

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Katedra teorie obvodů



Diplomová práce

Změny velikosti zornice při stresu a úzkosti

Pupil Size Changes in Stress and Anxiety

Autor: Bc. Tereza Baštová

Vedoucí práce: prof. Ing. Roman Čmejla, CSc

Studijní program: Lékařská elektronika a bioinformatika

Praha 2024

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Baštová** Jméno: **Tereza** Osobní číslo: **482954**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra teorie obvodů**
Studijní program: **Lékařská elektronika a bioinformatika**
Specializace: **Zpracování signálů**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Změny velikosti zornice při stresu a úzkosti

Název diplomové práce anglicky:

Pupil Size Changes in Stress and Anxiety

Pokyny pro vypracování:

Cílem diplomové práce je hodnocení psychického stresu pomocí pupilometrie.

- Proveďte rešerši literatury týkající se detekce psychického stresu ve fyziologických signálech [1, 2] s ohledem na využití pupilometrie.
- Proveďte experiment pro hodnocení stresu, při kterém jako stresoru použijte testů pro hodnocení fobických osob na PřF UK [3].
- Vyhodnoťte možnosti pupilometrie [4] jako ukazatele úrovně stresu a úzkosti
- Zvažte doplnění experimentu i o další fyziologické signály.

Seznam doporučené literatury:

- [1] S. Greene, H. Thapliyal and A. Caban-Holt, "A Survey of Affective Computing for Stress Detection: Evaluating technologies in stress detection for better health," in IEEE Consumer Electronics Magazine, , vol. 5, no. 4, pp. 44-56, Oct. 2016.
- [2] G. Giannakakis, D. Grigoriadis, K. Giannakaki, O. Simantiraki, A. Roniotis and M. Tsiknakis, "Review on Psychological Stress Detection Using Biosignals," in IEEE Transactions on Affective Computing, vol. 13, no. 1, pp. 440-460, 1 Jan.-March 2022.
- [3] Landová et al., Venomous snakes elicit stronger fear than non-venomous ones: psychophysiological response to snake images, PLoS One, 15, 2020.
- [4] A. Palečková: Praktické problémy pupilometrie. Diplomová práce. ČVUT FEL 2013.
<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/15938>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **20.01.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: **22.09.2024**

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)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení

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

.....

Podpis autora práce

Poděkování

Ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, profesoru Ing. Romanu Čmejlovi, CSc., za odborné vedení, ochotu, konzultace a cenné rady, které mi poskytnul při zpracování této práce. Děkuji také RNDr. Evě Landové, Ph.D. a celému týmu z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovi za vstřícnost, ochotu a pomoc při získání potřebných informací a podkladů vztahujících se k tomuto tématu. Nakonec bych chtěla poděkovat společnosti Medicton Group s.r.o. za poskytnutí měřicího vybavení.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vlivem psychického stresu a úzkosti na fyziologické signály ve spojitosti se strachem a fobií z hadů. Využití fyziologických signálů pro měření stresu přináší jisté výhody vůči metodám založených na sebehodnocení (např. dotazníky), které jsou velmi subjektivní a nemusí spolehlivě odhalit projevy stresu. Mezi běžně používané fyziologické signály pro detekci stresu patří velikost zornice, galvanická kožní odezva (GSR) a variabilita srdeční frekvence (HRV). Cílem práce bylo navrhnout experiment vhodný pro pupilometrické měření, analyzovat získaná data a určit parametry vhodné pro detekci stresu. Naměřená data od 31 respondentů byla analyzována v prostředí MATLAB. Bylo získáno celkem 15 parametrů fyziologických signálů, které byly porovnávány s výsledkem dotazníku SNAQ-12 hodnotícího strach a fobii z hadů. Na základě statistické analýzy a GMM klasifikace se jako nejslibnější ukazatele stresu jeví parametry GSR, potenciálně vhodné byly také průměrná velikost zornice a HRV parametr pNN50.

Klíčová slova: Stres, fobie, analýza fyziologických signálů, velikost zornice, galvanická kožní odezva, variabilita srdeční frekvence

Abstract

This master's thesis investigates the influence of psychological stress and anxiety on physiological signals in connection to fear and phobia of snakes. The use of physiological signals to measure stress brings certain advantages over methods based on self-assessment (e.g. questionnaires), which are very subjective and may not reliably reveal stress. Commonly used physiological signals for stress detection include pupil size, galvanic skin response (GSR), and heart rate variability (HRV). The aim of the work was to design an experiment suitable for pupillometric measurement, analyse the obtained data and determine parameters usable for stress detection. Data from 31 respondents were analysed in MATLAB. A total of 15 parameters of physiological signals were obtained and compared with the result of the SNAQ-12 questionnaire assessing fear and phobia of snakes. Based on statistical analysis and GMM classification, GSR parameters appeared to be the most promising stress indicators, average pupil size and HRV parameter pNN50 were also potentially suitable for stress detection.

Keywords: Stress, phobia, physiological signal analysis, pupil size, galvanic skin response, heart rate variability

Obsah

Úvod	11
1. Stres.....	12
1.1. Stresová reakce	12
1.2. Strach a úzkost	13
1.3. Fobie.....	14
2. Měření stresu ve fyziologických signálech	15
2.1. Velikost zornice	15
2.2. Srdeční aktivita	17
2.3. Galvanická kožní odezva	19
3. Analýza fyziologických signálů.....	21
3.1. Databáze.....	21
3.1.1. Příprava stimulů.....	21
3.1.2. Použité přístroje	23
3.1.3. Respondenti	24
3.1.4. Průběh měření	24
3.1.5. Dotazník SNAQ-12.....	25
3.2. Zpracování dat.....	25
3.2.1. Zpracování pupilometrických dat	25
3.2.2. Zpracování EKG	27
3.2.3. Zpracování GSR	28
3.2.4. Statistická analýza.....	29
3.2.5. GMM klasifikace	30
4. Výsledky.....	32
4.1. Výsledky pupilometrie	33
4.2. Výsledky HRV	35
4.3. Výsledky GSR.....	38
4.4. Výsledky statistické analýzy	40
4.5. Výsledky GMM klasifikace	41
5. Diskuze.....	43
6. Závěr	49
Literatura.....	50
Přílohy.....	55

Seznam zkratek

Zkratka	Význam
AmpSum	Parametr GSR, suma amplitud významných špiček ve zkoumaném úseku fázové složky
ANS	Autonomní nervový systém
B had (list)	Stimul s obrázkem barevného hada (listu)
CDA	Continuous Decomposition Analysis (typ analýzy GSR)
ČB had (list)	Stimul s obrázkem černobílého hada (listu)
EDA	Elektrodermální aktivita
EKG	Elektrokardiografie
EM	Algoritmus Expectation–Maximization
GMM	Gaussian Mixture Model
GSR	Galvanická kožní odezva (Galvanic Skin Response)
HPA	Osa hypothalamus–hypofýza–nadledviny
HR	Srdeční frekvence (Heart Rate)
HRV	Variabilita srdeční frekvence (Heart Rate Variability)
LF/HF	Parametr HRV, poměr výkonu nízkých (0,04–0,15 Hz) a vysokých (0,15–0,4 Hz) frekvencí
NN	RR interval mezi dvěma normálními údery srdce
nSCR	Parametr GSR, počet významných špiček ve zkoumaném úseku fázové složky
PCA	Analýza hlavních komponent (Principal Component Analysis)
PhaMax	Parametr GSR, maximální hodnota fázové složky ve zkoumaném úseku
pNN50	Parametr HRV, procento po sobě jdoucích NN intervalů, jejichž rozdíl je větší než 50 ms
PNS	Parasympatický nervový systém
rmANOVA	Analýza rozptylu pro opakovaná měření (Repeated Measures Analysis of Variance)
RMSSD	Parametr HRV, druhá odmocnina součtu druhých mocnin rozdílů sousedních NN intervalů
RR	Interval mezi dvěma QRS komplexy
SC	Kožní vodivost (Skin Conductance)
SCL	Tonická složka SC, úroveň kožní vodivosti (Skin Conductance Level)
SCR	Fázová složka SC, odezva kožní vodivosti (Skin Conductance Response) Parametr GSR, průměrná hodnota fázové složky ve zkoumaném úseku
SD	Směrodatná odchylka
SDNN	Parametr HRV, směrodatná odchylka všech NN intervalů
SD1, SD2	Parametry HRV, směrodatná odchylka podél hlavní a vedlejší osy elipsy v Poincaré plotu
SNS	Sympatický nervový systém
TTP	Trough-to-Peak (typ analýzy GSR)

Úvod

Stres je nedílnou součástí našeho života, který může negativně ovlivňovat naše duševní i fyzické zdraví. S čím dál rychlejším vývojem nových technologií se zrychluje tempo našich životů, což v důsledku zvyšuje i stres, se kterým se den co den potýkáme. Metody zvládnání stresu se tak stávají stále důležitějšími. Jednou z příčin stresu jsou fobie, ať už se jedná o zvířecí fobie zmíněné v této práci, či např. sociální fobie mající negativní vliv na náš společenský život. Vědci a zdravotníci hledají různé způsoby měření projevů fobie, a obecně stresu, jednou variantou jsou právě fyziologické signály.

Využití fyziologických signálů pro měření stresu přináší jisté výhody vůči sebehodnotícím se metodám v podobě např. dotazníků, které jsou velmi subjektivní a nemusí spolehlivě odhalit projevy stresu. Fyziologické signály, jako je variabilita srdeční frekvence, vodivost kůže či velikost zornice, nabízejí objektivní a kvantifikovatelné prostředky pro hodnocení reakcí těla na stresory a fobické podněty. Mohou také pomoci odhalit mechanismy stresové reakce a využít tyto poznatky pro zvýšení diagnostické přesnosti, zlepšení léčebných postupů a jejich výsledků pro jednotlivce, kteří se potýkají s těmito výzvami.

V této práci se zabývám analýzou fyziologických signálů a určením parametrů vhodných pro detekci stresu. V teoretické části práce popisuji stres a stresovou reakci ve spojení s fobií. Dále zde uvádím přehled vybraných fyziologických signálů a toho, jak se v nich projevuje stres dle současné literatury. V praktické části se věnuji přípravě experimentu s využitím stimulů v podobě obrázků hadů a listů poskytnutých Přírodovědeckou fakultou Univerzity Karlovy, měření dat na dobrovolnících z řad studentů ČVUT a nakonec samotné analýze a vyhodnocení získaných dat.

1. Stres

Stres je přirozenou reakcí těla na náročnou nebo ohrožující situaci, která překračuje naše možnosti ji zvládnout. Události spouštějící stres nazýváme stresory. Ty mohou mít původ v našem okolí, tzv. vnější stresory (např. nátlak vedoucího v práci), nebo v nás samotných, tedy vnitřní stresory (např. strach z neúspěchu). [1], [2]

Stres můžeme dělit podle doby trvání na akutní (krátkodobý) a chronický (dlouhodobý). Akutní stres je důsledkem stresorů z nedávné minulosti či očekávané blízké budoucnosti, jedná se např. o stres který pociťujeme před zkouškou. Zároveň je také cílem zájmu mnoha výzkumů kvůli jeho krátkému trvání, a tím i nižšímu zdravotnímu riziku pro účastníky. Chronický stres je důsledkem dlouhodobého vystavení se stresorům jako jsou např. pracovní nebo vztahové problémy. [1], [3]

Stres může mít na náš život pozitivní i negativní vliv. V malých dávkách nás může motivovat k akci a lepšímu výkonu. Chronický stres však může mít škodlivé účinky na naše zdraví a pohodu, včetně zvýšeného rizika kardiovaskulárních onemocnění, deprese a úzkostných poruch. [1]

1.1. Stresová reakce

Stresová reakce je soubor fyziologických, behaviorálních či emocionálních odpovědí organismu, jež mají za úkol chránit jedince před působením stresoru. Mezi behaviorální odpovědi na stres můžeme řadit např. sníženou pozornost, vyšší konzumaci návykových látek, ztrátu chuti k jídlu či naopak přejídání. K emocionálním projevům patří např. pocity úzkosti či zvýšená podrážděnost. [1], [2]

Ve spojení s fyziologickou odpovědí na stres mluvíme často o reakci „útok nebo útek“, na které se podílí autonomní nervový systém (ANS), konkrétně sympatikus, a osa hypothalamus–hypofýza–nadledviny (HPA). [1]

Sympatický nervový systém (SNS) je primárním fyziologickým systémem zapojeným do stresové reakce a je zodpovědný za aktivaci nouzové reakce těla na stres. SNS je rychlou složkou stresové reakce a má vliv na mnoho systémů v lidském těle. Jedním z hlavních principů, kterými se SNS zapojuje do stresové reakce je uvolňování

adrenalinu a dalších stresových hormonů z nadledvinek, což zvyšuje srdeční frekvenci, krevní tlak a rychlost dýchání. Odvádí také energii z méně důležitých částí těla (např. kůže či trávicí soustava) a směřuje ji do kosterního svalstva. SNS má dále vliv na svaly ovládající velikost zornice (pupily), konkrétně *m. dilator pupillae*, který zornici rozšiřuje. Ovlivněny jsou také potní žlázy, jejichž zvýšená aktivita sice nemusí být pozorovatelná okem, ale projeví se jako změna vodivosti kůže. Parametry řeči jsou další často zkoumanou oblastí, jelikož mluvní orgány jsou také ovlivněny SNS, což vede např. ke zvýšení tónu hlasu během stresové situace. [1], [4], [5], [6]

Osa HPA je pomalejší endokrinní cesta, která především vede k vyplavení stresového hormonu kortizolu. Kortizol hraje v reakci na stres řadu převážně metabolických rolí. Stimuluje kardiovaskulární systém a zvyšuje hladinu cukru v krvi čímž dodává energii svalům a mozku pro řešení bezprostřední hrozby. [1], [4]

1.2. Strach a úzkost

Strach a úzkost (anxieta) jsou jedny z emocí souvisejícími se stresem a stresovou reakcí. Zahrnují pocity obav, neklidu nebo starostí, často ve spojení s nějakou hrozbou. I když jsou strach a úzkost vzájemně propojeny, a v některých případech používány zaměnitelně, existují mezi nimi rozdíly. [4], [7]

Strach je reakce na konkrétní a bezprostřední hrozbu, ať už je skutečná nebo domnělá. Je to základní mechanismus přežití, který nás připravuje reagovat na nebezpečí. Strach spouští v těle stresovou reakci vyvolávající příslušné fyziologické změny, které nám pomohou hrozbě čelit nebo jí uniknout. Obvykle je spuštěna konkrétním objektem, situací nebo událostí, která je vnímána jako nebezpečná nebo škodlivá. [7], [8]

Úzkost je naopak obecnější pocit neklidu a starostí. Často je charakterizována nadměrnou nebo trvalou obavou z budoucích událostí nebo situací, které ale nemusí být blíže specifikována. Na rozdíl od strachu není tedy úzkost nutně spojena s konkrétní bezprostřední hrozbou. Místo toho zahrnuje zvýšený stav vzrušení a pocit napětí z očekávané hrozby či situace, která může, ale nemusí nastat. [7], [8]

1.3. Fobie

Fobie je nadměrný, iracionální a přetrvávající strach z určité situace, předmětu, činnosti nebo místa. Fobie jsou považovány za typ úzkostných poruch. Fobie nejsou totéž jako normální strachy nebo úzkosti. Zatímco strach je přirozenou reakcí na hrozbu nebo nebezpečí, fobie zahrnují extrémní a nepřiměřenou reakci na konkrétní situaci nebo objekt. Tato reakce může být tak závažná, že zasahuje do každodenního života člověka a jeho schopnosti normálně fungovat. [8], [9]

Fobie mohou být specifické, což znamená, že jsou omezeny na jeden konkrétní objekt či situaci. Příkladem specifické fobie je fobie z hadů (ofidiofobie). Had patří do skupiny evolučních hrozeb, tedy hrozeb, se kterými se potýkali naši předci. I když v dnešní době již hadi pro nás nepředstavují tak velkou hrozbu, kousnutí jedovatým hadem stále zůstává významnou obavou mnoha lidí. Strach z hadů je tedy do jisté míry přirozený. Některé studie dokonce tvrdí, že se u lidí a primátů vyvinul mechanismus rychlé detekce hadů jakožto hrozby a spojování hadů se strachem. U části populace je ale tento strach tak silný, že můžeme hovořit o fobii. Díky své evoluční podstatě může fobie z hadů nastat i bez jakékoliv negativní osobní zkušenosti. Prevalence ofidiofobie v populaci je odhadována na 2–3 %. Obdobně je tomu i např. s fobií z pavouků (arachnofobie), u které je prevalence ještě větší. [10], [11], [12]

2. Měření stresu ve fyziologických signálech

Jelikož stres má negativních dopady na naše fyzické i psychické zdraví, jsou metody jeho měření cílem zájmu mnoha studií. Včasná detekce chronického stresu by mohla umožnit zahájení preventivních opatření a tím předejít vážnějším onemocněním. Zároveň měření stresu nám může pomoci identifikovat naše spouštěče stresu a poskytovat zpětnou vazbu účinnosti metod pro jeho zvládnání.

Jednou z metod detekce stresu jsou dotazníky, které se snaží odhadnout úroveň stresu vyhodnocením odpovědí na sadu otázek. Příkladem takovýchto dotazníků může být *Perceived Stress Scale* [13] nebo *Stress Appraisal Measure* [14]. I když jsou dotazníky oblíbenou metodou detekce stresu díky nízkým nákladům a jednoduchosti použití i ve velkém měřítku, je zde jistá obava ze subjektivního zkreslení jejich výsledků. Je proto snaha najít více objektivní parametry pro detekci stresu. Jednou možnou cestou je měření fyziologických projevů stresu. [3], [15]

2.1. Velikost zornice

Zornice (pupila) je průhledný otvor ve středu oka umožňující průchod světla z okolí na čočku, kde je obraz dále zaostřen na sítnici. Hlavní funkcí zornice je regulovat množství světla, které na sítnici dopadá. Toho je dosaženo pomocí dvou antagonisticky pracujících hladkých svalů – *m. dilator pupillae* (rozšiřuje zornici) a *m. sphincter pupillae* (zuzuje zornici). Při nadměrném osvětlení zornici zúží, aby se omezilo množství světla vstupujícího do oka. Naopak za špatných světelných podmínek zornici rozšíří, aby do oka pronikalo světla více. Tomuto jevu se říká světelný reflex. Průměr lidské zornice se tak běžně pohybuje mezi 2 a 8 mm. [16], [17]

Svaly ovládající velikost zornice jsou také regulovány ANS, konkrétně činností parasymptiku (PNS) a sympatiku. Při aktivaci SNS se zornice rozšiřuje, zatímco PNS způsobuje zúžení. Velikost zornice tak poskytuje neinvazivně měřitelný ukazatel těchto autonomních odpovědí, který je zároveň objektivní, protože jej lze jen velmi těžko měnit vůlí. A jelikož při stresové reakci dochází k aktivaci SNS, můžeme velikosti zornice využít mimo jiné i pro měření stresu. [6], [18]

Metoda měření velikosti zornice se nazývá pupilometrie. Jedná se o videookulografickou metodu využívající kamery či soustavy kamer pro záznam videa, ze kterého jsou dále získávány parametry oka. Kamery většinou pracují v oblasti infračerveného světla. Pro měření velikosti zornice ve výzkumu se nejčastěji používají eye-tracker zařízení. Tato zařízení jsou primárně určena pro sledování pohybů očí, ale z pořízených snímků či videí lze získat i informaci o velikosti zornice. V klinické praxi se také setkáme s ručními pupilometry pro měření světelného reflexu, z čehož lze zjistit, zda nedošlo k poškození mozku. [3], [19]

Co se týče analýzy pupilometrických dat, neexistuje k ní jednoznačný postup a každá studie k ní přistupuje jinak. Často se používá průměrná hodnota velikosti zornice ze zkoumaného úseku signálu, či se zpracují podobně jako evokované potenciály průměrováním opakovaně měřené reakce na stimul. Této metodě se u pupilometrie říká Task-Evoked Pupillary Response (TEPR). Existují i další metody analýzy využívající např. Fourierovu transformaci či diskretní vlnkovou transformaci. [20], [21] Společně ale u většiny studií je interpolace chybějících dat způsobených např. mrknutím. Nejčastěji se jedná o lineární interpolaci. Dále se také od zkoumaných úseků signálu odečítá baseline hodnota velikosti zornice, či se velikost zornice vyjádří jako relativní změna vůči této baseline hodnotě. Důvodem je sjednocení rozsahu dat pro jejich porovnání mezi subjekty, jelikož každý může mít jinak velkou zornici. [6], [12], [20], [22], [23], [24]

Výhodou pupilometrie je, že poskytuje objektivní a neinvazivní měření, které umožňuje získat náhled do základních fyziologických a psychologických procesů. Ve výzkumu se pupilometrie používá ke studiu široké škály jevů, včetně kognitivních procesů (jako jsou pozornost, paměť a rozhodování [25], [26]), emočních reakcí (jako jsou vzrušení a emoční regulace [22], [23]), neurologických poruch (např. traumatické poranění mozku, Alzheimerova a Parkinsonova choroba [27], [28]), či dopad různých podnětů na ANS, kam by se daly zařadit i studie zkoumající stres [6], [12], [18], [21].

Pupilometrie má ale i své nevýhody, které značně omezují její použití v reálných podmínkách, obzvláště v porovnání s dalšími signály běžně používanými pro měření stresu. Hlavní nevýhodou je světelný reflex oka, tedy závislost velikosti zornice na množství dopadajícího světla z okolí. Z toho vyplývá, že podmínky experimentu, jako např. osvětlení místnosti, musí být kontrolovány, aby bylo možné data mezi sebou porovnávat. Zároveň to činí nahrávání mimo laboratorní podmínky velmi obtížné. Jako

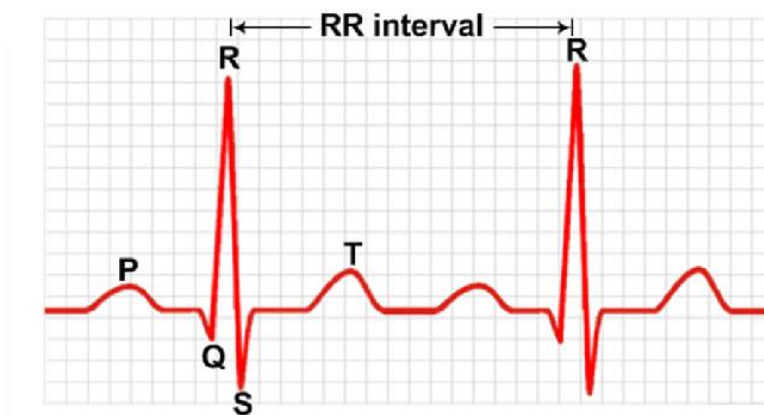
další nevýhodu lze uvést např. věk pacienta. Starší lidé mají obecně menší zorničky a omezenější schopnost dilatace než mladší lidé. Akomodace oka (zaostřování) a úhel, pod kterým je oko snímáno, jsou také uváděny jako proměnné, které mohou zanechat chybu do měření. [16], [29], [30]

2.2. Srdeční aktivita

Srdeční aktivita a její variabilita jsou jedním z nejčastěji využívaných biologických signálů pro detekci stresu, jelikož jsou přímo ovlivňovány ANS. Běžně využívanou metodou měření srdeční aktivity je elektrokardiografie (EKG). Jedná se o neinvazivní metodu záznamu elektrické aktivity srdce způsobené šířením akčního potenciálu srdečním svalem (myokardem). Pro měření se používají elektrody umístěné na povrchu těla. Výsledkem EKG je křivka (elektrokardiogram), na které definujeme několik významných bodů: [3], [5]

- P vlna – odpovídá depolarizaci síní,
- QRS komplex – odpovídá depolarizaci komor,
- T vlna – odpovídá repolarizaci komor.

Na obrázku 2.1 je ukázka typického průběhu EKG křivky s vyznačenými významnými body.



Obrázek 2.1: Typický průběh EKG křivky a její významné body. Převzato z [31]

Doba mezi dvěma QRS komplexy, resp. mezi dvěma R špičkami, se označuje jako RR interval. Srdeční frekvence (angl. *heart rate*, HR) může být buď okamžitá, daná převrácenou hodnotou RR intervalu, nebo průměrná, tedy průměrný počet srdečních cyklů za jednotku času. Srdeční frekvence se nejčastěji udává jako počet cyklů za 1 minutu, jednotka je poté bpm (z angl. *beats per minute*). Srdeční frekvence je nepravidelná a v čase proměnná, tato variabilita nám ale může poskytnout informace o činnosti srdce a systémech, které ji ovlivňují. [5], [32], [33]

Variabilita srdeční frekvence (angl. *heart rate variability*, HRV) popisuje změny v délkách po sobě jdoucích RR intervalů, a tím nám poskytuje informace o změnách okamžité srdeční frekvence. HRV vypovídá především o stavu ANS řídicího srdeční činnosti. Je také ale ovlivněna dýcháním (respirační arytmie), fyzickou zátěží organismu, věkem a dalšími faktory. K vyhodnocení HRV se využívá časové, frekvenční a nelineární analýzy délek RR intervalů, respektive NN intervalů. NN intervaly jsou RR intervaly mezi dvěma normálními údery srdce. Přehled běžně používaných HRV parametrů a jejich definice jsou uvedeny v tabulce 2.1. [5], [32], [33]

Tabulka 2.1: Přehled běžně používaných HRV parametrů a jejich definice [32], [33]

Parametr	Typ analýzy	Definice
SDNN	Časová	Směrodatná odchylka všech NN intervalů
RMSSD	Časová	Druhá odmocnina ze součtu druhých mocnin rozdílů po sobě jdoucích NN intervalů
pNN20, pNN50	Časová	Procento po sobě jdoucích NN intervalů, jejichž rozdíl je větší než 20, resp. 50 ms
LF	Frekvenční	Výkon v pásmu nízkých frekvencí (0,04–0,15 Hz)
HF	Frekvenční	Výkon v pásmu vysokých frekvencí (0,15–0,4 Hz)
LF/HF	Frekvenční	Poměr mezi LF a HF
SD1	Nelineární	Směrodatná odchylka bodů Poincaré plotu od přímky $y = x$ (hlavní osa elipsy vepsané do grafu)
SD2	Nelineární	Směrodatná odchylka bodů Poincaré plotu od přímky $y = -x + 2 \cdot meanRR$ (vedlejší osa elipsy vepsané do grafu)
SD1/SD2	Nelineární	Poměr mezi SD1 a SD2

Při stresové situaci dochází k aktivaci SNS, jehož hlavní účinek na srdce je zvýšení srdeční frekvence. Aktivita SNS, a případně pokles aktivity PNS, během stresu se projeví i na jednotlivých HRV parametrech. Studie [5] uvádí souhrn HRV parametrů použitých ve studiích zabývajících se měřením stresu a k jakým závěrům tyto studie došly. Ke zvýšení HR dospělo 18 z 23 analyzovaných studií, které tento parametr použily. Zvýšení bylo také pozorováno u parametru LF/HF, a to v 10 ze 17 studií. Naopak ke snížení došlo u parametrů SDNN (7 z 12 studií), RMSSD (5 z 6 studií) a pNN50 (6 z 6 studií). Tyto zmíněné HRV parametry vykazovaly nejsilnější korelaci s akutním stresem. Nelineární parametry SD1 a SD2 nejsou tak často používány pro měření stresu, byly zde zastoupeny pouze jednou studií.

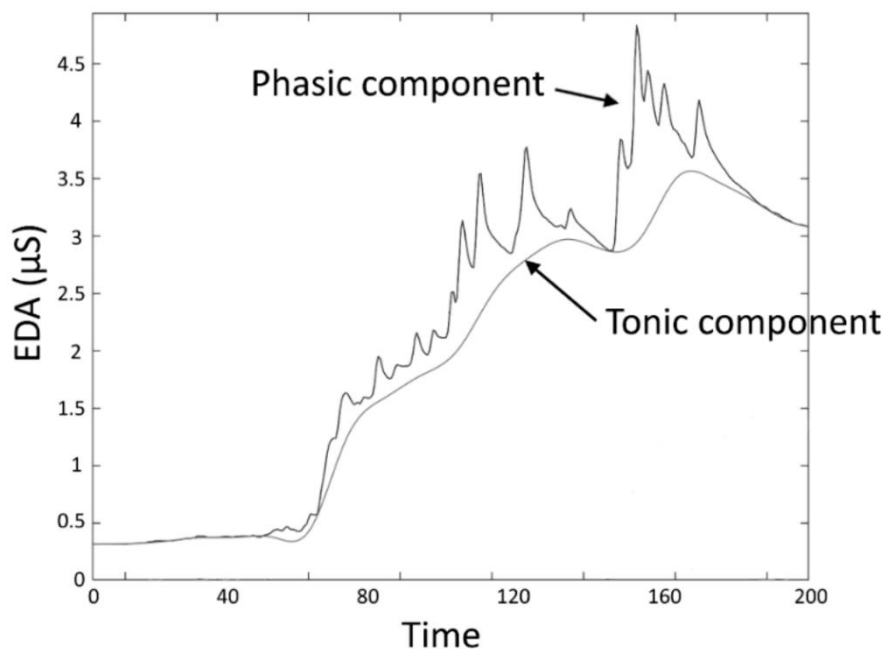
2.3. Galvanická kožní odezva

Galvanická kožní odezva (angl. *galvanic skin response*, GSR), známá také jako elektrodermální aktivita (EDA), je další z běžně používaných signálů pro měření stresu. Jedná se o neinvazivní měření elektrické vodivosti kůže. Změny v elektrické vodivosti kůže jsou způsobeny aktivitou potních žláz, které jsou ovlivňovány SNS. Když člověk zažívá emocionální reakci, jako např. strach nebo úzkost, dochází ke zvýšení aktivity potních žláz, což vede ke snížení odporu kůže, resp. ke zvýšení vodivosti. [3], [34]

GSR se měří průchodem malého proudu dvojicí elektrod umístěných na povrchu kůže, obvykle na prstech nebo dlani. Kožní odpor poté získáme pomocí Ohmova zákona, který říká, že kožní odpor se rovná napětí aplikovanému mezi dvěma elektrodami umístěnými na povrchu kůže, děleno proudem procházejícím kůží. Kožní vodivost je poté převrácenou hodnotou odporu. [5], [34]

U GSR signálu se často definují dvě složky – úroveň kožní vodivosti (angl. *skin conductance level*, SCL) a kožní vodivostní odezva (angl. *skin conductance response*, SCR). SCL je pomalu se měnící tonická složka GSR signálu, která udává základní hodnotu vodivosti kůže. Naopak SCR je rychlá fázová složka představující přechodné změny ve vodivosti kůže, ke kterým dochází při reakci na specifický stimul nebo událost. SCR má podobu špiček, které se v signálu objevují přibližně 1–5 s po nástupu stimulu. Ukázka GSR signálu s vyznačenou tonickou (SCL) a fázovou (SCR) složkou je na obrázku 2.2. [5], [35], [36]

Analýza GSR signálu často spočívá v rozkladu na tonickou a fázovou složku. Existuje mnoho přístupů k rozkladu signálu, např. ve studii [37] využívají dekonvoluci. Z rozloženého signálu nás zajímá fázová složka, jelikož právě ta reflektuje aktivitu SNS spojenou s reakcí na zkoumané stimuly. Definují se na ní poté různé parametry jako např. počet významných SCR (špiček), doba mezi stimulem a prvním SCR, průměrná amplituda SCR atd. Tyto parametry se většinou určují z omezeného úseku signálu po nástupu stimulu. [36] Metod analýzy GSR pomocí rozkladu na složky bylo využito i ve studiích zkoumající stres, např. v [38] byla měřena stresová reakce vyvolaná moderními (zbraně, nože) a evolučními (hadi, pavouci) hrozbami, v [35] byly porovnávány různé metody analýzy GSR pro detekci stresu.



Obrázek 2.2: Ukázka GSR signálu s tonickou složkou SCL (Tonic component) a fázovou složkou SCR (Phasic component). Převzato a upraveno z [36]

3. Analýza fyziologických signálů

V této kapitole popisuji postup pro získání dat, použité měřicí přístroje a metody jejich zpracování a statistické vyhodnocení. Zaměřuji se zde také na přípravu stimulů a návrh experimentu pro pupilometrické měření, k čemuž jsem využila poznatky z mnoha pupilometrických studií, tak i informace poskytnuté týmem RNDr. Evy Landové, Ph.D. z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. Kromě velikosti zornice byly současně nahrávány i signály EKG a GSR, které jsou běžně používány pro detekci stresu.

3.1. Databáze

3.1.1. Příprava stimulů

Velkou část návrhu experimentu představovala příprava stimulů. Jako stimuly byly použity obrázky hadů (stimul vyvolávající strach) a listů (neutrální stimul). Obrázky mi byly poskytnuty týmem z Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze. V původním stavu obsahovaly hada či list na průhledném pozadí, bylo je tedy potřeba upravit tak, aby je bylo možné použít pro pupilometrii. Hlavním cílem těchto úprav bylo sjednocení parametrů obrázků tak, aby vliv světelného reflexu oka na velikost zornice byl při změně obrázků co nejvíce konstantní, a nezanášel tak zbytečně další variabilitu do naměřených dat.

Jako první bylo třeba sjednotit velikost všech obrázků, tedy aby se počet pixelů tvořících hada či list mezi jednotlivými obrázky příliš nelišil. K tomu jsem použila program MATLAB verze R2023b. Nejprve jsem vypočítala procentuální zastoupení pixelů s RGB hodnotou jinou, než bylo pozadí, a následně určila poměr, ve kterém bylo potřeba obrázek zvětšit či zmenšit, aby toto procento bylo u všech obrázků co nejvíce podobné. Ke změně velikosti obrázku jsem použila funkci `imresize`.

Dále jsem v programu pro editaci obrázků GIMP verze 2.10.32 [39] všem obrázkům přidala tmavě šedé pozadí (RGB: 80, 80, 80). Různé odstíny tmavě šedé barvy na pozadí se opakovaly v mnoha studiích s pupilometrickou úlohou (např. [18], [25], [23], [22], [29] a [26]), a proto jsem ji použila i ve své práci. Program GIMP jsem dále použila pro vytvoření černobílé verze obrázků pomocí funkce `Desaturate – Color to Gray`. Jelikož

některé studie používaly pro pupilometrii pouze černobílé obrázky (např. [6] a [18]) a jiné používaly obrázky barevné (např. [12]), chtěla jsem proto v rámci své práce tyto varianty porovnat. Vytvořila jsem také prázdný snímek se stejnobarevným pozadím a malým symbolem „+“ ve středu pro fixaci zraku. Cílem tohoto prázdných snímku bylo naměření baseline hodnoty velikosti zornice, vůči které byla vztažena velikost zornice při sledování snímků se stimuly.

Kromě plochy obrázků bylo také zapotřebí sjednotit jejich jas (angl. *luminance*, jednotka $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$), tedy intenzitu světla, kterou daná plocha vyzařuje pod daným úhlem. Jedná se o parametr, jehož sjednocování bylo zmíněno v mnoha studiích, ale metody pro jeho sjednocení byly různé. Já jsem pro svou práci zvolila MATLAB toolbox SHINE_color [40] zmíněný ve studii [18]. Z toolboxu SHINE_color jsem využila funkce `lumMatch` s nastavením sjednocování popředí a pozadí zvlášť, jelikož pozadí již bylo u všech obrázků stejné.

Takto upravené obrázky již byly připraveny pro pupilometrické měření. Vytvořila jsem dvě prezentace v aplikaci pro ovládání eye-tracker kamery, jednu s barevnými snímky a druhou s černobílými. Každá prezentace obsahovala 10 obrázků hadů, 10 obrázků listů a prázdné snímky seřazené tak, že první byl prázdný snímek, poté následoval snímek s hadem, opět prázdný snímek, a nakonec snímek s listem (obrázek 3.1). Toto pořadí snímků se v rámci jedné prezentace opakovalo 10krát. Každý snímek byl zobrazen na 6 s. Výsledná prezentace měla 40 snímků a délku 4 min.



Obrázek 3.1: Ukázka pořadí snímků v prezentaci pro pupilometrii

3.1.2. Použité přístroje

Pro měření velikosti zornice byl použit eye-tracker I4Tracking[®] Dist od společnosti Medicton Group s.r.o., který snímá oční pohyby a velikost zornice videookulografickou metodou v oblasti infračerveného záření (850 nm). Přístroj byl propojen s počítačem pomocí USB 3.0 kabelu a byl ovládán pomocí softwarové aplikace I4Tracking. Aplikace umožňuje vytvářet prezentace zobrazovaných stimulů, nastavení vzorkovací frekvenci (pro měření bylo použito 50 Hz) a úroveň přisvětlení infračervenými diodami, které bylo upravováno dle potřeby tak, aby systém správně detekoval zornice. Výstupem byl soubor formátu .csv, který mimo jiné obsahoval výšku a šířku pupily pro obě oči. [41]

Pro měření EKG a GSR signálů byl použit BIOPAC MP35. Přístroj byl opět připojen k počítači pomocí USB kabelu a ovládán aplikací BSL PRO 3.7. V aplikaci byl nastaven záznam analogových kanálů se vzorkovací frekvencí 200 Hz. Podrobné nastavení jednotlivých kanálů a typy použitých elektrodových svodů jsou uvedeny v tabulce 3.1. Použité elektrody byly jednorázové nalepovací Ag/AgCl elektrody. Výstupem byl soubor formátu .txt, který ve sloupcích obsahoval naměřené hodnoty fyziologických signálů.

Tabulka 3.1: Použité elektrodové svody a nastavení kanálů pro měření fyziologických signálů pomocí BIOPAC MP35. U filtrů LP značí dolní propust, BS pásmovou zadrž, HP horní propust a Q jakost filtru.

Měřený signál	Elektrodový svod	Název kanálu	Filtry	Zisk	Vstup
EKG	SS2L	ECG (.05–35 Hz)	LP 66,5 Hz (Q = 0,5)	1000	AC
			LP 38,5 Hz (Q = 1)		
			BS 50 Hz (Q = 1)		
			HP 0,05 Hz		
GSR	SS57L	EDA (0–35 Hz)	LP 66,5 Hz (Q = 0,5)	2000	DC
			LP 38,5 Hz (Q = 1)		
			BS 50 Hz (Q = 1)		

3.1.3. Respondenti

Měření se zúčastnilo 36 respondentů z řad studentů ČVUT. Naměřená data od 5 respondentů ale nebylo možné použít, u tří z nich došlo k velké ztrátě pupilometrických dat (více než 60 %) pravděpodobně způsobené dioptrickými brýlemi nebo čočkami, a u dvou během měření nastal technický problém, který znemožnil pokračování v nahrávání. Ze zbylých 31 respondentů bylo 18 žen a 13 mužů, a jejich průměrný věk byl $23,3 \pm 0,8$ let.

3.1.4. Průběh měření

Měření probíhalo v laboratoři očních pohybů na Katedře ekonomiky, manažerství a humanitních věd Fakulty elektrotechnické ČVUT v Praze. V této laboratoři byla kolem PC monitoru s eye-tracker zařízením nainstalována posuvná zástěna, která umožňovala mít během měření stálé podmínky osvětlení. Byla zde také speciální židle s opěrkou hlavy, jejíž cílem bylo zamezit větším pohybům hlavy během měření. To bylo důležité, protože eye-tracker kamera byla zaostřena jen na malou oblast ve vzdálenosti přibližně 60 cm, a i menší pohyb mohl vést k tomu, že oči měřené osoby se vyskytly mimo zaostřenou oblast. V takovém případě byla detekce zornice pro určení její velikosti buď velmi nepřesná nebo vůbec neproběhla.

Po příchodu do laboratoře respondenti podepsali informovaný souhlas a vyplnili krátký dotazník SNAQ-12. Následně byly usazeni do měřicí židle, kde jsem jim vysvětlila, jak bude měření probíhat, nalepila jsem jim elektrody pro měření EKG a GSR, a srovnala eye-tracker kameru tak, aby jejich obličej byl zaostřený a systém správně detekoval zornice. Pro EKG byl zvolen druhý končetinový svod, kdy jsem měřicí elektrody lepila na spodní stranu zápěstí obou rukou, zemnicí elektrodu jsem ale musela umístit na břicho, jelikož vedle pravé nohy, která se pro toto zapojení běžně používá, se nacházel PC, který způsoboval značné rušení EKG signálu. Elektrody pro měření GSR jsem umístila na prsty levé ruky. Nakonec jsem zhasla všechna světla v laboratoři a spustila prezentace se stimuly, během kterých byly nahrávány fyziologické signály. Samotné měření trvalo přibližně 10 min (dvě 4min prezentace, kdy před každou proběhla kalibrace eye-tracker systému a krátká pauza mezi nimi pro jejich přepnutí), po kterém respondenti mohli odcházet.

3.1.5. Dotazník SNAQ-12

Dotazník SNAQ-12 je zkrácená verze Snake Questionnaire (SNAQ), obsahující pouze 12 z původních 30 výroků. Jedná se o sebehodnotící škálu k posouzení strachu z hadů. Respondent u každého tvrzení zaškrtnl, zda s ním souhlasí či nesouhlasí. Pro vyhodnocení se sečetli všechny kladné odpovědi, jejichž počet odpovídá počtu bodů na hodnotící škále. Výsledné skóre se tedy pohybuje v rozpětí 0 až 12 bodů. Dle autorů české verze SNAQ-12 [42] je hranice pro fobii z hadů 8 bodů, v rámci mé studie by ale bylo možné použít hranici 5 či 6 bodů jakožto hranici určující zvýšený strach z hadů.

3.2. Zpracování dat

Pro zpracování a statistické vyhodnocení naměřených dat bylo použito programovací prostředí MATLAB verze R2023b [43]. Data pro barevnou a černobílou verzi prezentace jsem zpracovávala zvlášť.

3.2.1. Zpracování pupilometrických dat

Nahraná data pomocí eye-tracker kamery měla české formátování čísel a při otvírání v prostředí MATLAB bylo nutné specifikovat symbol oddělující desetinná místa. Jelikož eye-tracker slouží především k sledování očních pohybů, obsahoval datový soubor celkem 18 parametrů, z čehož většina popisovala souřadnice sledované oblasti na monitoru. Pro analýzu velikosti zornice jsem použila jen tyto parametry:

- číslo snímku,
- čas snímku,
- výška a šířka levé pupily,
- výška a šířka pravé pupily.

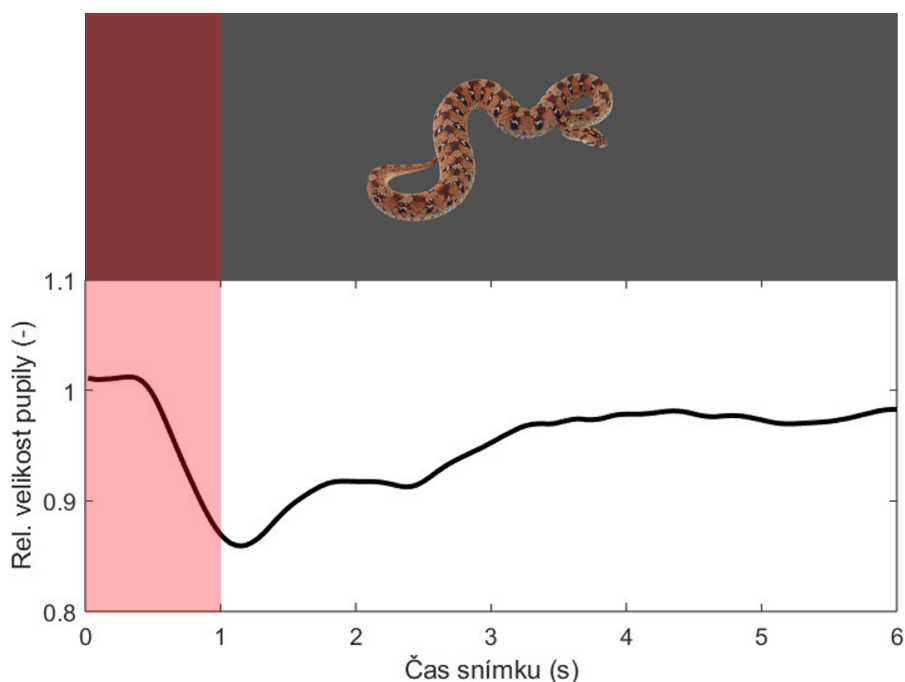
Čas snímku byl uváděn v milisekundách. Výška a šířka pupily zde byly uváděny v pixelech, jelikož se ale velikost zornice často vyjadřuje v relativních jednotkách, nebylo nutné převádět pixely na milimetry.

Jako první jsem zkontrolovala množství chybějících dat velikosti zornice. Určitá ztráta dat je normální a je převážně způsobena mrkáním, během kterého nelze velikost zornice určit. Chybějící data jsem vyjádřila jako procento NaN hodnot ve vektoru dat

vzniklého jako průměr výšky a šířky zornice pro pravé a levé oko zvlášť. Jelikož pro levé oko bylo množství chybějících dat v průměru nižší než pro pravé oko, použila jsem v dalších krocích pouze velikost zornice levého oka.

Chybějící hodnoty ve vektoru velikosti zornice jsem lineárně interpolovala funkcí `interp1`. Před interpolací bylo ale nutné převést časovou osu, která byla pro každý snímek zvlášť, na jednotnou časovou osu pro celou prezentaci. Toho jsem dosáhla postupným přičítáním poslední hodnoty času předchozího snímku k hodnotám času současného snímku. Zároveň jsem také před interpolací odstranila všechny hodnoty velikosti zornice, které se lišily od průměrné hodnoty o více než 2 SD (směrodatná odchylka). Tyto hodnoty jsou většinou způsobeny mrknutím a jsou proto nežádoucí. Interpolovaná data jsem následně filtrovala klouzavým oknem délky 200 ms pomocí funkce `filtfilt` pro potlačení artefaktů a rychlých fluktuací v datech, které neodpovídají pomalejším změnám spojených s reakcí na stimuly.

Z takto předzpracovaných dat jsem určila průměrné hodnoty velikosti zornice pro snímky s hadem a snímky s listem, které byly použity pro statistické vyhodnocení. Průměrná hodnota byla počítána z úseku mezi 1. a 6. sekundou snímku (schematicky znázorněno na obrázku 3.2). Během první sekundy po zobrazení stimulu docházelo ke změnám velikosti zornice způsobené světelným reflexem, bylo proto vhodné tyto hodnoty vynechat. Pro porovnání průměrné velikosti zornice mezi respondenty ji bylo zapotřebí převést na relativní velikosti zornice. K tomu jsem použila průměrnou velikost zornice během prázdných snímků, kterou jsem vydělila průměrnou hodnotu pro snímky s hady či listy.



Obrázek 3.2: Schematické zobrazení vynechaného úseku během 1. sekundy snímku (červeně zvýrazněná oblast), pro výpočet průměrné velikosti zornice byly použity hodnoty mezi 1. a 6. sekundou.

3.2.2. Zpracování EKG

Na rozdíl od pupilometrických dat byl EKG (a také GSR) nahráván bez přerušení pro obě prezentace dohromady. Během měření jsem v aplikaci pro ovládání zařízení BIOPAC vytvářela časové značky současně se spuštěním prezentace. Pomocí časových značek jsem poté mohla vybrat 4minutové úseky odpovídající prezentacím.

EKG data jsem nejprve filtrovala pásmovou propustí (Butterworth 2. řádu, mezní frekvence 0,5–40 Hz) a následně jsem je zobrazila v grafickém rozhraní MATLAB toolboxu HRVTool verze 1.07 [44], který umožňoval automaticky detekovat R špičky a detekci poté manuálně zkontrolovat. Z toolboxu jsem pro každý 4minutový záznam EKG dostala vektor obsahující indexy R špiček. Vydělením indexů vzorkovací frekvencí jsem získala jejich hodnoty na časové ose, dle kterých jsem vybrala R špičky odpovídající časovým úsekům, kdy byl zobrazován had či list. Rozdílem sousedních R špiček jsem získala RR intervaly, ze kterých jsem následně vypočítala průměrnou hodnotu RR intervalu a HRV parametry zvlášť pro snímky s hadem a listem. Jednalo se o parametry SDNN, RMSSD, pNN50 z časové oblasti, SD1, SD2 a poměr SD1/SD2 z Poincaré plotu, a poměr LF/HF z frekvenční analýzy. K jejich výpočtu jsem využila funkcí, které byly součástí toolboxu HRVTool.

3.2.3. Zpracování GSR

Pro zpracování GSR dat jsem použila MATLAB toolbox Ledalab verze 3.4.9 [37]. Tento toolbox umožňuje rozložit GSR signál na tonickou a fázovou složku a pomocí dekonvoluce odhadnout aktivitu nervových vláken SNS inervujících potní žlázy. Předpokladem je, že fázovou složku tvoří impulzní charakteristika potních žláz, a je tedy možné pomocí dekonvoluce zpětně odhadnout příslušné impulzy. Platí tedy vztah [37]:

$$SC = SCL + SCR = SCL + Driver * IRF,$$

kde SC je celková kožní vodivost, SCL je tonická složka, SCR je fázová složka, $Driver$ je odhad aktivity nervových vláken SNS a IRF je impulzní charakteristika potních žláz. Na takto upravené fázové složce ($Driver$) jsou následně určeny různé parametry popisující její aktivitu během sledování stimulů.

Z Ledalab toolboxu jsem použila tzv. „batch-mode“, který umožňuje automaticky zpracovat více GSR záznamů najednou. Vstupem byl textový soubor obsahující 3 sloupce dat. První sloupec obsahoval časové hodnoty, druhý naměřené hodnoty GSR a třetí označoval počáteční čas snímků s hady a listy. Dále jsem v parametrech analýzy nastavila filtraci dolní propustí (Butterworth 1. řádu, mezní frekvence 5 Hz), snížení vzorkovací frekvence na 10 Hz, počet optimalizací 4, časové okno pro výpočet parametrů mezi 1. a 5. sekundou daného stimulu a prahovou hodnotu amplitudy špiček ve fázové složce 0,01 μ S. Výstupem byl datový soubor formátu .mat, který mimo jiné obsahoval vypočítané parametry z CDA analýzy (Continuous Decomposition Analysis, analýza rozkladem a dekonvolucí popsaná výše), ale také ze standardní TTP analýzy (Trough-To-Peak, analýza lokálních minim a maxim). Ze získaných parametrů jsem vypočítala průměrnou hodnotu odpovídající snímkům s hady nebo s listy. Pro statistické vyhodnocení jsem použila parametry uvedené v tabulce 3.2.

Tabulka 3.2: Přehled vybraných parametrů GSR a jejich definice [45]. CDA a TTP označuje typ analýzy použité pro jejich výpočet.

Parametr	Definice
CDA nSCR	Počet signifikantních (vyšších než prahová hodnota) špiček ve zkoumaném úseku fázové složky, bez jednotky
CDA AmpSum	Suma amplitud signifikantních špiček ve zkoumaném úseku fázové složky (μS)
CDA SCR	Průměrná hodnota fázové složky ve zkoumaném úseku (μS)
CDA PhaMax	Maximální hodnota fázové složky ve zkoumaném úseku (μS)
TTP nSCR	Počet signifikantních špiček ve zkoumaném úseku fázové složky, bez jednotky
TTP AmpSum	Suma amplitud signifikantních špiček ve zkoumaném úseku fázové složky (μS)

3.2.4. Statistická analýza

Cílem statistické analýzy dat bylo určit, zda je některý z parametrů měřených fyziologických signálů citlivý na projevy stresové reakce během zkoumaného experimentu a provést tak výběr parametrů pro klasifikační úlohu.

Nejprve jsem provedla Kolmogorovův–Smirnovův test normality s nulovou hypotézou, že data pochází z normálního rozdělení. V prostředí MATLAB je pro tento test funkce `kstest`. Z celkem 60 proměnných (15 parametrů \times 4 typy stimulů) KS test zamítnul nulovou hypotézu na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ u 6 z nich. Jednalo se o varianty 3 parametrů GSR (CDA AmpSum, CDA PhaMax a TTP AmpSum). U žádného parametru ale nedošlo k zamítnutí nulové hypotézy pro všechny jeho 4 varianty, a proto jsem dále pokračovala s parametrickými metodami.

Pro statistickou analýzu naměřených dat byla použita analýza rozptylu pro opakovaná měření (repeated measures ANOVA) implementovaná v prostředí MATLAB funkcemi `fitrm` a `ranova`. Ta byla zvolena proto, že každý parametr měl pro daného respondenta 4 hodnoty odpovídající 4 typům použitých stimulů – barevný had, barevný list, černobílý had, černobílý list, jednalo se tedy o opakovaná měření s různými podmínkami. Každý parametr byl testován zvlášť. Nezávislá proměnná byla založena na výsledku dotazníku SNAQ-12 a rozdělovala respondenty do dvou skupin – skupina se zvýšeným strachem z hadů a kontrolní skupina. Závislou proměnnou tvořily hodnoty

daného parametru, u kterých bylo nutné specifikovat, jakému typu stimulu odpovídají. K tomu slouží tzv. „within-subject factor“. Pro analýzu rozptylu byly stanoveny tyto nulové hypotézy:

- Výsledek dotazníku SNAQ-12 nemá vliv významný na daný parametr.
- Typ stimulu nemá významný vliv na daný parametr.
- Interakce mezi výsledkem dotazníku SNAQ-12 a typem stimulu nemá významný vliv na daný parametr.

V případě, kdy vliv typu stimulu na daný parametr byl signifikantní, byl proveden post-hoc test pomocí funkcí `multcompare`, která porovnává hodnoty parametru pro všechny dvojice typu stimulů. Jako korekce pro opakované testování byla použita Tukeyho metoda (Tukey's honestly significant difference). Nulová hypotéza pro post-hoc test byla následující:

- Pro dvojici typů stimulů není významný rozdíl v daném parametru.

3.2.5. GMM klasifikace

Gaussian mixture model (GMM) je pravděpodobnostní model s předpokladem, že celková populace je tvořena směsí konečného počtu subpopulací, které lze popsat normálním rozdělením. GMM se tedy skládá z několika normálních rozdělení, často nazývaných komponenty, s příslušnými parametry (střední hodnota a variance, resp. kovariance pro vícerozměrné normální rozdělení). Pro každý datový bod se poté určí pravděpodobnosti, s jakými náleží ke všem komponentám. Pro tvorbu modelu se používá Expectation-Maximization (EM) algoritmus, který iterativně optimalizuje parametry. Střídavě provádí krok Expectation (E), kde jsou vypočítány pravděpodobnosti, že každý datový bod patří do každé komponenty, a krok Maximization (M), kde jsou parametry aktualizovány na základě těchto pravděpodobností s cílem maximalizovat věrohodností funkci.

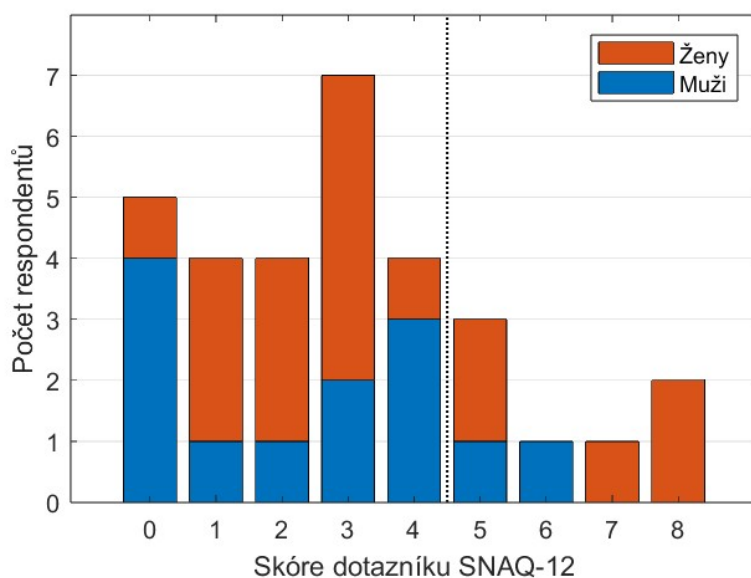
GMM lze použít pro klasifikaci bez učitele, jelikož umožňuje rozdělit data do skupin na základě toho, pro kterou komponentu mají největší pravděpodobnost. Toho jsem využila, abych zjistila, jak moc si odpovídají hodnoty naměřených parametrů a skóre z dotazníku SNAQ-12. Parametry pro klasifikaci byly vybrány na základě statistické analýzy. Jednalo se o průměrnou velikost zornice, GSR parametr CDA AmpSum a

HRV parametr pNN50. Parametr CDA SCR také ve statistické analýze vyšel signifikantní, ale jelikož jeho hodnoty pro všechny typy stimulu byly silně korelovány s hodnotami parametru CDA AmpSum ($r > 0,97$, $p < 0,001$), nepřinášel do modelu žádné nové informace a nebyl proto použit.

Pro tvorbu GMM je v prostředí MATLAB funkce `fitgmdist`, která používá EM algoritmus. Kromě vstupních dat jsem definovala počet komponent 2, typ kovarianční matice diagonální, regularizační parametr 0,01, počet opakování EM algoritmu 10 a jeho inicializaci z náhodně vybraných vzorků. Na základě modelu jsem rozdělila respondenty do dvou skupin, a toto rozdělení porovnála s rozdělením dle výsledků dotazníku SNAQ-12. Tvorbu modelu, klasifikaci a její porovnání jsem provedla pro každý typ stimulu zvlášť.

4. Výsledky

Respondenti byli na základě výsledků dotazníku SNAQ-12 rozděleni do dvou skupin. Skóre 5 a více bodů znamenalo zařazení do skupiny se zvýšeným strachem z hadů (dále zkracováno jen jako strach), 0-4 body byla poté kontrolní skupina. Rozdělovací hranici 5 bodů jsem zvolila proto, že několik respondentů s tímto výsledkem mi před či po měření oznámili, že mají strach z hadů či jim zobrazované obrázky nebyly příjemné. Na obrázku 4.1 je rozložení respondentů dle výsledků dotazníku SNAQ-12, je zde také zvýrazněno zastoupení mužů a žen. Do skupiny strach bylo přiřazeno celkem 7 respondentů, zbylých 24 tvořilo kontrolní skupinu.



Obrázek 4.1: Rozložení respondentů dle výsledků dotazníku SNAQ-12. Skóre 5 a více bodů představuje skupinu se zvýšených strachem z hadů, 4 a méně bodů pak kontrolní skupinu.

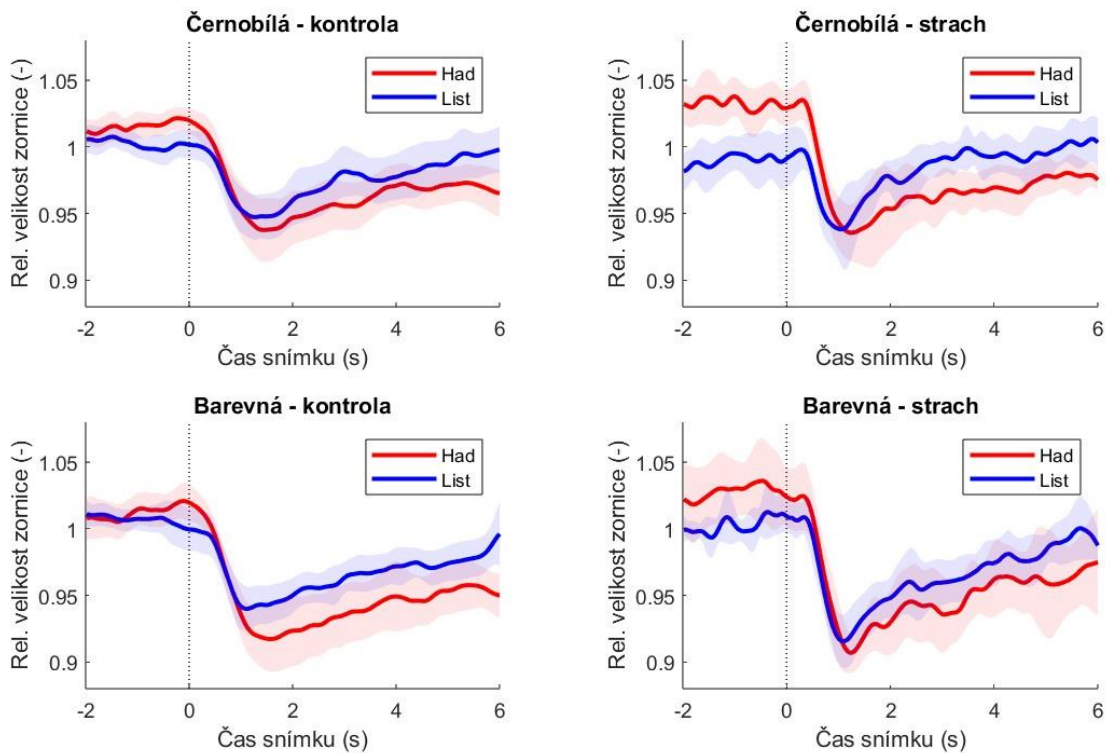
4.1. Výsledky pupilometrie

V tabulce 4.1 je procentuálně vyjádřena ztráta pupilometrických dat u 3 vyřazených respondentů. Dále je v tabulce uvedena průměrná ztráta dat u 31 respondentů, kteří byli zahrnuti studie. Nejvyšší ztráta dat mezi těmito respondenty byla 22,6 % pro levé oko a 27,2 % pro pravé oko. U většiny respondentů (23) však chybělo méně než 10 % dat.

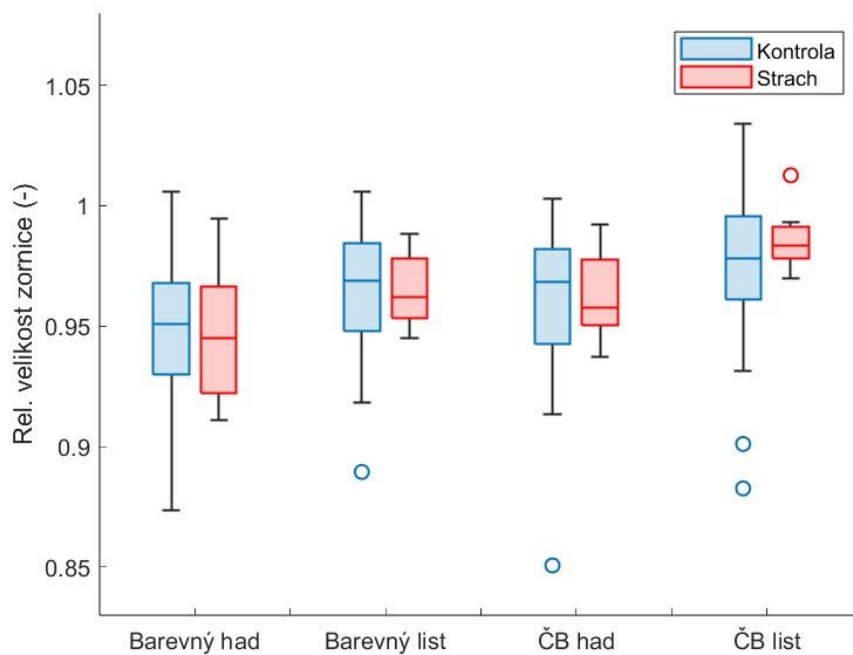
Tabulka 4.1: Ztráta pupilometrických dat u 3 vyřazených respondentů a průměrná ztráta pupilometrických dat u 31 respondentů zahrnutých do studie

Ztráta dat vyřazených respondentů		
ID	Levé oko	Pravé oko
08	69,7 %	65,3 %
22	84,2 %	78,7 %
28	73,3 %	79,5 %
Průměrná ztráta dat resp. zahrnutých do studie		
	Levé oko	Pravé oko
	7,4 ± 0,9 %	8,4 ± 1,2 %

Na obrázku 4.2 jsou vykresleny průměrné časové průběhy relativní velikosti zornice pro skupinu se strachem a kontrolní skupinu. Červeně jsou zobrazeny průběhy odpovídající snímkům s hadem, modře pro snímky s listem. Zvýrazněná oblast kolem křivek představuje 95% interval spolehlivosti. Barevná a černobílá verze prezentace jsou uvedeny zvlášť. Na obrázku 4.3 je boxplot zobrazující rozložení naměřených relativních velikostí zornice pro obě skupiny respondentů a pro každý ze 4 typů stimulu – barevný had, barevný list, černobílý had a černobílý list.



Obrázek 4.2: Průměrné časové průběhy rel. velikosti zornice pro kontrolní skupinu (vlevo) a skupinu se strachem (vpravo), a pro černobílou (nahore) a barevnou (dole) prezentaci. Červeně je vykreslena rel. vel. zornice snímků s hady, modře snímků s listy, zvýrazněná oblast je 95% interval spolehlivosti.

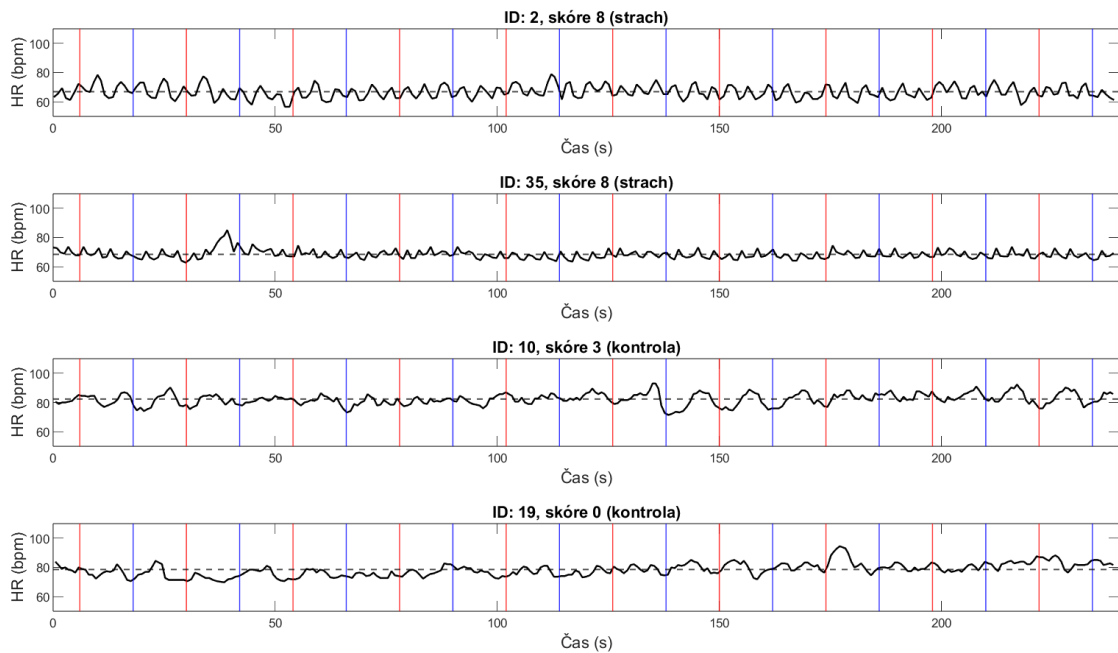


Obrázek 4.3: Boxplot zobrazující rozložení naměřených rel. velikostí zornice kontrolní skupiny (modře) a skupiny se strachem (červeně) pro každý typ stimulu – barevný had a list, černobílý (ČB) had a list.

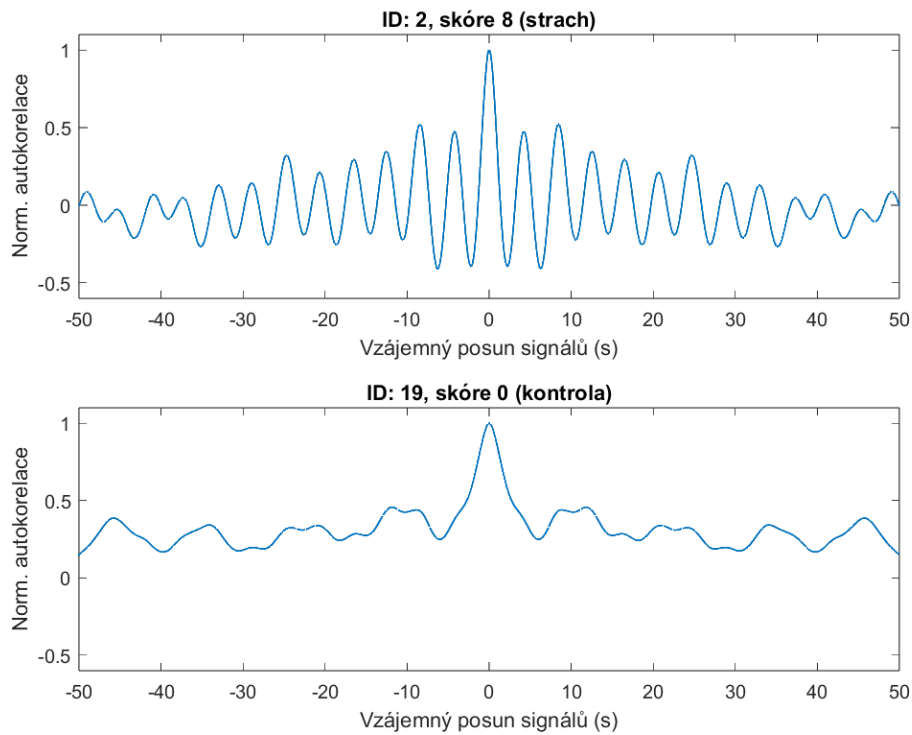
4.2. Výsledky HRV

Na obrázku 4.4 je ukázka časových průběhů HR pro dva respondenty ze skupiny se strachem (nahore) a dva respondenty z kontrolní skupiny (dole) během sledování barevné verze prezentace. Přerušovaná čára představuje průměrnou tepovou frekvenci, barevně jsou vyznačeny počáteční časy stimulů s hadem (červeně) a listem (modře). Na obrázku 4.5 je poté ukázka autokorelace časového průběhu HR pro jednoho z respondentů se strachem a jednoho z kontrolní skupiny.

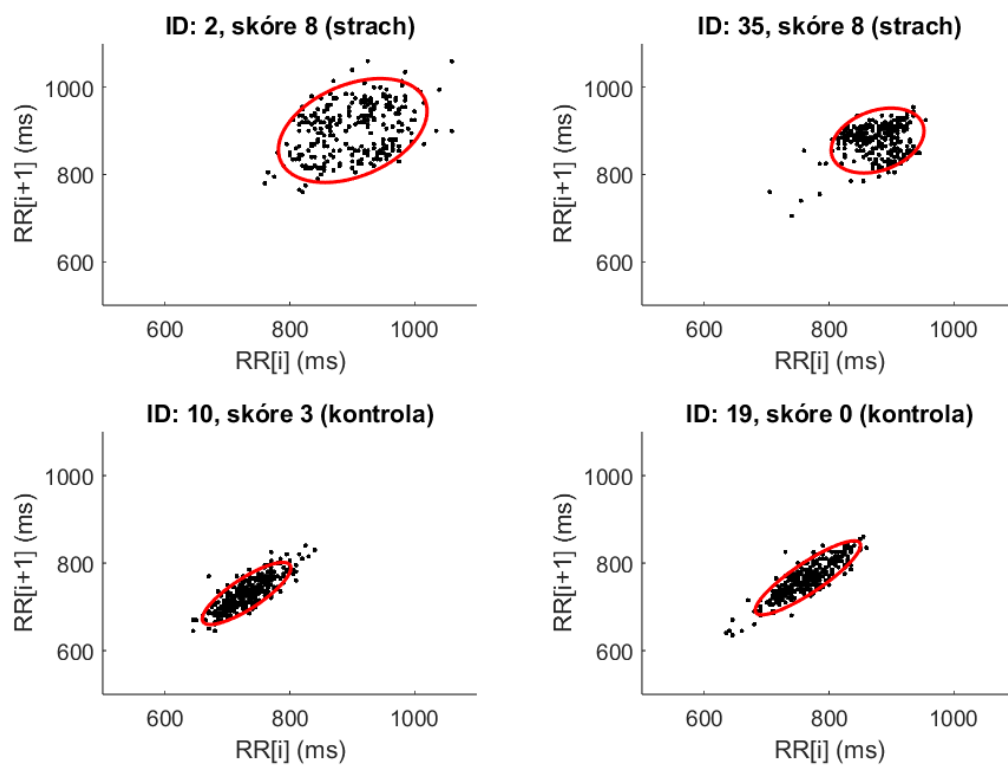
Na obrázku 4.6 je ukázka Poincaré plotů opět pro dva respondenty ze skupiny se strachem (nahore) a dva respondenty z kontrolní skupiny (dole). Vyznačeny jsou elipsy, jejichž hlavní a vedlejší osa představuje parametry SD1 a SD2.



Obrázek 4.4: Ukázka časových průběhů HR dvou respondentů se strachem (nahore) a dvou respondentů z kontrolní skupiny (dole) pro barevnou verzi prezentace. Přerušovaná čára představuje průměrnou HR, červeně jsou označeny počátky stimulů s hadem a modře s listem.

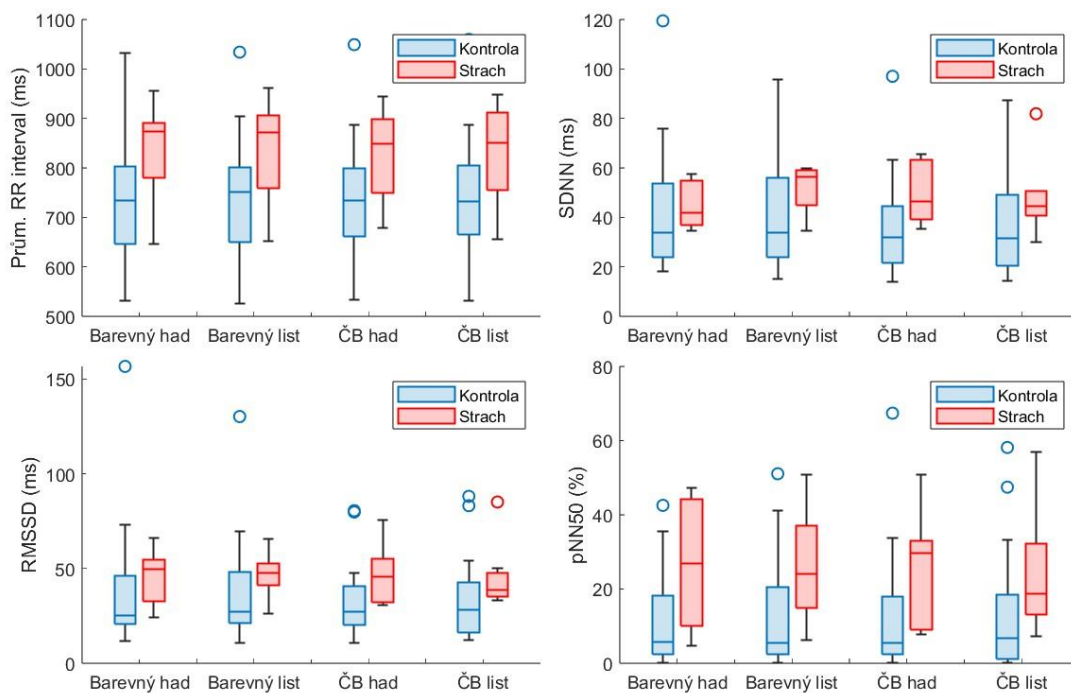


Obrázek 4.5: Ukázka autokorelace časových průběhů HR pro respondenta se strachem (nahore) a respondenta z kontrolní skupiny (dole).

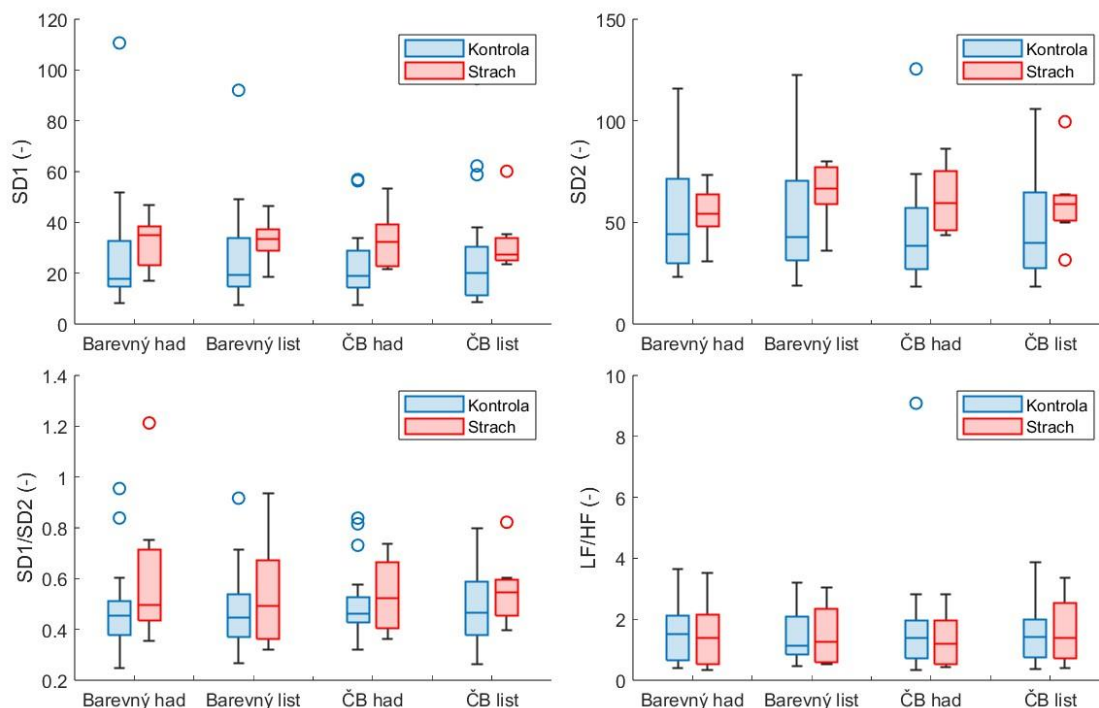


Obrázek 4.6: Ukázka Poincaré plotů dvou respondentů se strachem (nahore) a dvou respondentů z kontrolní skupiny (dole) pro barevnou verzi prezentace.

Na obrázku 4.7 jsou boxploty zobrazující rozložení naměřených hodnot časových parametrů HRV (průměrná délka RR intervalu, SDNN, RMSSD a pNN50) pro obě skupiny respondentů a pro 4 typy stimulů – barevný had, barevný list, černobílý had a černobílý list. Obdobně na obrázku 4.8 jsou boxploty pro nelineární (SD1, SD2 a poměr SD1/SD2) a frekvenční (poměr LF/HF) parametry HRV.



Obrázek 4.7: Boxploty zobrazující rozložení hodnot časových parametrů HRV kontrolní skupiny (modře) a skupiny se strachem (červeně) pro každý typ stimulu – barevný had a list, černobílý (ČB) had a list. Zobrazené parametry jsou průměrná délka RR intervalu (vlevo nahoře), SDNN (vpravo nahoře), RMSSD (vlevo dole) a pNN50 (vpravo dole).

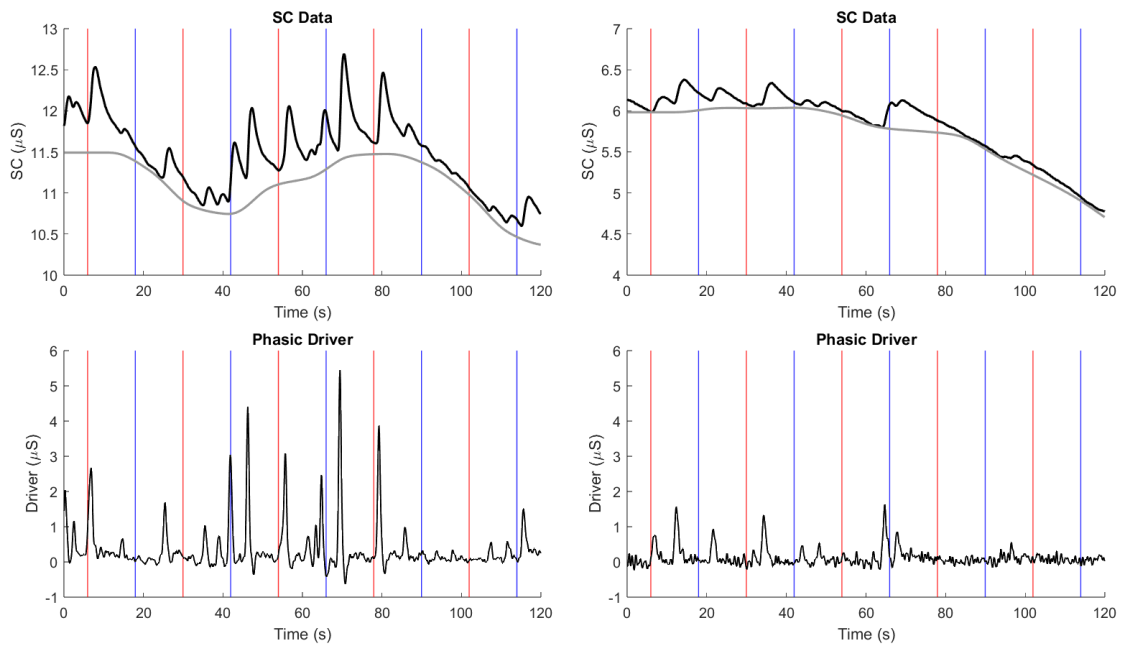


Obrázek 4.8: Boxploty zobrazující rozložení hodnot nelineárních a frekvenčních parametrů HRV kontrolní skupiny (modře) a skupiny se strachem (červeně) pro každý typ stimulu – barevný had a list, černobílý (ČB) had a list. Zobrazené parametry jsou SD1 (vlevo nahoře), SD2 (vpravo nahoře), poměr SD1/SD2 (vlevo dole) a poměr LF/HF (vpravo dole).

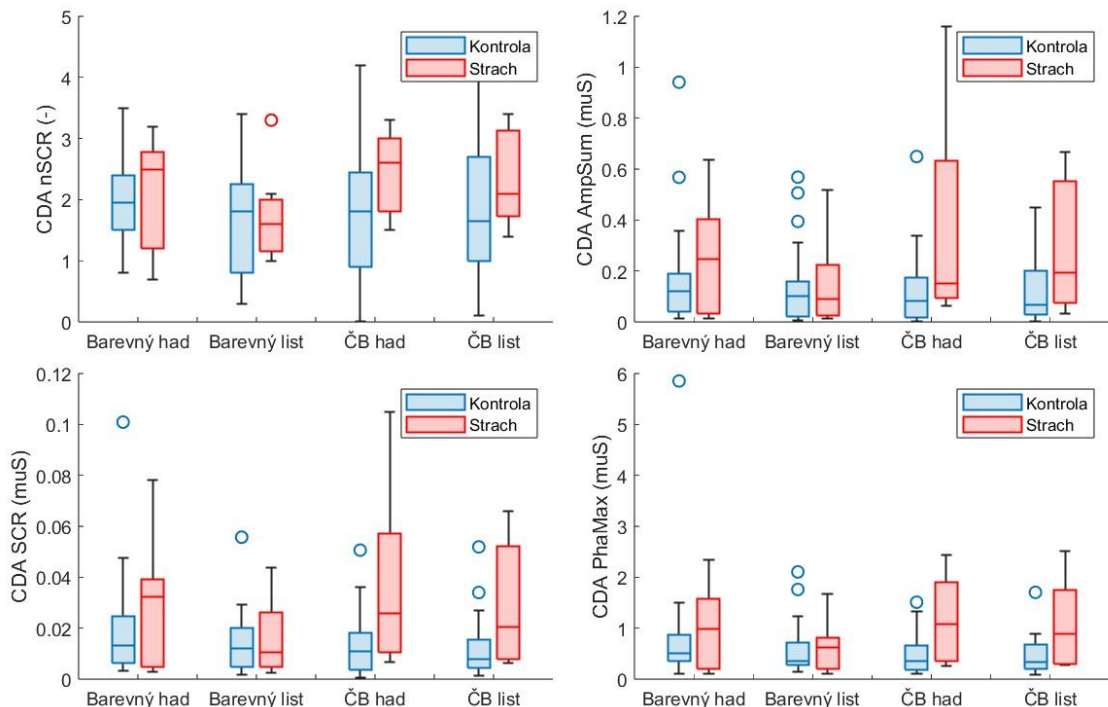
4.3. Výsledky GSR

Na obrázku 4.9 je ukázka výstupu Ledalab toolboxu pro zpracování GSR signálů pro respondenta ze skupiny se strachem (vlevo) a respondenta z kontrolní skupiny (vpravo). V horním grafu je vykreslena celková naměřená kožní vodivost (černě) a odhad tonické složky (šedě). V dolním grafu je poté Phasic Driver získaný dekonvolucí fázové složky, který představuje odhad aktivity nervových vláken SNS inervujících potní žlázy. Červené a modré svíslé čáry představují počáteční časy jednotlivých stimulů.

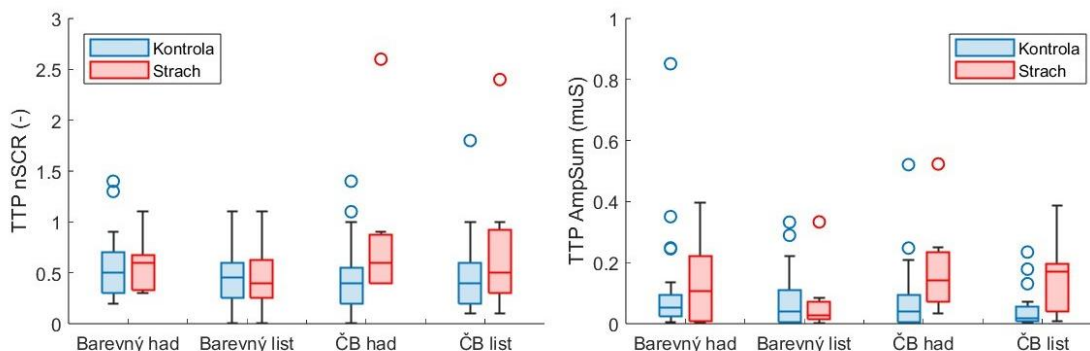
Na obrázku 4.10 jsou boxploty zobrazující rozložení naměřených hodnot GSR parametrů získaných pomocí CDA analýzy (nSCR, AmpSum, SCR a PhaMax) pro obě skupiny respondentů a pro 4 typy stimulů – barevný had, barevný list, černobílý had a černobílý list. Na obrázku 4.11 jsou poté boxploty pro GSR parametry získané TTP analýzou (nSCR a AmpSum).



Obrázek 4.9: Ukázka výstupu Ledalab toolboxu pro respondenta ze skupiny se strachem (vlevo) a respondenta z kontrolní skupiny (vpravo). V horním grafu (SC Data) je vykreslena celková kožní vodivost a odhad tonické složky, v dolním grafu (Phasic Driver) je signál získaný dekonvolucí fázové složky. Červené (had) a modré (list) svislé čáry označují počáteční čas stimulu.



Obrázek 4.10: Boxploty zobrazující rozložení hodnot GSR parametrů z CDA analýzy pro kontrolní skupinu (modře) a skupinu se strachem (červeně) a pro každý typ stimulu – barevný had a list, černobílý (ČB) had a list. Zobrazené parametry jsou CDA nSCR (vlevo nahoře), CDA AmpSum (vpravo nahoře), CDA SCR (vlevo dole) a CDA PhaMax (vpravo dole).



Obrázek 4.11: Boxploty zobrazující rozložení hodnot GSR parametrů z TTP analýzy pro kontrolní skupinu (modře) a skupinu se strachem (červeně) a pro každý typ stimulu – barevný had a list, černobílý (ČB) had a list. Zobrazené parametry jsou TTP nSCR (vlevo) a TTP AmpSum (vpravo).

4.4. Výsledky statistické analýzy

V tabulce 4.2 jsou uvedeny p-hodnoty z analýzy rozptylu pro opakovaná měření (rmANOVA) pro jednotlivé parametry. Sloupec Skóre představuje vliv skupiny, do které byli respondenti zařazeni na základě skóre z dotazníku SNAQ-12, a sloupec Stimul představuje vliv typu stimulu na naměřená data. Poslední sloupec Skóre:Stimul je interakce mezi typem stimulu a skupinou.

Tabulka 4.2: Výsledné p-hodnoty rmANOVA, Skóre představuje vliv skupiny, Stimul vliv typu stimulu a Skóre:Stimul je interakce mezi nimi, p-hodnoty menší než 0,10 jsou označeny * a p-hodnoty menší než 0,05 jsou označeny ** a zvýrazněny.

Parametr	Skóre	Stimul	Skóre:Stimul
PUP AvgSize	0,561	<0,001 **	0,939
RR Mean	0,066 *	0,655	0,427
HRV SDNN	0,283	0,523	0,358
HRV RMSSD	0,298	0,879	0,836
HRV pNN50	0,038 **	0,814	0,336
HRV SD1	0,298	0,878	0,836
HRV SD2	0,296	0,337	0,246
HRV SD1/SD2	0,192	0,635	0,265
HRV LFHF	0,815	0,993	0,909
CDA nSCR	0,316	0,279	0,464
CDA AmpSum	0,075 *	0,023 **	0,004 **
CDA SCR	0,060 *	0,026 **	0,007 **
CDA PhaMax	0,134	0,395	0,125
TTP nSCR	0,245	0,152	0,071 *
TTP AmpSum	0,124	0,266	0,149

U 3 parametrů byl vliv typu stimulu signifikantní, a byla proto provedena post-hoc analýza. V tabulce 4.3 jsou výsledné p-hodnoty post-hoc testu porovnávající hodnoty daného parametru pro jednotlivé dvojice typů stimulů.

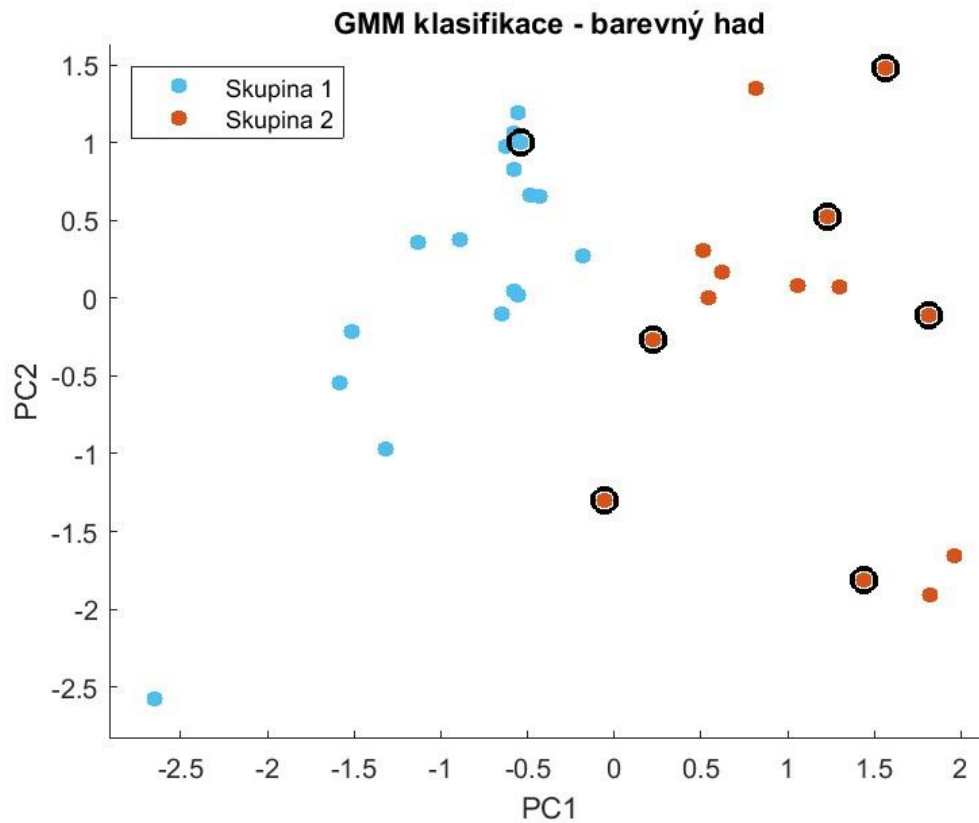
Tabulka 4.3: Výsledné p-hodnoty post-hoc testu pro parametry se signifikantním vlivem typu stimulu, p-hodnoty menší než 0,10 jsou označeny * a p-hodnoty menší než 0,05 jsou označeny ** a zvýrazněny.

Parametr	B had B list	ČB had ČB list	B had ČB had	B list ČB list	B had ČB list	ČB had B list
PUP AvgSize	0,131	0,146	0,003 **	0,149	0,007 **	0,974
CDA AmpSum	0,251	0,370	0,458	0,276	0,999	0,044 **
CDA SCR	0,096 *	0,423	0,939	0,314	0,957	0,029 **

4.5. Výsledky GMM klasifikace

Na obrázku 4.12 je výsledné rozdělení respondentů do dvou skupin pomocí GMM při použití hodnot pro typ stimulu barevný had ze 3 vybraných parametrů – průměrná velikost zornice, pNN50 a CDA AmpSum. Pro lepší vizualizaci vícerozměrného prostoru tvořeného parametry jsem data vykreslila do souřadného systému první a druhé hlavní komponenty z analýzy hlavních komponent (angl. *Principal Component Analysis*, PCA). Barevně jsou odlišeny skupiny dle GMM, dále je v grafu zvýrazněna skupina se strachem dle skóre z dotazníku SNAQ-12. Výsledky GMM klasifikace pro zbylé typy stimulů jsou uvedeny v příloze.

V tabulce 4.4 je uvedena matice záměn pro případ z obrázku 4.12 porovnávající rozdělení do skupin pomocí GMM a na základě skóre dotazníku SNAQ-12. Jelikož GMM číslo skupiny přiřazuje náhodně, zvolila jsem skupinu se strachem dle GMM jako tu, která zahrnuje většinu respondentů ze skupiny se strachem dle dotazníku. V případě obrázku 4.12 to byla Skupina 2. Skupina 1 poté představovala kontrolní skupinu.



Obrázek 4.12: Rozdělení do skupin dle GMM pro stimul barevný had z parametrů prům. velikost zornice, pNN50 a CDA AmpSum, zvýrazněna je skupina se strachem dle skóre dotazníku SNAQ-12. PC1 a PC2 jsou první a druhá hlavní komponenta z PCA.

Tabulka 4.4: Matice záměn porovnávající rozdělení do skupin dle GMM a dle skóre z dotazníku SNAQ-12

		Rozdělení dle GMM	
		Skupina 1 (kontrola)	Skupina 2 (strach)
Rozdělení dle dotazníku	Skupina se strachem	16	8
	Kontrolní skupina	1	6

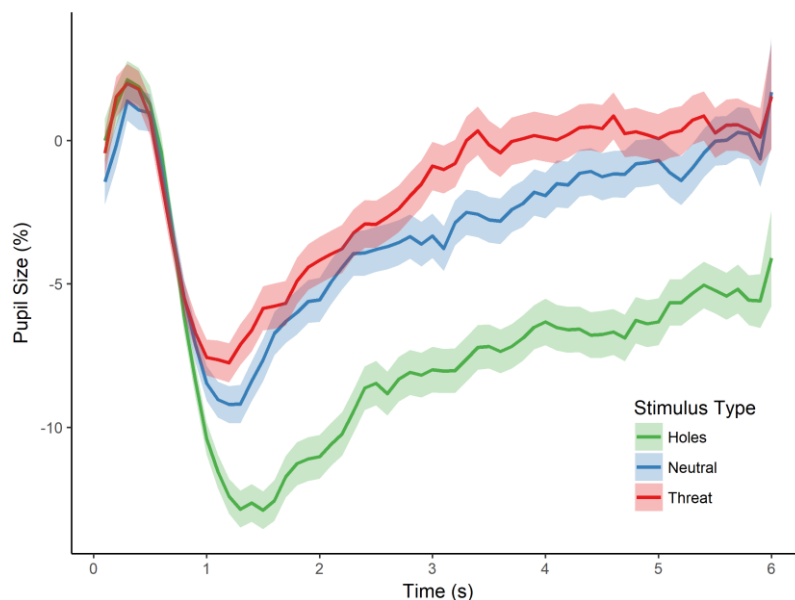
5. Diskuze

V rámci své práce jsem navrhla experiment pro pupilometrické měření a naměřené fyziologické signály jsem následně analyzovala s cílem zjistit možnosti jejich využití jako ukazatelů stresu a úzkosti. Nejslibnější výsledky pro detekci stresu přinesly parametry GSR, určitá reakce na použité stimuly se ale projevila i u velikosti zornice a některých HRV parametrů. Nakonec jsem použila GMM klasifikaci, která potvrdila souvislost hodnot naměřených parametrů a skóre z dotazníku SNAQ-12.

Určitá ztráta dat při měření velikosti zornice je běžná, jelikož kamera nemůže měřit, když mrkáme či více odvrátíme pohled od obrazovky. Ztráty dat u 3 vyřazených subjektů uvedené v tabulce 4.1 byly příliš velké. Některé studie ([12], [46]) uvádí maximální dovolenou ztrátu dat v oblastech zájmu jako 50 %, ta však byla překročena u těchto respondentů, kde se ztráty pohybovaly kolem 60–80 %. Důvodem těchto ztrát byly pravděpodobně silné dioptrické brýle či čočky, které všichni 3 respondenti měli, a které nějakým způsobem zabránily detekci zornice v pořízeném videozáznamu. Ne všechny dioptrické brýle a čočky ale způsobovaly tento problém, jelikož respondentů s korekcí zraku bylo více. U zbylých respondentů byly ztráty pupilometrických dat přijatelné a chybějící data byla lineárně interpolována.

Z obrázku 4.2 znázorňujícího průměrné časové průběhy relativní velikosti zornice během sledování obrázků se stimuly je patrné, že velikost zornice byla v průměru menší při sledování snímků s hady nezávisle na tom, zda se jednalo o skupinu se strachem nebo kontrolní skupinu. To potvrzuje i výsledek rmANOVA, dle které vliv skupiny nebyl signifikantní ($F_{(1,29)} = 0,346$, $p = 0,561$). Jelikož mezi respondenty byly jen osoby se zvýšeným strachem, nikoliv fobici, je možné, že u nich stimuly v podobě obrázků nevyvolaly stresovou reakci měřitelnou použitými metodami. Od několika respondentů jsem během měření dostala v různých podobách slovní reakci „Na obrázku mi nevádí, ale živých hadů se bojím.“, což by bylo v souladu s touto hypotézou. Jiné vysvětlení by mohla poskytovat evoluční teorie, dle které jsou hadi jednou z evolučních hrozeb pro člověka, a tudíž by určitým způsobem mohla na obrázky hadů reagovat celá populace. To tvrdí i studie [18], dle které obrázky hadů a pavouků vyvolávají strach nejen u osob s příslušnou fobií, ale i u běžné populace.

Zajímavé bylo ale zjištění, že velikost zornice byla menší pro stimul vyvolávající strach než pro neutrální stimul, i když tento rozdíl nebyl dle post-hoc testu signifikantní jak pro barevnou ($p = 0,132$), tak i pro černobílou ($p = 0,146$) verzi prezentace na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Studie zkoumající souvislost velikosti zornice a stresu většinou dochází k opačným závěrům, kdy je zornice větší během stresového podnětu. Tomu by odpovídala i teorie, že svaly odpovědné za zvětšení zornice jsou pod vlivem SNS, který zprostředkovává stresovou reakci. Např. ve studii [18] používali obrázky hadů a pavouků jako strach vyvolávající stimuly a v porovnání s neutrálními stimuly pro ně byla velikost zornice větší. Ukázka výsledků této studie je na obrázku 5.1. K podobným závěrům došli i studie [6], porovnávající příjemné a nepříjemné podněty, a studie [12], zabývající se reakcí na obrázky hadů a pavouků jakožto evolučních hrozeb u kojenců.

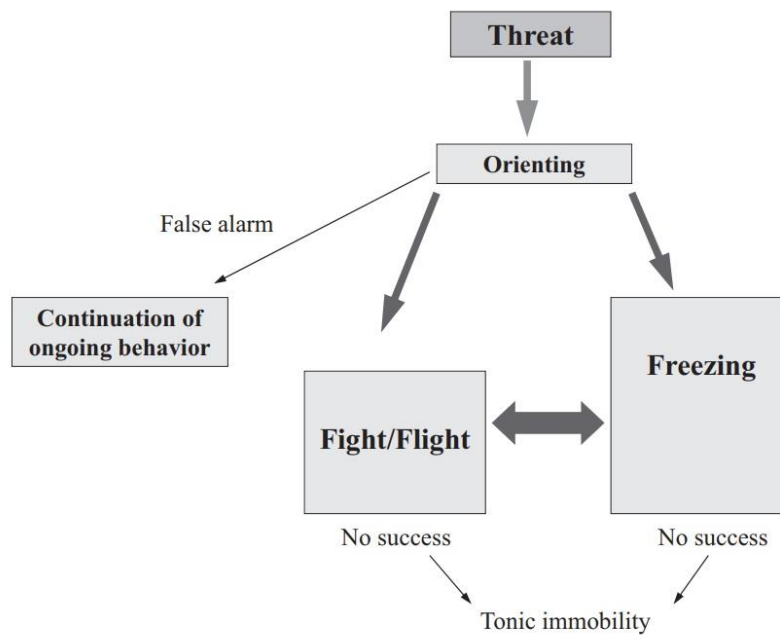


Obrázek 5.1: Výsledky studie porovnávající změny velikost zornice pro stimuly vyvolávající pocit hrozby (Threat, červeně), kde byly zahrnuty obrázky hadů a pavouků, a neutrální stimuly (Neutral, modře). Stimuly s obrázky děr (Holes, zeleně) byly použity pro výzkum tryfobie (strach z děr).

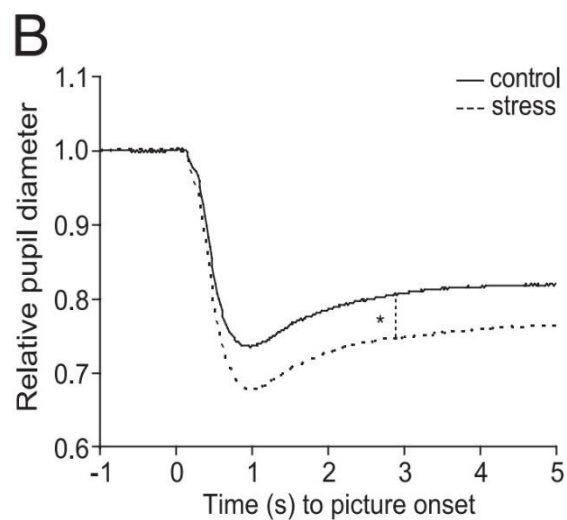
Převzato z [18].

Jisté vysvětlení by mohl přinést jev nazývaný „freezing“ či „fear bradycardia“, kdy při styku s nějakou hrozbou dochází k zamrznutí, sníží se fyzický pohyb a zpomalí se srdeční frekvence v důsledku vyšší aktivity PNS. Dochází ale zároveň i k zvýšení aktivity SNS, a proto jsou fyziologické projevy tohoto jevu charakterizovány vlivy obou větvi autonomního nervového systému. Je tedy možné, že velikost zornice, podobně jako srdeční aktivita, byla ovlivněna právě aktivitou PSN, což by vedlo k jejímu zmenšení. Freezing je často popisován jako alternativní reakce k stresové reakci „útok nebo útek“

(angl. *fight or flight*), a je uváděn i možný přechod mezi těmito stavy (viz schéma na obrázku 5.2). Přestože se jedná o jev popisovaný převážně u zvířat, existují i studie pozorující ho u lidí, např. v [47] použili jako jednu z metod měření stresu pupilometrii a jejich výsledkem byla menší velikost zornice pro stresové stimuly v porovnání s kontrolními (obrázek 5.3). [48], [49]



Obrázek 5.2: Schématické znázornění reakce na hrozbu. Převzato z [48].



Obrázek 5.3: Výsledek studie měřící vliv stresu pomocí pupilometrie, kde velikost zornice pro stresový stimul (stress) byla menší než pro kontrolní (control). Převzato z [47].

Při porovnávání vlivu barvy prezentace byl u pupilometrických dat dle post-hoc testu s hladinou významnosti $\alpha = 0,05$ statisticky významný rozdíl ve velikosti zornice mezi barevným a černobílým hadem ($p = 0,003$), nikoliv však mezi barevným a černobílým listem ($p = 0,149$). Interpretace tohoto výsledku ale není jednoznačná, rozdíl mohl být způsoben kombinací barvy a typu stimulu, mohl ale také být způsoben odlišnými fyzikálními vlastnostmi barevných a černobílých obrázků, které vyvolaly různě silný světelný reflex i přes snahu tento jev potlačit sjednocením jasu obrázků.

Výsledky analýzy srdečního rytmu ukázaly významný vliv skupiny na hodnoty průměrného RR intervalu ($F_{(1,29)} = 3,64$, $p = 0,066$). Z boxplotu pro prům. RR interval na obrázku 4.7 je také patrné, že RR interval pro skupinu se strachem je v průměru delší, a tepová frekvence tedy nižší, než u kontrolní skupiny. To by opět odpovídalo jevu freezing, kdy jedním z projevů je právě pokles tepové frekvence. Podobné výsledky reportují i např. tyto studie [50], [51], [52], které zkoumají vliv stresu či strachu na fyziologické signály. Pro prům. RR interval však nebyl signifikantní vliv typu stimulu ($F_{(3,87)} = 0,543$, $p = 0,665$), je tedy možné, že respondenti se zvýšeným strachem z hadů byly v tomto stavu během celého měření.

U dvou respondentů se skórem 8 v dotazníku SNAQ-12 (hranice pro fóbii) byl časový průběh HR již od pohledu jiný než u kontrolní skupiny či zbylých respondentů ze skupiny se strachem. Pro tyto dva respondenty byl velmi pravidelný s kratší periodou (obrázek 4.4). To potvrdila i autokorelační analýza (obrázek 4.5), dle které byla perioda cyklů u respondentů se skórem 8 přibližně 3–4 s, zatím co u respondentů z kontrolní skupiny se perioda pohybovala kolem 10–12 s, což odpovídá změnám HR spojených s dýcháním. Tyto dva respondenti se také odlišovali od ostatních v Poincaré plotu (obrázek 4.6), kde měli směrodatné odchylky podél hlavní a vedlejší osy elipsy (parametry SD1 a SD2) velmi podobné a elipsa se přibližovala tvarem kružnici. Naopak respondenti z kontrolní skupiny měli směrodatnou odchylku podél hlavní osy výrazně větší a elipsa tak byla v tomto směru více protáhlá. Je tedy možné, že parametry z autokorelační analýzy či Poincaré plotu by bylo možné použít pro detekci stresu u fobiků, jelikož se ale studie zúčastnili pouze dva respondenti s fóbií, nelze na jejich základě provést statistickou analýzu a vyvodit konkrétní závěry.

Z HRV parametrů byl jediný signifikantní parametr pNN50, a to pro vliv skupiny ($F_{(1,29)} = 4,75$, $p = 0,038$), a nikoliv pro vliv stimulu ($F_{(3,87)} = 0,316$, $p = 0,814$). Tento parametr měl podobný trend jako prům. RR interval, kdy jeho hodnota byla vyšší u skupiny se strachem, a to během celého měření (obrázek 4.7), což je opačný změna, než kterou popisují studie v souvislosti s aktivitou SNS při stresu, kdy dochází k poklesu pNN50. Je tedy možné, že se freezing projevil i v tomto parametru, jelikož jeho hodnoty jsou silně korelovány s hodnotami prům. RR intervalu pro všechny typy stimulu ($r > 0,7$, $p < 0,001$). Žádný další parametr HRV nebyl dle statistické analýzy signifikantní.

Jistou nevýhodou pro HRV analýzu byl samotný návrh experimentu, kdy se parametry počítaly jen z 10 časových úseků dlouhých 6 s, během kterých byl zobrazován daný stimul. HRV analýza se běžně používá u záznamů o délce alespoň několik minut. To mohlo vést k nepřesnostem ve vypočítaných parametrech způsobenými vlivem různých nežádoucích fyziologických proměnných, např. respirace, které se v krátkých úsecích mohou více projevit.

Fyziologický signál GSR a jeho parametry vypadají dle statistické analýzy jako nejlepší ukazatelé stresu z měřených signálů, konkrétně se jednalo o parametry CDA AmpSum (suma amplitud signifikantních špiček fázové složky) a CDA SCR (průměrná hodnota fázové složky). U těchto dvou GSR parametrů byl významný vliv skupiny na základě skóre z dotazníku ($F_{(1,29)} = 3,41$, $p = 0,075$ pro CDA AmpSum, a $F_{(1,29)} = 3,83$, $p = 0,060$ pro CDA SCR), a na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ byl statisticky významný vliv typu stimulu ($F_{(3,87)} = 3,33$, $p = 0,023$ pro CDA AmpSum, a $F_{(3,87)} = 3,23$, $p = 0,026$ pro CDA SCR), post-hoc test však nepotvrdil statisticky významný rozdíl mezi stimuly s hadem a listem, či mezi barevnou a černobílou verzí stimulů. Statisticky významný rozdíl u těchto parametrů ale byl u interakce mezi typem stimulu a skupinou ($F_{(3,87)} = 4,75$, $p = 0,004$ pro CDA AmpSum, a $F_{(3,87)} = 4,37$, $p = 0,007$ pro CDA SCR), která je patrná na boxplotech na obrázku 4.10, kde u skupiny se strachem je rozptýl hodnot těchto parametrů větší pro černobílou verzi prezentace než pro barevnou. Tyto dva parametry jsou však silně korelovány (pro všechny typy stimulu bylo $r > 0,97$ a $p < 0,001$) a jako ukazatel stresu by postačovalo měřit pouze jeden z nich. Toho jsem využila i u klasifikační úlohy, kdy jsem do modelu zahrнула jen jeden parametr GSR, konkrétně CDA AmpSum.

Vliv jevu freezing, který byl pravděpodobně pozorován u velikosti zornice a srdeční aktivity, se v parametrech GSR neprojevuje. To je pravděpodobně způsobeno tím, že GSR je výhradně regulován aktivitou SNS, na rozdíl od zbylých dvou parametrů, kde hraje roli i PNS. Pro GSR by to mohla být výhoda, kdy typ stresové reakce nemá vliv na její projevy v příslušných parametrech, ale také nevýhoda, kdy tyto stavy nemusí být jednoznačně rozlišitelné jen na základě měření GSR.

Na vybraných parametrech (průměrná velikost zornice, pNN50 a CDA AmpSum) byla provedena GMM klasifikace s cílem rozdělit respondenty do dvou skupin a porovnat, jak toto rozdělení souhlasí s výsledkem dotazníku SNAQ-12. Pro typ stimulu barevný had (obrázek 4.12) byla shoda mezi GMM klasifikací a skupinami dle dotazníku téměř 71 %. Rozdíl v průměrné hodnotě skóre z dotazníku u skupin dle GMM byl 1,3 body. Obdobně poté pro typ stimulu černobílý had (viz příloha) byla shoda klasifikace a dotazníku 65 % a rozdíl průměrného skóre mezi skupinami byl 0,9 bodů. Z výsledků GMM klasifikace lze usoudit, že respondenti, kteří v dotazníku skórovali 5 a více bodů, měli určitou reakci na stimuly, která se projevila v měřených signálech, a na základě které byli zařazeni do stejné skupiny. Tuto reakci ale měli i někteří respondenti se skórem z dotazníku nižším než 4 body, kteří tak byli zahrnuti do té samé skupiny, v některých případech se dokonce jednalo o respondenty se skórem 0 bodů. Roli zde mohla hrát teorie evolučních hrozeb, dle které by mohli na obrázky hadů reagovat i respondenti, kteří se hadů vysloveně nebáli. Zároveň hodnocení dle dotazníku, se kterým byla GMM klasifikace porovnávána, je značně subjektivní a nemusí tak být velmi přesné.

6. Závěr

Tato práce se zabývala projevy stresu a úzkosti ve velikosti zornice a dalších fyziologických signálech. Byl navržen experiment vhodný pro pupilometrii v podobě prezentace s obrázky hadů (stresový stimul) a listů (neutrální stimul), který byl použit pro měření fyziologických signálů u dobrovolníků z řad studentů ČVUT. Naměřené signály byly následně analyzovány s cílem zjistit možnosti jejich využití jako ukazatelů stresu a úzkosti. Jako nezávislý ukazatel stresu bylo použito subjektivní hodnocení pomocí dotazníku SNAQ-12 zaměřeného na strach a fóbii z hadů. Na základě tohoto dotazníku byli respondenti rozděleni na skupinu se zvýšeným strachem z hadů, u které byla očekávána stresová reakce, a kontrolní skupinu. Nejslibnějším ukazatelem stresu z měřených signálů byl GSR, jehož parametry dobře diferencovali jak mezi skupinami, tak i mezi typy stimulů. U velikosti zornice a srdeční aktivity se reakce na použité stimuly projevila spíše jako tzv. „freezing“ než typická stresová reakce „útok nebo útek“. Dle výsledků statistické analýzy byly vybrány 3 parametry – průměrná velikost zornice, GSR parametr CDA AmpSum a HRV parametr pNN50. Na těchto parametrech byla provedena klasifikace bez učitele pomocí algoritmu GMM, která potvrdila určitou souvislost mezi hodnotami vybraných parametrů a skórem z dotazníku SNAQ-12.

Hlavní limitací této práce byl malý počet respondentů, obzvláště pak malý počet respondentů se zvýšeným strachem z hadů. Z celkového počtu 31 respondentů jich pouze 7 tvořilo skupinu se strachem, a zbylých 24 tvořilo kontrolní skupinu. Tento nepoměr ve velikostech skupin mohl zanést nepřesnosti jak to statistické analýzy, tak i GMM klasifikace, kde byly obě skupiny porovnávány. Další omezení přineslo použité eye-tracker zařízení, které z neznámých důvodů nedokázalo měřit záznamy delší než přibližně 5 min, což omezilo délku prezentace a tím i počet použitých stimulů na 10 hadů a 10 listů.

Do budoucna by bylo vhodné rozšířit databázi naměřených dat, a to ideálně o respondenty s fobií z hadů, jelikož současné práce se zúčastnili jen respondenti se zvýšeným strachem. Dále by bylo vhodné zvážit změny v návrhu experimentu, protože jeho současná podoba zaměřená na měření velikosti zornice nebyla příliš vhodná pro HRV analýzu.

Literatura

- [1] AYERS, Susan a Richard DE VISSER. Stres a zdraví. In: AYERS, Susan a Richard DE VISSER. *Psychologie v medicíně*. Praha: Grada Publishing, 2015, s. 49-71. Psyché (Grada). ISBN 978-80-247-5230-3.
- [2] Stres. In: KŘIVOHLAVÝ, Jaro. *Psychologie zdraví*. Praha: Portál, 2001, s. 166-188. ISBN 80-717-8551-2.
- [3] 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, **5**(4), 44-56. ISSN 2162-2248. Dostupné z: doi:10.1109/MCE.2016.2590178
- [4] FINK, G. Stress, Definitions, Mechanisms, and Effects Outlined. *Stress: Concepts, Cognition, Emotion, and Behavior*. Elsevier, 2016, 3-11. ISBN 9780128009512. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-800951-2.00001-7
- [5] GIANNAKAKIS, Giorgos, Dimitris GRIGORIADIS, Katerina GIANNAKAKI, Olympia SIMANTIRAKI, Alexandros RONIOTIS a Manolis TSIKNAKIS. Review on Psychological Stress Detection Using Biosignals. *IEEE Transactions on Affective Computing*. 2022, **13**(1), 440-460. ISSN 1949-3045. Dostupné z: doi:10.1109/TAFFC.2019.2927337
- [6] BRADLEY, Margaret, Laura MICCOLI, Miguel ESCRIG a Peter LANG. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. *Psychophysiology*. 2008, **45**(4), 602-607. ISSN 0048-5772. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x
- [7] STEIMER, Thierry. The biology of fear- and anxiety-related behaviors. *Dialogues in Clinical Neuroscience*. 2002, **4**(3), 231-249. ISSN 1958-5969. Dostupné z: doi:10.31887/DCNS.2002.4.3/tsteimer
- [8] BOURNE, Edmund J. *The anxiety and phobia workbook*. Sixth edition, revised. 2015. ISBN 978-1-62625-217-2.
- [9] LEWINE, Howard E. Phobia. In: *Harvard Health Publishing* [online]. [cit. 2023-05-05]. Dostupné z: https://www.health.harvard.edu/a_to_z/phobia-a-to-z
- [10] RÁDLOVÁ, Silvie, Šárka PELÉŠKOVÁ, Jakub POLÁK, Eva LANDOVÁ a Daniel FRYNTA. Emoce vyvolané zvířaty II: strach a odpor. *E-psychologie*. 2018, **12**(4), 61-77. ISSN 18028853. Dostupné z: doi:10.29364/epsy.332

- [11] LANDOVÁ, Eva, Šárka PELÉŠKOVÁ, Kristýna SEDLÁČKOVÁ et al. Venomous snakes elicit stronger fear than nonvenomous ones: Psychophysiological response to snake images. *PLOS ONE*. 2020, **15**(8). ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0236999
- [12] HOEHL, Stefanie, Kahl HELLMER, Maria JOHANSSON a Gustaf GREDEBÄCK. Itsy Bitsy Spider...: Infants React with Increased Arousal to Spiders and Snakes. *Frontiers in Psychology*. 2017, **8**. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2017.01710
- [13] COHEN, Sheldon, Tom KAMARCK a Robin MERMELSTEIN. A Global Measure of Perceived Stress. *Journal of Health and Social Behavior*. 1983, **24**(4). ISSN 00221465. Dostupné z: doi:10.2307/2136404
- [14] PEACOCK, Edward a Paul WONG. The stress appraisal measure (SAM): A multidimensional approach to cognitive appraisal. *Stress Medicine*. 1990, **6**(3), 227-236. ISSN 07488386. Dostupné z: doi:10.1002/smi.2460060308
- [15] ANDREOU, Eleni, Evangelos ALEXOPOULOS, Christos LIONIS, Liza VARVOGLI, Charalambos GNARDELLIS, George CHROUSOS a Christina DARVIRI. Perceived Stress Scale: Reliability and Validity Study in Greece. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2011, **8**(8), 3287-3298. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph8083287
- [16] SZULEWSKI, Adam, Danielle KELTON a Daniel HOWES. Pupillometry as a tool to study expertise in medicine. *Frontline Learning Research*. 2017, **5**(3), 55-65. ISSN 22953159. Dostupné z: doi:10.14786/flr.v5i3.256
- [17] MATHÔT, Sebastiaan. Pupillometry: Psychology, Physiology, and Function. *Journal of Cognition*. 2018, **1**(1). ISSN 2514-4820. Dostupné z: doi:10.5334/joc.18
- [18] AYZENBERG, Vladislav, Meghan HICKEY a Stella LOURENCO. Pupillometry reveals the physiological underpinnings of the aversion to holes. *PeerJ*. 2018, **6**. ISSN 2167-8359. Dostupné z: doi:10.7717/peerj.4185
- [19] OLSON, DaiWai a Megan FISHEL. The Use of Automated Pupillometry in Critical Care. *Critical Care Nursing Clinics of North America*. 2016, **28**(1), 101-107. ISSN 08995885. Dostupné z: doi:10.1016/j.cnc.2015.09.003
- [20] PEDROTTI, Marco, Mohammad MIRZAEI, Adrien TEDESCO, Jean-Rémy CHARDONNET, Frédéric MÉRIENNE a Simone BENEDETTO. Automatic Stress Classification With Pupil Diameter Analysis. *International Journal of Human-Computer Interaction*. 2014, **30**(3), 220-236. ISSN 1044-7318. Dostupné z: doi:10.1080/10447318.2013.848320

- [21] REN, Peng, Armando BARRETO, Jian HUANG, Ying GAO, Francisco ORTEGA a Malek ADJOUADI. Off-line and On-line Stress Detection Through Processing of the Pupil Diameter Signal. *Annals of Biomedical Engineering*. 2014, **42**(1), 162-176. ISSN 0090-6964. Dostupné z: doi:10.1007/s10439-013-0880-9
- [22] NUSKE, Heather, Giacomo VIVANTI, Kristelle HUDRY a Cheryl DISSANAYAKE. Pupillometry reveals reduced unconscious emotional reactivity in autism. *Biological Psychology*. 2014, **101**, 24-35. ISSN 03010511. Dostupné z: doi:10.1016/j.biopsycho.2014.07.003
- [23] KRET, Mariska, Jeroen STEKELENBURG, Karin ROELOFS a Beatrice DE GELDER. Perception of Face and Body Expressions Using Electromyography, Pupillometry and Gaze Measures. *Frontiers in Psychology*. 2013, **4**. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2013.00028
- [24] LAENG, Bruno, Marte ØRBO, Terje HOLMLUND a Michele MIOZZO. Pupillary Stroop effects. *Cognitive Processing*. 2011, **12**(1), 13-21. ISSN 1612-4782. Dostupné z: doi:10.1007/s10339-010-0370-z
- [25] ALNAES, D., M. SNEVE, T. ESPESETH, T. ENDESTAD, S. VAN DE PAVERT a B. LAENG. Pupil size signals mental effort deployed during multiple object tracking and predicts brain activity in the dorsal attention network and the locus coeruleus. *Journal of Vision*. 2014, **14**(4), 1-1. ISSN 1534-7362. Dostupné z: doi:10.1167/14.4.1
- [26] EINHÄUSER. Pupil dilation betrays the timing of decisions. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2010. ISSN 16625161. Dostupné z: doi:10.3389/fnhum.2010.00018
- [27] CIUFFREDA, Kenneth, Nabin JOSHI a James TRUONG. Understanding the effects of mild traumatic brain injury on the pupillary light reflex. *Concussion*. 2017, **2**(3). ISSN 2056-3299. Dostupné z: doi:10.2217/cnc-2016-0029
- [28] FOTIOU, D.F., V. STERGIOU, D. TSIPTSIOS, C. LITHARI, M. NAKOU a A. KARLOVASITOU. Cholinergic deficiency in Alzheimer's and Parkinson's disease: Evaluation with pupillometry. *International Journal of Psychophysiology*. 2009, **73**(2), 143-149. ISSN 01678760. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijpsycho.2009.01.011
- [29] KOOIJMAN, L., D. DODOU, S.T. JANSEN et al. Is accommodation a confounder in pupillometry research?. *Biological Psychology*. 2021, **160**. ISSN 03010511. Dostupné z: doi:10.1016/j.biopsycho.2021.108046
- [30] GAGL, Benjamin, Stefan HAWELKA a Florian HUTZLER. Systematic influence of gaze position on pupil size measurement: analysis and correction. *Behavior Research Methods*. 2011, **43**(4), 1171-1181. ISSN 1554-3528. Dostupné z: doi:10.3758/s13428-011-0109-5

- [31] LIN, Chung-Chih, Chih-Yu YANG, Zhuhuang ZHOU a Shuicai WU. Intelligent health monitoring system based on smart clothing. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 2018, **14**(8). ISSN 1550-1477. Dostupné z: doi:10.1177/1550147718794318
- [32] CYGANKIEWICZ, Iwona a Wojciech ZAREBA. Heart rate variability. *Autonomic Nervous System*. Elsevier, 2013, 379-393. Handbook of Clinical Neurology. ISBN 9780444534910. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-53491-0.00031-6
- [33] RAJENDRA ACHARYA, U., K. PAUL JOSEPH, N. KANNATHAL, Choo LIM a Jasjit SURI. *Heart rate variability: a review*. 2006, **44**(12), 1031-1051. ISSN 0140-0118. Dostupné z: doi:10.1007/s11517-006-0119-0
- [34] DAWSON, Michael, Anne SCHELL a Diane FILION. The Electrodermal System. *Handbook of Psychophysiology*. Cambridge University Press, 2017, 217-243. ISBN 9781107415782. Dostupné z: doi:10.1017/9781107415782.010
- [35] LUTIN, Erika, Ryuga HASHIMOTO, Walter DE RAEDT a Chris VAN HOOFF. Feature Extraction for Stress Detection in Electrodermal Activity. *Proceedings of the 14th International Joint Conference on Biomedical Engineering Systems and Technologies*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2021, 177-185. ISBN 978-989-758-490-9. Dostupné z: doi:10.5220/0010244601770185
- [36] POSADA-QUINTERO, Hugo a Ki CHON. Innovations in Electrodermal Activity Data Collection and Signal Processing: A Systematic Review. *Sensors*. 2020, **20**(2). ISSN 1424-8220. Dostupné z: doi:10.3390/s20020479
- [37] BENEDEK, Mathias a Christian KAERNBACH. A continuous measure of phasic electrodermal activity. *Journal of Neuroscience Methods*. 2010, **190**(1), 80-91. ISSN 01650270. Dostupné z: doi:10.1016/j.jneumeth.2010.04.028
- [38] ISAACS, Sofie. *How hardwired are we against threats?: An EDA study comparing modern and evolutionary fear-relevant stimuli*. 2016. Master Degree Project. University of Skövde, Sweden.
- [39] About GIMP. In: *GIMP - GNU Image Manipulation Program* [online]. [cit. 2023-08-10]. Dostupné z: <https://www.gimp.org/about/>
- [40] DAL BEN, Rodrigo. SHINE_color: controlling low-level properties of colorful images. *PsyArXiv*. 2021. Dostupné z: doi:10.31234/osf.io/fec6x
- [41] *I4Tracking® Dist: Zařízení pro sledování očních pohybů - Návod k obsluze*. Revize 5 ze dne 3.2.2020. Medicton Group s.r.o., Praha 6, 2014.

- [42] POLÁK, Jakub, Kristýna SEDLÁČKOVÁ, Eva LANDOVÁ a Daniel FRYNTA. Faster detection of snake and spider phobia: revisited. *Heliyon*. 2020, **6**(5). ISSN 24058440. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2020.e03968
- [43] MATLAB. In: *The MathWorks Inc.* [online]. [cit. 2023-08-10]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [44] VOLLMER, Marcus. *HRVTool – an Open-Source Matlab Toolbox for Analyzing Heart Rate Variability*. Dostupné také z: <http://marcusvollmer.github.io/HRV/>
- [45] Ledalab - Documentation. In: BENEDEK, Mathias a Christian KAERNBACH. *Ledalab* [online]. [cit. 2023-12-13]. Dostupné z: <http://www.ledalab.de>
- [46] LEUCHS, Laura, Max SCHNEIDER a Victor SPOORMAKER. Measuring the conditioned response: A comparison of pupillometry, skin conductance, and startle electromyography. *Psychophysiology*. 2019, **56**(1). ISSN 0048-5772. Dostupné z: doi:10.1111/psyp.13283
- [47] HENCKENS, Marloes, Erno HERMANS, Zhenwei PU, Marian JOËLS a Guillén FERNÁNDEZ. Stressed Memories: How Acute Stress Affects Memory Formation in Humans. *The Journal of Neuroscience*. 2009, **29**(32), 10111-10119. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.1184-09.2009
- [48] HAGENAARS, Muriel, Melly OITZL a Karin ROELOFS. *Updating freeze: Aligning animal and human research*. 2014, **47**, 165-176. ISSN 01497634. Dostupné z: doi:10.1016/j.neubiorev.2014.07.021
- [49] ROELOFS, Karin. Freeze for action: neurobiological mechanisms in animal and human freezing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2017, **372**(1718). ISSN 0962-8436. Dostupné z: doi:10.1098/rstb.2016.0206
- [50] HERMANS, Erno, Marloes HENCKENS, Karin ROELOFS a Guillén FERNÁNDEZ. Fear bradycardia and activation of the human periaqueductal grey. *NeuroImage*. 2013, **66**, 278-287. ISSN 10538119. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroimage.2012.10.063
- [51] BATTAGLIA, Simone, Stefano ORSOLINI, Sara BORGOMANERI, Riccardo BARBIERI, Stefano DICHIOTTI a Giuseppe DI PELLEGRINO. Characterizing cardiac autonomic dynamics of fear learning in humans. *Psychophysiology*. 2022, **59**(12). ISSN 0048-5772. Dostupné z: doi:10.1111/psyp.14122
- [52] FRAGKAKI, Iro, Karin ROELOFS, John STINS, Ruud JONGEDIJK a Muriel HAGENAARS. Reduced Freezing in Posttraumatic Stress Disorder Patients while Watching Affective Pictures. *Frontiers in Psychiatry*. 2017, **8**. ISSN 1664-0640. Dostupné z: doi:10.3389/fpsy.2017.00039

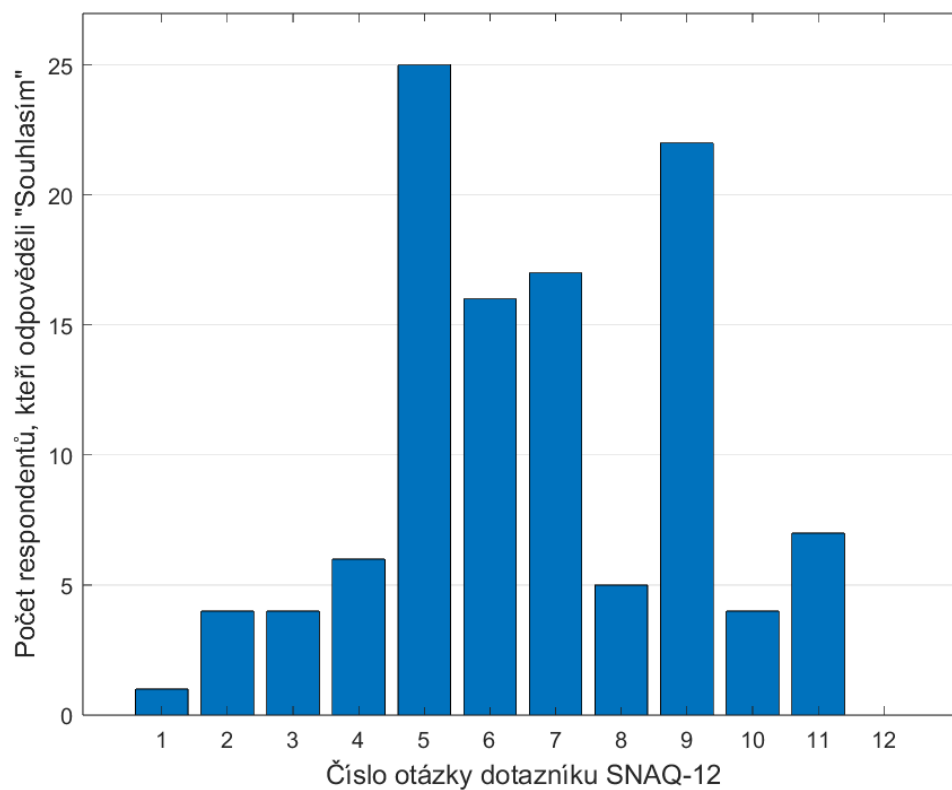
Přílohy

A) Dotazník SNAQ-12

Přečtěte si prosím následující tvrzení a odpovězte, zda s nimi souhlasíte či nesouhlasíte. Snažte se vždy posoudit, jak se na Vás dané tvrzení obecně vztahuje. Pokud tvrzení z větší části platí nebo platí ve většině případů, odpovězte **Souhlasím**. Pokud naopak z větší části neplatí nebo neplatí ve většině případů, odpovězte **Nesouhlasím**. Svou odpověď označte křížkem (X) v odpovídajícím sloupci.

	Souhlasím	Nesouhlasím
1. Vyhýbám se parkům nebo stanování, protože by tam mohli být hadi.		
2. Kdybych měl/a v ruce hračku hada, cítil/a bych jisté obavy.		
3. Kdyby se během filmu objevil na obrazovce had, odvrátil/a bych se.		
4. Nerad/a se dívám na obrázky hadů v časopise.		
5. Když mi někdo řekne, že se v okolí vyskytují hadi, jsem nervózní a ostražitý/á.		
6. Nešel/a bych se koupat na pláž, pokud by v té oblasti byli v minulosti hlášení hadi.		
7. Když vidím hada, jsem napjatý/á a nervózní.		
8. Způsob, jakým se hadi pohybují, mi připadá odpudivý.		
9. Kdybych narazil/a v lese na hada, nejspíš bych utekl/a.		
10. Hadů se bojím víc než jakéhokoliv jiného zvířete.		
11. Bojím se nejen hadů, ale znervózňují mě také červi a většina plazů.		
12. Nechtěl/a bych už příběh dále sledovat, pokud by se v ději objevilo něco o hadech.		

B) Četnost odpovědi „Souhlasím“ v dotazníku SNAQ-12



C) Naměřená data

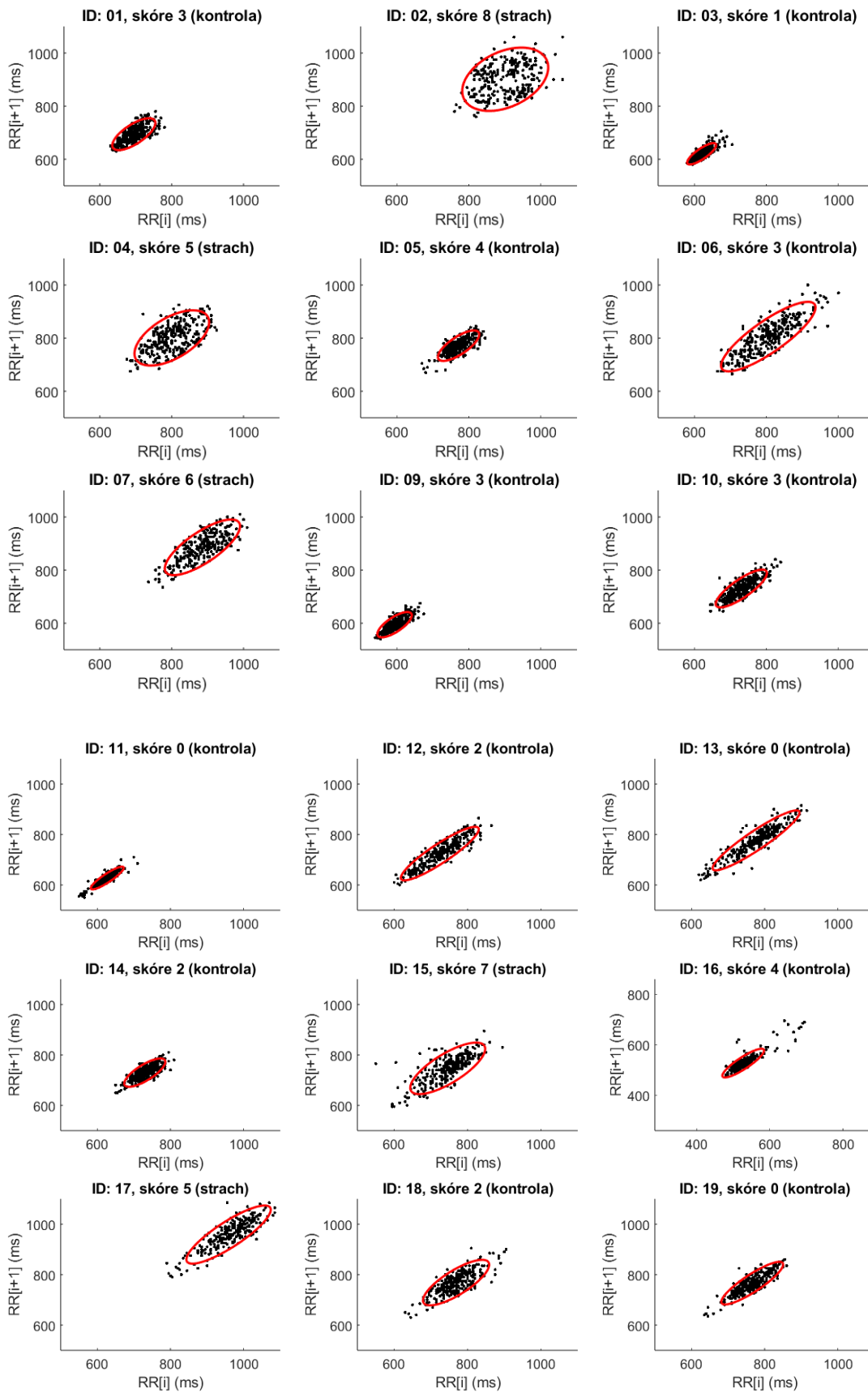
ID	Skóre dotazníku	Věk	Pohlaví	Průměrná rel. velikost zornice				TTP nSCR (-)				TTP AmpSum (µS)			
				B had	ČB had	B list	ČB list	B had	ČB had	B list	ČB list	B had	ČB had	B list	ČB list
01	3	22	F	0,898	0,914	0,980	1,019	0,3	0,3	0,5	1,8	0,008	0,004	0,023	0,178
02	8	24	F	0,955	0,955	0,945	1,013	0,6	0,4	0,2	0,3	0,212	0,142	0,031	0,197
03	1	23	F	0,980	0,995	0,961	0,977	0,2	0,2	0,3	0,9	0,015	0,041	0,004	0,021
04	5	22	F	0,995	0,992	0,980	0,977	1,1	2,6	1,1	2,4	0,015	0,130	0,013	0,108
05	4	23	M	0,971	0,947	0,961	0,932	0,3	0,4	0,2	0,2	0,004	0,053	0,073	0,013
06	3	23	M	0,961	1,003	0,931	0,988	0,7	0	0,3	0,1	0,060	0	0,221	0,005
07	6	22	M	0,936	0,937	0,962	0,979	0,6	0,9	0,4	0,7	0,226	0,193	0,084	0,169
09	3	23	F	0,968	0,984	0,971	0,961	0,4	0,1	0,6	0,1	0,035	0,002	0,061	0,001
10	3	20	F	0,967	0,965	0,889	1,004	0,5	0,3	0,2	0,3	0,007	0,005	0,004	0,016
11	0	33	F	0,777	0,851	0,940	0,961	0,2	0,5	0	0,4	0,090	0,008	0	0,008
12	2	23	M	0,959	0,978	0,984	0,979	0,9	1,4	1,0	0,7	0,096	0,248	0,290	0,060
13	0	23	M	0,953	0,949	0,967	0,976	0,5	0,3	0,5	0,6	0,020	0,004	0,008	0,013
14	2	26	F	0,934	0,958	0,984	0,963	1,3	0	0,9	0,6	0,070	0	0,036	0,016
15	7	23	F	0,911	0,958	0,988	0,993	0,3	0,6	0,7	0,5	0,106	0,250	0,333	0,386
16	4	22	M	0,969	0,978	0,985	0,994	0,4	0,5	0	0,5	0,024	0,069	0	0,057
17	5	23	M	0,918	0,949	0,952	0,983	0,7	0,8	0,4	1,0	0,396	0,523	0,029	0,194
18	2	23	F	0,941	0,995	0,955	0,964	0,6	0,5	0,6	0,2	0,049	0,015	0,185	0,022
19	0	27	M	0,928	0,950	0,918	0,883	1,4	1,0	0,8	0,4	0,135	0,198	0,111	0,053
20	3	23	F	0,949	0,980	0,982	0,997	0,2	0,4	0,6	0,1	0,033	0,152	0,068	0,002
21	0	23	M	0,931	0,976	0,987	0,977	0,2	0,2	0	0,3	0,037	0,004	0	0,003
23	2	24	F	0,935	0,950	0,974	0,945	0,7	0,6	0,4	0,6	0,022	0,210	0,011	0,051
24	1	25	F	1,006	1,000	0,995	0,994	0,3	0,5	0,5	0,4	0,093	0,055	0,016	0,043
26	1	23	F	0,957	0,938	0,944	0,992	0,5	0	0,3	0,3	0,248	0	0,014	0,004
27	3	24	M	0,976	0,980	1,006	0,997	0,9	1,0	0,9	1,0	0,245	0,119	0,332	0,235
30	1	22	M	0,943	0,972	0,985	1,034	0,5	0,3	0,6	0,6	0,071	0,049	0,041	0,072
31	3	23	F	0,914	0,935	0,948	0,901	1,3	0,4	0,3	0,2	0,351	0,047	0,111	0,014
32	0	22	M	0,967	0,991	0,981	1,014	0,5	1,1	0,1	0,6	0,852	0,521	0,002	0,131
33	5	22	F	0,970	0,977	0,972	0,970	0,3	0,4	0,4	0,3	0,005	0,034	0,022	0,018
34	4	22	F	0,874	0,913	0,948	0,960	0,6	1,0	1,1	0,9	0,053	0,041	0,191	0,032
35	8	22	F	0,945	0,978	0,959	0,986	0,4	0,4	0	0,1	0,006	0,051	0	0,007
36	4	23	M	0,882	0,924	0,963	0,987	0,4	0	0,4	0,1	0,023	0	0,106	0,007

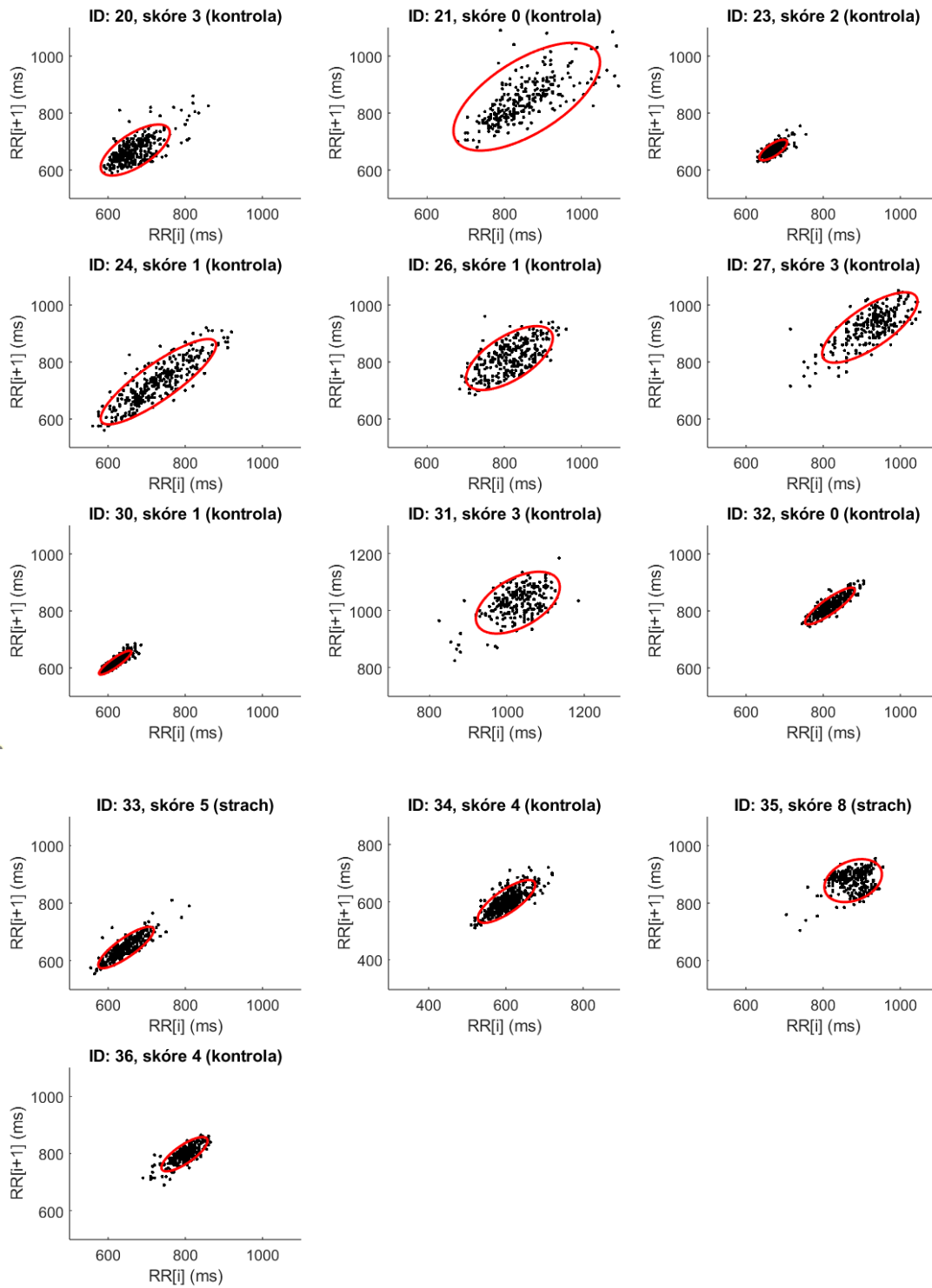
ID	CDA nSCR (-)			CDA AmpSum (µS)			CDA SCR (µS)			CDA PhamMax (µS)						
	B had	ČB had	B list	ČB list	B had	ČB had	B list	ČB list	B had	ČB had	B list	ČB list				
01	1,3	1,6	0,8	1,5	0,019	0,221	0,017	0,088	0,003	0,020	0,003	0,008	0,121	0,352	0,206	0,886
02	2,5	2,6	1,6	2,1	0,301	0,392	0,097	0,483	0,040	0,039	0,011	0,051	1,280	1,088	0,628	1,503
03	1,5	1,9	0,3	2,0	0,025	0,053	0,006	0,042	0,006	0,010	0,002	0,008	0,339	0,337	0,293	0,321
04	0,7	3,3	1,1	3,3	0,015	0,152	0,014	0,191	0,003	0,010	0,003	0,012	0,113	0,262	0,111	0,271
05	0,8	2,2	0,6	3,1	0,014	0,124	0,019	0,097	0,003	0,011	0,006	0,008	0,111	0,410	0,325	0,201
06	2,1	4,2	2,1	3,7	0,203	0,098	0,109	0,111	0,026	0,014	0,015	0,014	0,809	0,334	0,732	0,357
07	2,7	1,8	1,3	1,7	0,245	0,150	0,091	0,149	0,032	0,026	0,012	0,020	0,983	1,155	0,649	0,888
09	1,7	1,7	2,2	1,6	0,073	0,035	0,120	0,028	0,009	0,004	0,012	0,004	0,366	0,157	0,362	0,133
10	0,9	1,0	0,8	0,7	0,019	0,015	0,010	0,012	0,004	0,003	0,002	0,003	0,172	0,158	0,147	0,178
11	1,3	0,8	0,6	1,0	0,101	0,013	0,020	0,021	0,018	0,003	0,004	0,005	0,716	0,213	0,228	0,223
12	2,6	2,6	2,0	2,5	0,288	0,340	0,568	0,206	0,028	0,036	0,056	0,024	1,026	1,336	2,105	0,847
13	1,5	0,6	1,8	1,0	0,043	0,008	0,035	0,020	0,006	0,002	0,006	0,005	0,416	0,164	0,279	0,218
14	2,5	0,8	3,4	1,2	0,140	0,011	0,096	0,032	0,013	0,003	0,010	0,004	0,534	0,126	0,358	0,199
15	2,8	3,0	2,1	2,6	0,436	0,712	0,519	0,577	0,037	0,063	0,044	0,053	1,672	2,148	1,676	2,520
16	3,1	2,4	2,3	1,7	0,135	0,139	0,072	0,120	0,015	0,016	0,009	0,012	0,470	0,666	0,310	0,598
17	3,2	3,0	3,3	3,4	0,637	1,160	0,266	0,665	0,078	0,105	0,031	0,066	2,342	2,445	0,877	1,835
18	3,5	0,8	2,2	0,6	0,176	0,021	0,312	0,039	0,016	0,004	0,025	0,006	0,554	0,208	1,236	0,240
19	2,0	2,1	1,2	1,5	0,151	0,317	0,119	0,448	0,012	0,033	0,013	0,052	0,619	1,309	0,523	1,702
20	3,2	3,4	1,8	4,3	0,145	0,155	0,112	0,358	0,023	0,017	0,015	0,034	0,923	0,621	0,685	0,753
21	1,7	0,5	0,6	0,1	0,083	0,008	0,010	0,001	0,013	0,002	0,003	0,001	0,376	0,108	0,239	0,092
23	1,6	3,1	1,0	3,3	0,039	0,337	0,016	0,193	0,007	0,030	0,003	0,014	0,208	1,052	0,138	0,510
24	2,1	2,2	3,1	2,9	0,119	0,147	0,154	0,233	0,018	0,016	0,024	0,027	0,729	0,659	0,696	0,744
26	2,4	1,1	3,4	1,0	0,249	0,068	0,131	0,042	0,028	0,011	0,015	0,007	0,971	0,280	0,360	0,268
27	2,4	2,5	2,8	1,9	0,355	0,185	0,394	0,263	0,027	0,014	0,029	0,019	0,948	0,537	1,112	0,840
30	1,5	1,3	2,0	1,7	0,079	0,054	0,090	0,066	0,010	0,007	0,013	0,010	0,494	0,339	0,457	0,409
31	2,4	1,9	1,1	1,3	0,568	0,160	0,166	0,057	0,048	0,020	0,016	0,007	1,502	0,712	0,557	0,322
32	1,9	3,3	3,4	3,1	0,941	0,649	0,506	0,214	0,101	0,051	0,056	0,017	5,853	1,509	1,759	0,523
33	1,0	1,8	1,7	1,8	0,031	0,062	0,054	0,051	0,005	0,007	0,008	0,006	0,188	0,313	0,325	0,297
34	2,1	1,6	1,8	1,9	0,125	0,058	0,273	0,070	0,013	0,006	0,026	0,008	0,485	0,413	1,176	0,364
35	1,8	1,5	1,0	1,4	0,045	0,076	0,018	0,031	0,006	0,012	0,004	0,006	0,228	0,499	0,171	0,303
36	1,1	0	0,3	0,6	0,033	0	0,066	0,015	0,005	0,001	0,008	0,004	0,187	0,097	0,352	0,199

ID	Prům. RR interval (ms)			HRV SDNN (ms)			HRV RMSSD (ms)			HRV pNNS0 (%)					
	B had	ČB had	B list	ČB had	B list	ČB list	B had	ČB had	B list	B had	ČB had	B list	B had	ČB had	B list
01	697	705	688	29,8	29,4	29,3	30,1	23,3	28,0	24,7	30,2	4,1	4,1	5,4	11,3
02	881	944	914	54,8	65,6	57,5	81,9	66,1	75,5	65,5	85,1	50,9	50,9	50,9	56,9
03	626	614	619	18,3	19,8	22,5	15,7	15,7	15,9	14,7	12,4	2,3	2,3	0	0
04	821	778	810	54,4	56,9	51,8	50,4	54,8	57,3	53,7	50,0	30,4	30,4	34,4	33,8
05	764	807	771	24,0	44,7	22,6	32,9	23,8	27,1	24,7	26,6	4,7	8,1	4,5	4,8
06	795	801	802	59,4	44,4	61,3	37,0	53,8	40,7	62,0	38,4	20,0	19,0	26,2	15,0
07	893	849	871	38,8	35,4	59,5	40,3	33,9	32,4	41,4	38,7	17,5	10,0	24,1	18,6
09	600	596	591	24,4	14,6	23,0	17,5	17,3	13,4	17,3	12,7	2,3	1,1	2,2	0
10	739	734	746	29,8	26,8	38,6	25,2	24,4	21,4	27,7	21,1	4,3	2,9	7,4	1,4
11	623	665	633	21,8	15,6	22,1	19,2	18,2	11,7	13,4	12,6	1,2	0,0	1,2	0,0
12	728	719	726	51,2	56,3	46,0	59,4	35,8	43,9	26,9	41,4	16,7	16,7	4,2	12,2
13	789	770	796	119,4	42,5	95,7	109,7	156,6	34,0	130,2	136,6	9,4	8,7	9,5	17,6
14	728	734	736	23,9	24,9	27,3	28,5	24,7	21,1	21,7	23,1	7,2	1,4	2,9	2,9
15	765	740	741	41,8	46,4	56,4	44,6	32,6	30,5	50,1	33,2	7,5	8,6	18,6	11,4
16	531	533	526	31,6	20,0	25,1	20,1	19,9	19,7	20,3	13,9	2,0	2,9	1,9	1,0
17	956	912	961	57,5	65,6	59,8	50,6	49,7	48,9	40,8	40,9	26,9	29,6	13,7	18,2
18	771	793	769	42,6	31,5	54,3	28,9	26,5	27,4	35,1	31,5	3,1	9,4	16,2	11,9
19	753	713	759	52,4	35,0	32,2	45,7	25,2	26,9	23,2	30,8	6,0	2,8	4,5	8,5
20	667	656	667	45,2	43,0	34,4	52,8	33,0	36,7	35,0	39,6	11,3	13,9	15,4	19,2
21	869	876	848	76,0	97,0	92,7	87,4	73,0	79,8	69,5	88,1	35,6	33,3	35,0	47,5
23	675	675	671	21,7	21,6	15,2	14,5	15,7	16,4	14,9	13,0	0	1,3	0	0
24	714	760	757	73,8	53,7	69,6	55,4	61,1	43,6	46,7	54,0	20,5	21,7	25,0	24,2
26	822	797	811	57,3	47,7	54,0	43,0	52,6	47,8	49,5	44,1	30,2	33,8	33,9	33,3
27	917	887	904	55,2	32,5	78,8	43,9	39,6	40,9	66,6	45,0	25,5	28,1	41,1	30,9
30	617	608	615	21,2	14,1	20,6	21,0	11,6	10,7	10,5	12,4	1,2	0,0	0	1,2
31	1032	1049	1034	42,9	63,3	57,8	68,2	55,0	80,5	67,4	83,1	42,6	67,4	51,1	58,1
32	817	823	824	33,2	36,9	30,7	42,3	27,9	23,9	26,3	21,1	7,7	5,0	7,9	4,9
33	646	678	653	36,1	42,1	42,9	41,3	24,2	32,0	26,2	34,7	4,8	7,7	6,2	7,3
34	605	599	598	34,8	29,0	33,9	25,5	24,6	25,9	28,5	21,7	5,6	4,4	5,6	2,2
35	874	858	882	34,6	38,1	34,5	30,0	53,1	45,4	47,5	36,6	47,3	33,9	37,9	27,6
36	810	794	802	23,7	21,5	34,0	18,1	21,5	25,4	28,1	18,2	3,1	6,2	4,7	0

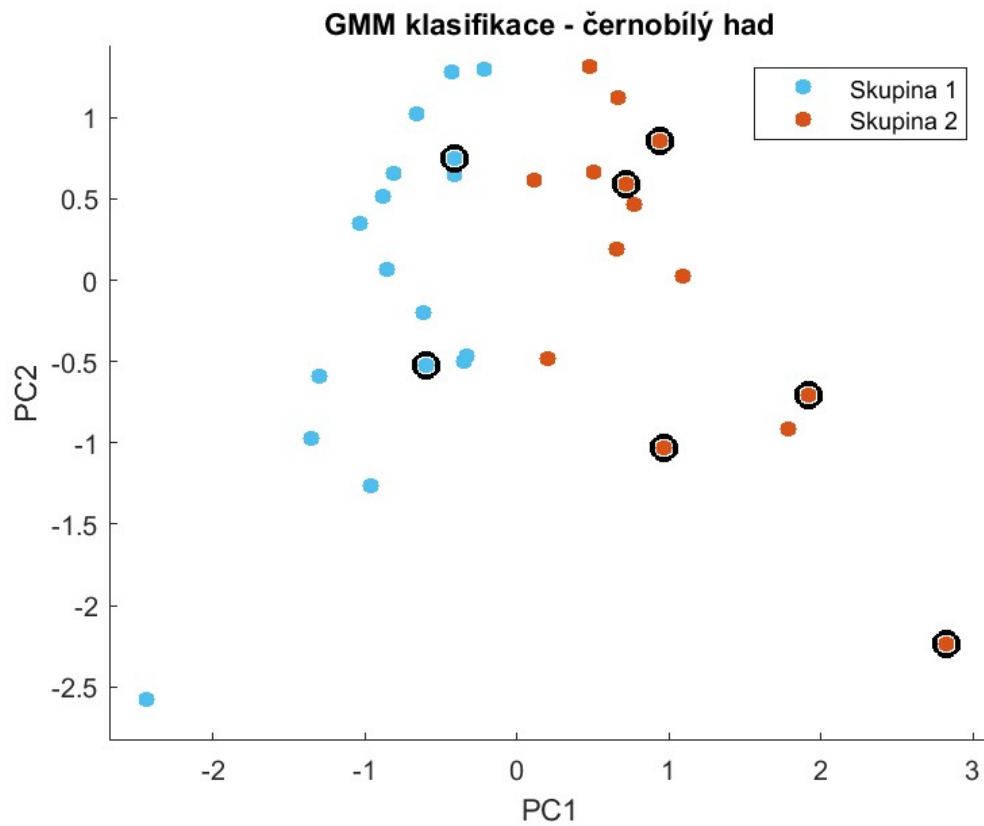
ID	HRV SDI (+)			HRV SD2 (-)			HRV SDI/SD2 (-)			HRV LF/HF (-)		
	B had	ČB had	B list	ČB had	B list	ČB list	B had	ČB had	B list	B had	ČB had	B list
01	16,5	19,8	17,5	36,8	37,1	36,5	0,43	0,54	0,47	0,60	1,15	1,19
02	46,7	53,4	46,3	76,7	66,6	99,5	0,75	0,70	0,69	0,32	0,74	0,59
03	11,1	11,2	10,4	25,7	30,3	20,5	0,48	0,44	0,34	1,17	1,24	2,13
04	38,7	40,5	38,0	70,2	62,6	62,0	0,60	0,58	0,61	0,52	0,45	0,63
05	16,8	19,1	17,4	59,4	27,1	42,7	0,57	0,32	0,64	1,78	9,09	1,08
06	38,0	28,8	43,8	55,7	74,5	44,9	0,51	0,52	0,59	1,69	2,47	0,87
07	24,0	22,9	29,2	43,7	79,0	49,9	0,50	0,52	0,37	1,38	1,20	2,06
09	12,2	9,5	12,2	18,3	30,4	23,2	0,38	0,52	0,40	0,53	0,48	0,83
10	17,3	15,1	19,6	35,0	51,0	32,2	0,45	0,43	0,38	2,59	1,39	2,14
11	12,8	8,3	9,4	20,5	29,5	25,2	0,46	0,40	0,32	1,45	2,81	1,76
12	25,3	31,1	19,0	73,7	61,1	79,3	0,37	0,42	0,31	3,15	1,52	3,19
13	110,6	24,0	92,0	55,5	100,4	120,9	0,95	0,43	0,92	0,40	1,42	0,56
14	17,5	14,9	15,3	31,0	35,5	37,1	0,60	0,48	0,43	0,71	1,34	1,50
15	23,0	21,5	35,4	59,4	71,8	59,0	0,42	0,36	0,49	2,29	2,05	1,25
16	14,1	13,9	14,4	24,6	32,6	26,7	0,33	0,57	0,44	2,39	0,44	0,73
17	35,1	34,6	28,8	86,4	80,0	63,8	0,48	0,40	0,36	1,67	2,83	2,42
18	18,8	19,4	24,8	40,4	73,0	33,1	0,33	0,48	0,34	1,13	2,16	2,12
19	17,8	19,0	16,4	43,4	41,9	61,1	0,25	0,44	0,39	3,65	1,83	1,54
20	23,3	26,0	24,7	55,1	42,1	68,4	0,39	0,47	0,59	2,01	0,47	0,47
21	51,6	56,4	49,2	125,5	122,4	106,0	0,54	0,45	0,40	0,51	0,90	2,06
23	11,1	11,6	10,6	28,3	18,7	18,3	0,39	0,41	0,56	2,25	2,45	0,83
24	43,2	30,8	33,0	68,1	93,4	68,6	0,45	0,45	0,35	2,54	2,11	2,97
26	37,2	33,8	35,0	58,6	68,3	52,3	0,51	0,58	0,51	0,80	0,77	0,98
27	27,9	28,9	47,0	35,5	101,6	53,9	0,39	0,82	0,46	0,60	0,33	0,53
30	8,2	7,5	7,4	18,6	27,8	28,5	0,28	0,41	0,27	1,77	1,63	1,85
31	38,9	56,9	47,7	67,9	66,9	77,5	0,84	0,84	0,71	0,52	0,67	0,64
32	19,7	16,8	18,6	48,2	39,1	56,3	0,46	0,35	0,47	1,15	1,37	1,10
33	17,1	22,6	18,5	53,3	57,9	53,2	0,36	0,42	0,32	3,51	1,67	3,04
34	17,4	18,3	20,2	45,7	43,7	32,8	0,38	0,51	0,46	1,55	0,61	0,85
35	37,6	32,1	33,6	31,0	43,7	31,5	1,21	0,74	0,94	0,59	0,43	0,53
36	15,2	18,0	19,9	24,6	43,8	22,3	0,51	0,73	0,45	1,92	1,41	2,55

D) Poincaré plot pro barevnou verzi prezentace



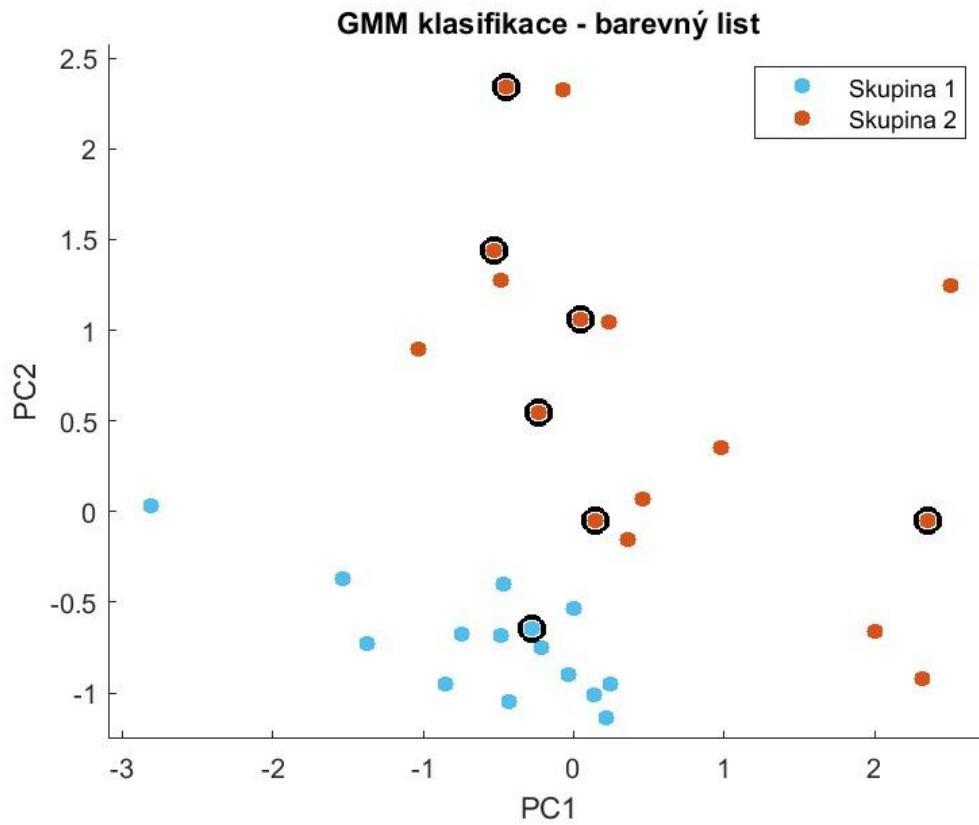


E) Výsledky GMM klasifikace



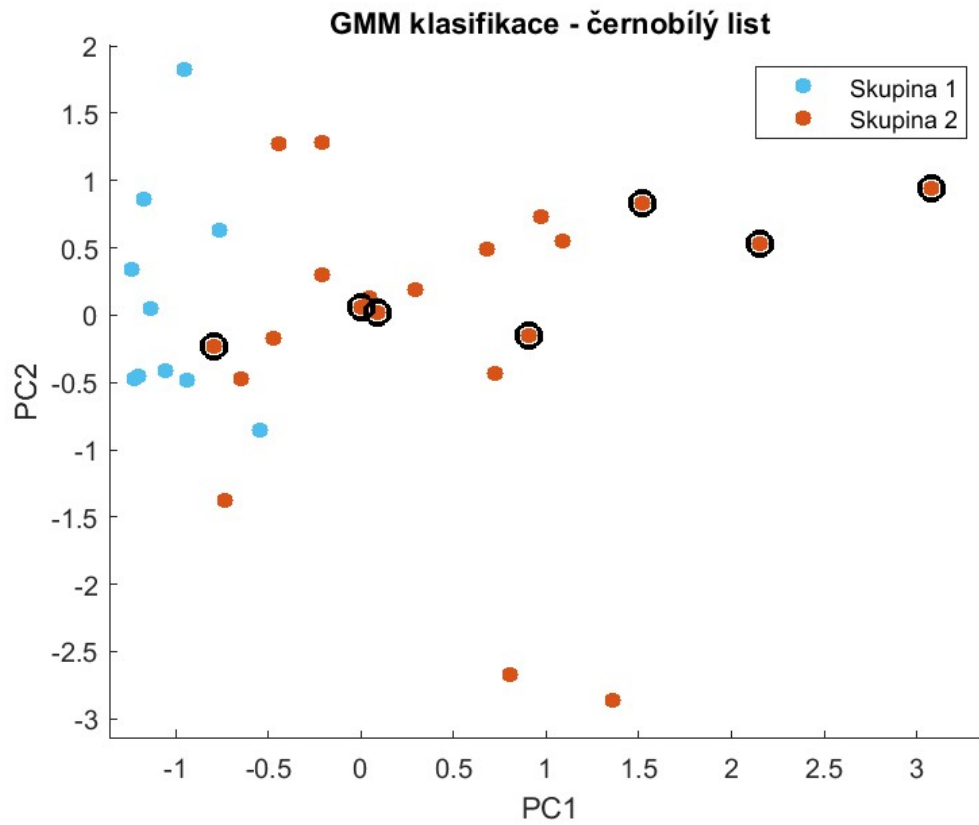
Matice záměn GMM klasifikace pro typ stimulu černobílý had

		Rozdělení dle GMM	
		Skupina 1 (kontrola)	Skupina 2 (strach)
Rozdělení dle dotazníku	Skupina se strachem	15	9
	Kontrolní skupina	2	5



Matice záměn GMM klasifikace pro typ stimulu barevný list

		Rozdělení dle GMM	
		Skupina 1 (kontrola)	Skupina 2 (strach)
Rozdělení dle dotazníku	Skupina se strachem	14	10
	Kontrolní skupina	1	6



Matice záměn GMM klasifikace pro typ stimulu černobílý list

		Rozdělení dle GMM	
		Skupina 1 (kontrola)	Skupina 2 (strach)
Rozdělení dle dotazníku	Skupina se strachem	10	14
	Kontrolní skupina	0	7