470	-0.552	0.407	0.041	-0.551	0.724	-0.547	0.556	-0.548	-0.315	-0.391	-0.366	-1.000	1.000

Obrázek B.13. Korelace parametrů z prostředních segmentů pro hadí bloky.

pavoučí bloky	ApEn	HF	HR	LF	pNN50	ratio (LF/HF)	RMSSD	SD ratio (SD2/SD1)	SD1	SD2	SDNN	power	relHF	relLF
ApEn	1.000													
HF	0.261	1.000												
HR	0.504	-0.092	1.000											
LF	0.020	0.394	-0.279	1.000										
pNN50	-0.179	0.576	-0.439	0.648	1.000									
ratio (LF/HF)	0.091	-0.183	0.095	0.198	-0.275	1.000								
RMSSD	0.242	0.919	-0.179	0.498	0.723	-0.224	1.000							
SD ratio (SD2/SD1)	0.021	-0.271	0.128	-0.120	-0.463	0.471	-0.495	1.000						
SD1	0.242	0.919	-0.180	0.498	0.724	-0.225	1.000	-0.496	1.000					
SD2	0.092	0.799	-0.311	0.712	0.749	-0.052	0.865	-0.173	0.865	1.000				
SDNN	0.168	0.882	-0.260	0.638	0.752	-0.119	0.952	-0.301	0.952	0.976	1.000			
power	0.237	0.979	-0.145	0.575	0.658	-0.118	0.929	-0.269	0.929	0.871	0.928	1.000		
relHF	-0.086	0.379	-0.063	-0.173	0.370	-0.782	0.405	-0.596	0.405	0.136	0.247	0.299	1.000	
relLF	0.086	-0.379	0.063	0.173	-0.370	0.782	-0.405	0.596	-0.405	-0.136	-0.247	-0.299	-1.000	1.000

Obrázek B.14. Korelace parametrů z prostředních segmentů pro pavoučí bloky.

hadí nebloky	ApEn	HF	HR	LF	pNN50	ratio (LF/HF)	RMSSD	SD ratio (SD2/SD1)	SD1	SD2	SDNN	power	relHF	relLF
ApEn	1.000													
HF	0.072	1.000												
HR	0.226	-0.354	1.000											
LF	0.000	0.260	-0.042	1.000										
pNN50	-0.262	0.674	-0.575	0.107	1.000									
ratio (LF/HF)	0.020	-0.274	0.262	0.507	-0.335	1.000								
RMSSD	0.332	0.816	-0.379	0.202	0.631	-0.290	1.000							
SD ratio (SD2/SD1)	0.026	-0.406	0.394	0.197	-0.494	0.590	-0.549	1.000						
SD1	0.328	0.819	-0.380	0.203	0.634	-0.290	1.000	-0.549	1.000					
SD2	0.315	0.555	-0.236	0.507	0.474	0.030	0.698	0.026	0.696	1.000				
SDNN	0.354	0.697	-0.292	0.447	0.551	-0.059	0.854	-0.145	0.853	0.966	1.000			
power	0.045	0.783	-0.245	0.804	0.484	0.159	0.632	-0.123	0.635	0.668	0.717	1.000		
relHF	-0.124	0.404	-0.363	-0.426	0.497	-0.731	0.396	-0.764	0.396	-0.031	0.096	-0.026	1.000	
relLF	0.124	-0.404	0.363	0.426	-0.497	0.731	-0.396	0.764	-0.396	0.031	-0.096	0.026	-1.000	1.000

Obrázek B.15. Korelace parametrů z prostředních segmentů pro hadí nebloky.

pavoučí nebloky	ApEn	HF	HR	LF	pNN50	ratio (LF/HF)	RMSSD	SD ratio (SD2/SD1)	SD1	SD2	SDNN	power	relHF	relLF
ApEn	1.000													
HF	0.075	1.000												
HR	0.450	-0.172	1.000											
LF	0.095	0.866	-0.136	1.000										
pNN50	-0.008	0.372	-0.552	0.356	1.000									
ratio (LF/HF)	0.281	-0.194	0.405	0.024	-0.184	1.000								
RMSSD	0.104	0.900	-0.288	0.860	0.481	-0.237	1.000							
SD ratio (SD2/SD1)	0.338	-0.320	0.539	-0.163	-0.326	0.756	-0.447	1.000						
SD1	0.104	0.901	-0.289	0.860	0.481	-0.237	1.000	-0.447	1.000					
SD2	0.069	0.779	-0.244	0.845	0.559	-0.027	0.865	-0.145	0.864	1.000				
SDNN	0.093	0.843	-0.264	0.880	0.546	-0.089	0.938	-0.243	0.937	0.985	1.000			
power	0.084	0.985	-0.165	0.939	0.378	-0.125	0.914	-0.276	0.915	0.826	0.882	1.000		
relHF	-0.357	0.263	-0.469	-0.054	0.224	-0.772	0.286	-0.708	0.286	0.026	0.106	0.162	1.000	
relLF	0.357	-0.263	0.469	0.054	-0.224	0.772	-0.286	0.708	-0.286	-0.026	-0.106	-0.162	-1.000	1.000

Obrázek B.16. Korelace parametrů z prostředních segmentů pro pavoučí nebloky.