



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra pedagogiky a psychologie

Bakalářská práce

NEUROPSYCHOLOGICKÉ KORELÁTY EMOCÍ

THE NEUROPSYCHOLOGICAL CORRELATES OF EMOTIONS

Vypracoval: Michael Tesař
Vedoucí práce: prof. PaedDr. Iva Stuchlíková, CSc.

České Budějovice 2014

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě, archivovaných Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce.

Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce.

Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

Podpis

Abstrakt práce

Název práce: Neuropsychologické koreláty emocí

Autor práce: Michael Tesař

Vedoucí práce: prof. PaedDr. Iva Stuchlíková, CSc.

Počet stran: 73

Počet zdrojů: 64

Abstrakt: Tato bakalářská práce se zabývá lokalizací a procesem zpracování emocí u vizuální emočních stimulů IAPS. Metodologicky se práce opírá o analýzu a zpracování EEG dat a neparametrické metody Kruskal-Wallis ANOVA, Wilcoxonův t-test. Výsledky potvrzují teorie hemisférických asymetrií, přičemž byla nově zjištěna lokalizace neutrálních emocí v levé frontální alfa EEG asymetrii, o které se autoři těchto výzkumů detailně nezmiňují. Proces zpracování emocí ukazuje, že při komplexní afektivní odezvě nelze signifikantně odlišit pozitivní a negativní emoční odezvu, naopak největší statistické rozlišení těchto emocí bylo nalezeno v prvotní automatické afektivní odezvě. Přínosem práce je poskytnutí teoretické základny pro výzkumy frontálních EEG asymetrií a emocí, nastínění lokalizace neutrálních emocí ve frontálním kortexu a popsání jednotlivých fází afektivní odezvy při reakci na vizuální stimulaci.

Klíčová slova: frontální hemisférické asymetrie, alfa rytmy, EEG, lokalizace, valence, emoce

Abstract of the thesis

Title: The neuropsychological correlates of emotions

Author: Michael Tesař

Supervisor: prof. PaedDr. Iva Stuchlíková, CSc.

Number of pages: 73

Number of references: 64

Abstract: The presented thesis deals with localization of emotions and its processing according to visual emotional stimuli from IAPS. It uses EEG analysis and non-parametric statistics – Kruskal-Wallis ANOVA, Wilcoxon's t-test. Results confirm hemispherical asymmetry theories and it was found a new localization of the neutral emotion in the left frontal alpha EEG asymmetry, which is not clearly described by other authors. Processing of emotions shows that complex affective reaction of positive and negative emotions is not significantly resolved; reversely the biggest resolving is the first processing time exposition – automatic affective reaction. Acquisitions of the thesis are providing crucial theoretical knowledge for further EEG and emotion research, describing localization of the neutral emotions in the frontal cortex and processing of emotions in affective reaction to visual stimulation.

Key words: frontal hemispherical asymmetry, alpha rhythm, EEG, localization, valence, emotions

Poděkování

Děkuji své vedoucí práce, prof. Ivě Stuchlíkové, za akademickou podporu a profesní nasměrování, Dr. Michalu Vavrečkovi za konzultace a lidský přístup v technických oblastech neuropsychologie a výzkumná data.

Obsah

I. Úvod do teoretické části	8
Teoretická část	9
1 Definice emocí.....	10
1.1 Lexikum emocí	10
1.2 Obecná východiska emocí	10
1.3 Charakteristika emocí	11
1.4 Komponenty emocí	13
2 Teoretická východiska emocí.....	15
2.1 Diferenciace terminologie	16
2.2 Významné teorie emocí	16
3 Neuroanatomické koreláty emocí	21
3.1 Emoční mozkové struktury	21
3.1.1 Přední cingulární kortex (ACC)	22
3.1.2 Stria terminalis	22
3.1.3 Frontální kortex.....	23
3.1.4 Corpus calosum	23
3.1.5 Hypothalamus a corpus mammilare	24
3.1.6 Hipokampus.....	24
3.1.7 Thalamus.....	25
3.1.8 Bulbus olfactorius	25
3.2 Amygdala	25
3.3 Limbický systém.....	26
3.3.1 Definice limbického systému.....	26
3.3.2 Neuronální struktury	27
4 Neurotransmise signálu.....	28
4.1 Elektrický náboj neuronu	28
4.2 Nervová vlákna.....	29
4.3 Šíření akčních potenciálů.....	29
5 Cirkumplexní model emocí.....	31
5.1 Arousal a valence	31
5.1.1 Pozitivní a negativní emoce	32
5.2 IAPS (International affective picture system).....	33
6 Teorie hemisférických asymetrií	34
6.1 Frontální EEG hemisférická asymetrie	34
6.2 Hemisférické asymetrie jako bio-markery depresivity	37

6.3	Hemisférické specializace a aktivace.....	38
6.4	Genetické a environmentální vlivy na frontální asymetrie.....	39
7	Elektroencefalografie	41
7.1	Event-related potenciál	41
7.2	Komparace encefalografie a jiných zobrazovacích metod.....	42
7.3	Obecná funkcionality elektroencefalografie.....	43
7.4	Postup měření EEG.....	43
	Praktická část.....	45
II.	Úvod do praktické části.....	46
8	Výzkumný problém.....	47
9	Hypotézy	48
10	Experimentální design	49
10.1	Vzorek	49
10.2	Průběh experimentu.....	49
10.3	Zpracování a kvantifikace EEG	50
11	Analýza dat.....	52
11.1	Kruskal-Wallis ANOVA	52
11.2	Wilcoxonův t-test	53
11.3	Softwarové zpracování EEG dat.....	53
11.3.1	EEGLAB	53
12	Výsledky	54
12.1	Vizualizace dat.....	56
13	Diskuze	57
14	Závěr	60
IV.	Souhrn.....	61
V.	Reference	64
VI.	Přílohy	73

I. Úvod do teoretické části

Stále častěji se v psychologii hovoří o neurokognitivních vědách, a jak se zdá tento obor zažívá svůj vzestup akademické popularity. Jedná se o mezioborovou disciplínu psychologie s přesahem do filozofie, lékařství, fyziky, informatiky a dalších. Díky své komplexní teoretické základně se tento obor může velmi efektivně vyjadřovat k diskutovaným fenoménům v psychologii s jistým specifickým pohledem. Zdá se, že tento směr vnáší do psychologie mnoho zajímavých poznatků o emocích či kognici stejně jako o neuronálních strukturách z hlediska lokalizace a vzájemného propojení struktur (Kulišťák, 2003). Tyto poznatky se mnohdy stávají základem konkrétních teorií.

Je velmi fascinující sledovat projevy něčeho tak složitého, jako je lidský mozek, v reálném čase. Emoce jsou dlouho řešeným problémem psychologie, je zřejmé, že je nesmírně složité je akademicky uchopit, popsat a rozdělit. V poslední době je možné monitorovat aktivitu mozku při odezvě emocí a zkoumat, co se při zpracování emocí děje. Nejde pouze o limbický systém, ale o řadu dalších neuronálních oblastí spolu v kooperaci s mnoha různými faktory během zpracovávání emočních stimulů. Je tedy také zřejmé, že tento relativně nový typ výzkumu je velmi nadějnou metodou psychologie, jež by mohla definovat některé zatím sporné fenomény.

Cílem bakalářské práce je popsání výše zmiňovaných neuropsychologických korelátů spolu v kongruenci s praktickou částí, jež je zaměřená na experimentální zkoumání neuronálních struktur a jejich lokalizaci ve vztahu k emocím za pomoci elektroencefalografie. Zajímá se především o lokalizaci emoční odezvy u pozitivních a negativních emocí, ale také o proces zpracování těchto emocí v rámci frontálních alfa EEG asymetrií.

Teoretická část

1 Definice emocí

1.1 Lexikum emocí

Vzhledem ke komplexnosti emocí je jejich definice velmi obtížným aktem. Není pak překvapením, že se emoce vztahují k filozofickému fenoménu *qualia*. Tedy, že objekt je ryze subjektivní povahy, a to natolik, že z podstaty věci není možné jej verbálně reprodukovat. Lidé zpravidla ví, co to emoce jsou, byť nereflektují rozdíly mezi citem, emocí, pocitem či náladou (Nakonečný, 2013).

V čistě lexikální rovině lze emoce vnímat velmi široce. Například Hartl a Hartlová (2009) emoce definují jako fenomén širší než-li cit s dvouúrovňovým schématem libosti a nelibosti. Zároveň dodávají, že emoce jsou doprovázeny jistými fyziologickými reakcemi.

Naproti tomu Soanes a Stevenson (2005) popisují spíše dobu, ke které se emoce vztahují. Hovoří tedy o silném zážitku vycházejícím z dané zkušenosti, nálady nebo vztahu s jinou osobou. Dále pak zabíhají do podrobností vzniku slova emoce, jako původně latinského *emovere* s významem pohyb ven, tedy s odkazem na jakousi dynamiku či expresi. Fenomén emoce se následně znovu objevil až v 16. stol. ve francouzské verzi *émotion* s takřka identickým významem.

Klimeš (2005) se odkazuje na velmi obecnou definici, a sice na knižní obrat a odborný pojem zároveň. Definuje je jako duševní pohnutku. Dále uvádí, že se jedná o excitovaný stav.

1.2 Obecná východiska emocí

Jak se zdá, lexikální rovina není schopna poskytnout ucelený pohled na problematiku emocí. Vnímá emoce velmi povrchně a pochopitelně je nepopisuje do hloubky, neboť se v zásadě zajímá o prostý význam slova. Zároveň ani jedna z definic neposkytuje uspokojivé zhodnocení dosavadních akademických znalostí o emocích.

Emoce a pocity jsou napříč lidskými generacemi majoritním tématem. Není tedy divu, že se pokusy o teorie či definice objevují již v rané historii. Tak například Aristoteles ve 3. stol. vnímal jakousi univerzalitu a transferenci emocí. Definoval lásku jako

kompozici jedné duše do dvou těl. Patrně tedy předpokládal, že jsou emoce nějakým způsobem podobné a že je možné mezi jednotlivými subjekty tyto emoce přenášet a variovat.

Z dalších autorů se o emocích velmi často vyjadřoval Shakespeare, který v nich naopak viděl jistou míru komplementarity. Všiml si totiž doplnění jedné emoce druhou, či výskytu jedné emoce u druhé a dokládal to tím, že nesnášíme takové věci, kterých se obáváme (Shakespeare, 2005).

Autor divadelních her Racine přisuzuje lásce rozpor afektivity a racia, což v běžných definicích nezaznívá. Život či žití obecně chápe jako komedii u osob, jež pouze přemýšlejí, u lidí, kteří vše intenzivně prožívají očekává takřka opačné emoce (Racine, 1990). Dnes má psychologie teorie o kognitivním zhodnocení Lazaruse a dalších, ale mezi klasiky tyto prvky přinesl již například Dostojevskij, u nějž bolest a utrpení je samozřejmá pro osoby s hlubokým a moudrým srdcem. Právě u takových osob očekává, dle jeho slov, největší smutek světa (Dostojevskij, 2007).

Darwin doplňuje fyziologické reakce u emocí s tím, že červenání, jak se podle něj zdá, je nejpodivnější a nejvýraznější projev ze všech (Darwin, 1965).

Tolstoj na druhou stranu poskytuje relativně individualistický přístup, a to tak, že chce-li být člověk šťastný, má být. Jakoby se snažil ukázat i na individuální schopnost lidí regulovat své emoce (Tolstoj, 2012).

1.3 Charakteristika emocí

Emoce nemají jednotné pojetí a velmi často se hovoří sporně o funkcích emocí. Anochin (1968) nabízí velmi přijatelnou neurobiologickou teorii. Emoce vidí ve světle bio-markerů, tedy jako biologický evaluační mechanismus. Rozděluje informace na biologicky užitečné a neužitečné.

Nakonečný (2013) dodává, že nynější mechanismus užitečného - příjemného a neužitečného - nepříjemného je již překonán, neboť se ví, že i něco pro člověka příjemného mu může v zásadě škodit, tedy ztrácí smysl emoce dělit na užitečné a neužitečné. Signální charakter si však emoce uchovaly stále. Tedy, že vyjadřují jistou hodnotu směrem k objektu a určují subjektivní charakter onoho objektu.

Co je však jisté je to, že emoce mají svůj vztah k jiným fenoménům, popřípadě existuje vztah i mezi jednotlivými emocemi navzájem. Proto lze definovat jejich charakteristiky:

- 1) **Podněcující a utlumující účinky na organismus** - kromě tradičních psychologických studií již Kant rozlišoval emoce na silné a slabé. Je zřejmé, že některé z emocí člověka aktivizují - radost a některé činí opak - smutek. S tímto velmi úzce souvisí selektivita stimulů a současně i subjektivní význam pro každého daného jedince ve vztahu k objektu.
- 2) **Celistvost emoční reakce** - emoce jsou komplexním fenoménem, a proto i jejich reakce je téhož charakteru. Zahrnuje zážitek - cit, fyziologickou odezvu a viscerální odezvu.
- 3) **Dimenze emocí** - emoce lze rozlišovat na dvě rozdílné a na sobě nezávislé dimenze dle jejich valence - příjemné, nepříjemné a dle intenzity - aktivizující, deaktivizující.
- 4) **Součinitel motivace a učení** - vzhledem k tomu, že emoce mají vztah takřka ke všem psychickým procesům, podílí se na mnohém v lidském životě. K motivaci mají ovšem zvláštní vztah. Vznik, udržení i uspokojování potřeb je doprovázeno silnými emočními podněty a jsou to právě emoce, které udržují motivaci.
- 5) **Psychosomatika** - emoce jsou ve velmi úzkém vztahu k fyziologii člověka, nejen k mozku. V emocích se zračí i aktuální fyziologický stav organismu jako hlad, žízeň, únava, případně i fyziologický stav vyvolaný organickým poškozením nervových struktur. Jednou z diagnostických kategorií Mezinárodní klasifikace nemocí jsou právě psychosomatické duševní poruchy (Nakonečný, 2013).

Emoce mají mimo jiné velmi úzký vztah také k myšlení, byť se emoce velmi často (především pak v laické veřejnosti) označují za cosi nevhodného a iracionálního. Je ovšem známo, že silné afektivní epizody jsou v inkongruenci s myšlením. Například v silném

emočním zážitku se naruší logické myšlení i jiné kognitivní schopnosti. Na druhou stranu právě city mohou mít formující účinky na myšlení při tvořivosti (Nakonečný, 2013).

Specifickým příkladem vztahu myšlení a emocí jsou somatické markery, taktéž označovány germánsky mluvícími národy za *Bauchdenken* (Nakonečný, 2013).

Koukolík (2012) definuje dle Damasia a jeho kolegů SMH (*somatic marker hypothesis*) jako proces rozhodování, který je do značné míry v interakci se speciálními signály - markery. Neuronální mapy především oblastí ventromediální prefrontální kůry, amygdaly a somatosenzorického kortexu vytvářejí tyto markery v rámci homeostatických dějů. Následně se jim přiřazují určité emoce a pocity. Damasio (1996) dodává, že se jedná o vědomé a nevědomé markery, které se převážně v kortexu zvědomují.

1.4 Komponenty emocí

Scherer (2005) definuje emoce v rámci jejich relativně závislých komponent, respektive uvádí pět základních prvků, které vyvrací marginální teorie o tom, že emoce jsou pouze psychologickým konstruktem.

Obecně se Schererova teorie považuje za lehce kontroverzní, neboť obsahuje velkou dávku kognitivního kontextu. V psychologii totiž existoval od konce 19. stol. trend definovat emoce bez kognice.

- 1) **Preference** - relativně stabilní evaluační systém libosti a nelibosti stimulu, popřípadě preference jednoho stimulu před druhým. Preference dle Scherera není nic jiného než přisouzení stimulu atraktivní nebo averzivní charakter, a to i v momentě, kdy ke stimulu ještě nedošlo.
- 2) **Postoje** - relativně konzistentní předpoklady a predispozice vůči nadcházejícímu stimulu. Sociální psychologie přitom definuje tři základní typy postojů, a sice a) kognitivní (předpověď postoje ke stimulu), b) afektivní (zahrnující informaci o valenci stimulu) a c) motivační či behaviorální (stabilní tendence jednat určitým způsobem nebo k jednání směřovat).
- 3) **Nálada** - často se v psychologii emocí uvažuje nad emocemi a náladou jako nad oddělenými entitami. Je ovšem pravda, že nálada je nadstavba emoce. Ukazuje

se ovšem, že se nálada může objevit bez souvislosti k nějakému stimulu. Obvykle má nálada nízkou intenzitu, ale trvá déle než-li emoce v rozmezí od hodin po několik dní.

- 4) **Afektivní dispozice** - většina stabilních osobností má relativně stabilní afektivní odezvu. Tato komponenta zohledňuje dispozici emočně reagovat na konkrétní emoční stimuly. Afektivní dispozice se zrcadí i v psychopatologii, například v podobě predispozice k depresivitě či anxiety.
- 5) **Interpersonální postoje** - tato kategorie je velmi úzce spjata s charakteristikou afektivních stylů, tedy jakým způsobem se zpracovávají stimuly mezi jedinci. Některé události mohou spustit tyto postoje, například je-li jedinec ohrožen, bude se vyskytovat defenzivní, agresivní či zlostné chování s kongruentní emoční odezvou (Scherer, 2005).

2 Teoretická východiska emocí

Komplikovanost definice emocí vybízí spíše k hledání jednotlivých východisek či složek emocí, než k jejich všepostihující definici. Nakonečný (2013) vidí emoce pod optikou v různých úhlech pohledu, o nichž v souvislosti s nimi hovoří. Popisuje několik základních modelů. 1) Mentální model s danou fyziologickou odezvou. Nebo 2) excitovaný stav myslí s chováním, které je pevně zaměřeno, dále 3) aktivizovaný stav organismu za kooperace autonomní nervové soustavy. Psychoanalyticky o emocích mluví v kontextu 4) dynamického projevu instinktu. Pak spatřuje emoce jako 5) dezorganizovanou reakci organismu na konkrétní stimul a konečně jako 6) samotnou aktivitu autonomního nervového systému.

Naproti tomu se k emocím vyjadřuje Stuchlíková (2007) a upozorňuje na to, že je vhodnější hovořit o složkách emocí než o jejich definici a kontextu. K obecnosti určuje společného jmenovatele mnohých definic adjektivně jako proměnlivé a citlivé fenomény. Ke složkám emocí dodává, že obsahují:

- 1) **Subjektivní prožitek** a to jak na bázi *atributované* afektivity - libé a nelibé, tak na bázi kognitivního zhodnocení, tedy na usouzený význam kontextu a případné zvládací mechanismy.
- 2) **Fyziologická odezva**, kdy dochází k řadě neuro-endokrinním procesům.
- 3) **Emoční výraz** – formou specifické fyziologické reakce.
- 4) **Iniciace k aktivitě** - aktivace k určitému jednání a řešení situace s úzkou vazbou k motivaci (Stuchlíková, 2007).

V anglosaských zemích se následně o emocích uvažuje jako o výčtu konkrétních emočních projevů - láska, nenávisť, štěstí, smutek, strach, úzkost a další (Bear, 2007).

Tento trend se částečně vyskytuje v nové vlně vědeckého realismu v Německu u autorů zabývajících se definicí emocí a jejich psychologické a metafyzické podstaty. Scherer (2005) opět označuje emoce za velmi problematický a nejasný koncept. Ukazuje nesrovnalosti v terminologii a problémy s asimilací pojmů emocí a pocitu, kdy je přesvědčen, podobně jako Damasio, že emoce jsou prvky pocitu a současně jim předchází.

Obtížnost definice dokládá taktéž na tom, že již první pokus o ucelenou teorii emocí poskytl James v roce 1884, od té doby má psychologie k dispozici řadu významných teorií emocí, ale žádná z nich patrně neukazuje na reálný obraz pojmu (Scherer, 2005).

Na Schererovu práci navazuje jeho kolega Reisenzein (2007) s tím, že shledává celý koncept definování vědou za chybný, ukazuje se totiž, že čistě metateoreticky se zkoumá buď 1) konsenzus teoretických a empirických poznatků o emocích, kdy se psychologie vědecky snaží o jejich celistvé propojení a nebo 2) nominální definice jednotlivých prvků emocí, tedy samotných emočních tříd jako jsou radost, smutek, hněv a další. Reinsenzein nesouhlasí v podstatě s žádným konceptem, byť nemá konkrétní představu o dalším vývoji definice, upozorňuje však na to, že je třeba definovat realističtěji (Reisenzein, 2007).

2.1 Diferenciace terminologie

Jak již bylo řečeno výše, existují různé koncepty emocí, a tak není divu, že ani terminologie není jednotná. Obecně se však považuje zmiňovaný Damasiův (2001) koncept za přijatelný.

Damasio definuje **emoce** jako hněv, radost, pýchu či štěstí jako kooperaci neuronálních a endokrinních odpovědí mozku na emočně kompetentní stimul. Taková reakce může být jak vědomá, tak nevědomá, neboť se domnívá, že v reakcích je zakořeněn silný automatismus. Toto je způsobeno evolučním principem, jež vychází z fylogenetické podstaty lidského druhu (Damasio, 2001).

Rozlišuje kromě emocí i fenomén **pocitů**, který spatřuje jako mentální reprezentaci fyziologických změn. Z hlediska neuropsychologie se pocity nadřazují emocím, neboť jim předcházejí do doby, než jsou mentálně zpracovány (Damasio, 2001).

2.2 Významné teorie emocí

Pokusy o definici emocí lze nalézt již u antických myslitelů, včetně Galéna či Aristotela. Ovšem první teorie, jež se stává východiskem pro dnešní zkoumání především primárních emocí, je založena na práci Charlese Darwina z roku 1872 (Nakonečný, 2013).

Lange a později James jsou považováni za autory *Langeho-Jamesovy viscerální teorie emocí*, jež je založena na činnosti vnitřních orgánů (Koukolík, 2012). James pak

ve svém díle prohlašuje, že dojde-li k odstranění fyziologických doprovodných reakcí organismu, nezbude z prožitku vlastně vůbec nic (James, 1983).

V *Cannon-Bardově thalamické teorii emocí*, jež pochází z roku 1929, došlo ke spojení tehdejších nových poznatků o mozku, především diencephalonu¹ (Koukolík, 2012). Sám Cannon pak ostře kritizoval Langeho a Jamese, šlo mu především o to, že viscerální reakce nejsou schopny rychle aktivizovat organismus, ergo nejsou dost rychlé na to, aby řídily emoce. Po separaci viscerálních oblastí od CNS (centrální nervový systém) nedošlo k žádným behaviorálním změnám u nižších živočichů (Stuchlíková, 2007). MacLean následně dopracoval tuto teorii a zapracoval do ní lokalizační schéma limbického systému (Koukolík, 2012).

Samotná *limbická teorie* však vychází z neuroanatomických teorií emocí. Tyto teorie popisovaly zejména specializace mammalia² v rámci vyvinutého neokortexu. Ve srovnání u vertebrata³ je vyvinuta pouze oblast původního kortexu. Díky tomu jsou lidé ale i haplorhini⁴ schopni vyšší kognitivní činnosti jako je myšlení, paměť nebo řešení nově vzniklých problémů (Koukolík, 2012).

Všechny tyto schopnosti jsou úzce vázány právě na neokortikální struktury. Zmiňované původní korové oblasti mozku se pochopitelně vztahují spíše k vývojově starším schopnostem. Spolu s šedou hmotou kortexu tvoří limbický systém, u něž je predikováno, že se stává emočním mozkiem, tedy centrem veškerých emocí. Tento fakt je dodnes paradigmaticky přijímán a je jedním z podílů na vědecké stereotypii. Tento jinak simplexní model emoční lokalizace zastává chybné představy o tom, že limbický systém jsou doslova ony emoce. Také, že kognitivní projevy jsou součástí aktivity neokortexu. Naopak, emoce jsou projevem nižších podkorových oblastí. MacLean však předpokládal, že stěžejní strukturou je hipokampus, respektive že právě v hipokampu dochází k propojení

¹ Mozková struktura, jejíž největší částí je thalamus (Hendelman, 2006).

² Savci; živočich z třídy savců tzn. i člověk, typicky krmí potomky mlékem a jejich tělo bývá pokryto srstí (Hartl & Hartlová, 2009).

³ Třída obratlovců (Klimeš, 2005).

⁴ Třída vyšších primátů, například člověk, gorila, vřešťan (Hendelman, 2006).

vnitřních a vnějších podnětů ke vzniku emocí. Záhy se však ukázalo, že oboustranné poškození hipokampu vede k poruše ukládání paměťových stop (LeDoux, 2003).

Jednou z významných teorií je souhrn *neuro-biologických teorií*, které popsal Pribram v roce 1981. Hovoří přitom o tom, že na syntéze a prožitku emocí se podílejí některé anatomické struktury. Měl na mysli především oblasti truncus cerebri, která by měla rozlišovat signály s emočním obsahem. Limbický systém a bazální ganglia by pak měli mít citovou a efektivní dimenzi, respektive měli by umět efektivně připojit odpovídající emoční obsah nějakému podnětu a zpětně na něj i odpovídajícím způsobem zareagovat (Koukolík, 2012).

Do zajímavého sporu se později dostali Zajonc a Lazarus při akademickém souboji o prvenství emoce či kognice v emočním procesu. Lazarus zpracoval roku 1966 teorii *kognitivního zhodnocení*, která je založena na duálním zpracování. Nejprve si jedinec všimá valence emocí ve vztahu ke svému bytí, zda je ohrožen, zda se cítí dobře apod. Je zřejmé, že negativní emoce vycházejí apriori z negativních aktů - omezení jedince, vystavení jej nebezpečí, tedy pozitivní emoce z pozitivních událostí jako je satisfakce po vynaloženém úsilí nebo dosažení cíle. Na tuto první část nasedají velmi často zvládací mechanismy, dle Lazaruse zejména racionalizace a vytěsnění. Dodává také, že vyústěním celého zpracování může být úteková reakce (Lazarus, 1991).

Při druhotném zhodnocení jedinec zvažuje všechny dostupné alternativy pro dosažení cíle, popřípadě averzi negativních konsekvencí. Zaměřuje se na problém a snaží se nalézt jeho adekvátní řešení. V této fázi se syntetizují konkrétní emoce, které dodávají původním emocím směr, zpřesňují je (Nakonečný, 2013).

Lazarus odpůrcům teorie nabídnul i několik příkladů, jedním z nich byl experiment s antropologickým filmem - krátký snímek domorodých kmenů při přijímání chlapců za muže, kdy jim byla prováděna cirkumcize⁵. Snímek byl bohatý na scény s krví. První výzkumná skupina neměla k dispozici mluvenou stopu, jež komentovala záznam. Další skupina tuto stopu měla a byla zdůrazněna bolest chlapců při rituálu. Třetí skupině se komentář snažil zlehčit utrpení chlapců. A v poslední čtvrté skupině byly přítomny doslova racionalizační mechanismy o významu rituálů. Měření probíhalo paralelně - tepová

⁵ Mužská obřízka.

frekvence a galvanický odpor pokožky. Výsledky byly signifikantní pro skupinu, která byla exponována komentáři se zdůraznění bolesti chlapců (Plháková, 2004).

Kritika Lazarusovy teorie na sebe nenechala dlouho čekat, zhostil se jí Zajonc, který argumentoval tím, že kognitivní informace nutně nevede k emoci. Bystře zdůraznil fylogenetické prvenství emocí a následný rozvoj kognice. Ukázal příkladně na to, že i nižší živočichové se obávají predátora, aniž by současně používaly složité kognitivní operace. To, že jedinec ví, jakou prožívá emoci, ho vede k utvoření názoru, nikoli naopak. Tato argumentace na několik let uvrhla tyto dva autory do ostré diskuze (Nakonečný, 2013).

Další výzkumy cerebrálních korelátů emocí však dávají za pravdu oběma. Fylogeneticky starší oblasti mozku totiž mohou fungovat zcela autonomně, stejně jako oblasti neokortexu, s nimiž je spojena lokalizace zejména kognitivních procesů. Shrnutím recentních poznatků lze pak konstatovat, že emoce mohou vznikat bez podílu kognice, ale právě fyziologická odezva s kognitivním zhodnocením utváří jakousi komplexní emoční odezvu (Nakonečný, 2013).

Neméně významnou hypotézou je *atribuční teorie* Weinerja, jež zohledňuje součinnost emocí a kognice ve smyslu atribuování významu emocí. Dle Weinerja (1980) stojí za vznikem emoce pouhá valence, tedy buď je emoce pozitivního nebo negativního charakteru. Následná atribuce udává emocím směr, buď je zpřesní, nebo je zcela rekonstruuje do jiné podoby. Stává se to ve chvíli, kdy jedinec přemýšlí nad tím, co cítí a co se mu vlastně stalo. Weiner ovšem upozorňuje, že toto se týká zejména osob, které jsou schopny vhledu, tedy pokud si osoby přisoudí vlastní podíl na jejich negativní emoci, mohou pociťovat zahanbení.

Specifickou třídu tvoří *evoluční teorie*, které získávají značnou vědeckou popularitu. Komplexní teorii z evolučního pohledu nabízí například Plutchik. Nejprve ukazuje na to, že lidé, stejně jako haplorhini, musí řešit instinktivní záležitosti, jakými jsou obživa, reprodukce, potřeba afiliace a další. Organismus by se stal rychle zahlcený těmito potřebami na úkor jiných, a proto se vyvinul evaluační mechanismus, který těmto podmínkám přiřazuje svou důležitost a směřuje k jejich saturaci. Tvrdí, že existuje osm základních a univerzálních emocí, které obsahují afektivní, kognitivní a behaviorální projev. Naznačuje také obecné schéma, které začíná stimulem, následuje poznatkem

organismu o charakteru stimulu, následkem čehož vzniká u jedince cit. Tento cit je transformován do specifického projevu chování jako prostředek k dosažení žádoucího cíle (Koukolík, 2012).

3 Neuroanatomické koreláty emocí

3.1 Emoční mozkové struktury

Přestože vnímáme emoce jako jakýsi vnější projev, jedná se především o interní proces zpracování informací a přiřazení určité odezvy. I když emoce neregistrujeme, jsou vytvářeny takřka neustále a mají svá konkrétní centra (Carter & Frith, 2010).

Mozek je velmi obecně zkoumán z několika různých perspektiv v souvislosti s tím, na jaké úrovni detailu se struktury zkoumají.

Na rovině **genů** - spíše nežli neurologická doména je toto doména genomická. Jedná se především o otázky dědičnosti a prostředí, co je ovšem pozoruhodné je to, že lidský genom není patrně zdaleka tak rozsáhlý, jak se věřilo. Dle posledních výsledků se počítá s 23 tisíci genů (Koukolík, 2012).

Molekuly - zejména v rámci přepisu informací. Důležitou roli nervových struktur hraje samotná neurotransmise, struktura přenosu a synapse (Koukolík, 2012).

Organely - zkoumají se jednotlivé struktury, které se nacházejí v samotných nervových či jiných buňkách. Díky moderní vědě je možná 3D projekce těchto oblastí, což pochopitelně umožňuje nový způsob jejich zkoumání (Koukolík, 2012).

Transmise - velmi zjednodušeně řečeno jde o způsob, jakým je nervový vzruch přenášen (Koukolík, 2012).

Jednotlivé prvky neuronu - opět zde dochází k 3D modelaci a detailnímu výzkumu jednotlivých oblastí. Za zmínku pak stojí synaptická neuroplasticita, tedy proces, kdy se mozek mění v průběhu času. Spolupodílí se na regeneraci poškozených mozkových oblastí, je-li to možné. Nový směr neuroplasticity nachází své uplatnění především v predikci psychopatologie - nemoci schizofrenního okruhu, klinická deprese apod. (Koukolík, 2012).

Neurony - jedná se již o větší anatomický celek. Jsou zkoumány z hlediska anatomického i funkčního pojetí buněk, včetně elektrofyzilogických potenciálů (Koukolík, 2012).

Mozkové oblasti - tyto struktury bývají vyobrazeny 3D ale i 2D, jde především o komplexní lokalizaci konkrétních projevů, také dochází k lokalizaci nervových přenašečů a kompletaci nervových map - konektomů (Koukolík, 2012).

Funkční systémy - tyto oblasti se dají relativně dobře zkoumat u lidí i zvířat s plně rozvinutým mozkem. Ke zkoumání takových mozkových oblastí se využívají zobrazovací metody jako je BOLD fMRI (*blood-oxygen-level dependent functional magnetic resonance*), PET (*pozitronová emisní tomografie*), EEG (*elektroencefalografie*) či MEG (*magnetoencefalografie*), popřípadě kombinace uvedených metod (Koukolík, 2012).

Behaviorální projevy - jedná se o projevy spojené s danou lokalitou, přičemž nemusí nutně jít o psychopatologii. Tyto projevy lze sledovat z pohledu psychologického, medicínského, etologického apod. (Koukolík, 2012).

3.1.1 Přední cingulární kortex (ACC)

Jedná se o nejbližší strukturu pod kortexem. Nachází se blízko tzv. limbického systému. Tato oblast je aktivována při prožívání intenzivních emocí jako je láska nebo hněv, taktéž je stimulována, když matky slyší pláč svých potomků (Carter, 2010).

Uvnitř cingulární kůry (*ACC - anterior cingulate cortex*) jsou neurony větvenovitého typu, které mají navíc vlastnost reflexe emoce druhých a schopnost podle toho reagovat (Carter, 2010).

Berthoz, Blair, Clegh a Martinot (2002) popisují cingulární kortex jako místo, kde se indukují emoce, neboť jak se zdá, právě tato oblast je zodpovědná za subjektivní emoční odpověď na stimul. Blair et al. (1999) pak dodávají, že zejména zloba se ukazuje jako velmi aktivní oblast ACC (konkrétně oblast BA 32) v experimentech s PET. Reiman et al. (1997) si však všimli, že ACC je mimo jiné aktivován také při genezi, ale i rekognici emocí a zároveň doplnili lokalizaci o oblasti předního temporálního pólu a orbitofrontálního kortexu - BA 38 a BA 47.

3.1.2 Stria terminalis

Jde o strukturu, jež spojuje ostatní mozkové lokality přímo s amygdalou. Stejně jako amygdala samotná stria terminalis zastává důležitou úlohu při prožívání strachu a únikové reakci. Četnost buněk se v průměru liší u žen i mužů, podle toho lze vyvodit pohlaví

jedince. Lidé, jež změnili svou pohlavní identitu, mají obsah neuronů v oblasti stria terminalis, který odpovídá jejich novému pohlaví (Carter, 2010). Lze tedy předpokládat, že kromě strachu se patrně nějakým způsobem podílí i na genderové orientaci.

Kromě toho Somerville, Whalen a Kelley (2010) zjistili, že se tato struktura podílí také na tvorbě strachu, respektive reakcích na strach. Rozšířili tuto oblast o jádro bed nucleus - BNST (*bed nucleus of stria terminalis*). V něm by se mohla dle autorů lokalizovat schémata anxiózního chování.

3.1.3 Frontální kortex

Informace z celého emočního mozku se často dostávají přímo do oblastí přední kůry kde se pak emoce zvědomují a získávají svůj vědomý význam. Vzhledem k tomu, že jsou emoce považovány za systém top-down, tedy směr dolů, předpokládá se, že emoce více ovlivňují myšlení než vice versa, neboť v tomto směru je i rozsáhlejší konektivita (Carter, 2010).

Obecně lze říci, že právě frontální kortex odlišuje homo sapiens a haplorhini od ostatních živočišných druhů. Nejde sice jen o frontální, zejména pak prefrontální kůru, ale i efektivní konektom nervových drah (Fuster, 1999).

Jedná se o oblast mozku mezi centrální a laterální rýhou, tedy oblast předního mozku. Prefrontální kortex se pak nachází v dolních částech frontálního laloku. Pokládá se za vývojově mladší strukturu. Frontální kůra se zapojuje do limbického systému, a to formou rozšíření signálu z něj. Kromě emocí pak spolupracuje s lingvistickými strukturami, kdy se aktivuje při užívání jazyka. Patrně se tak děje díky umístění Brocova centra pro motorické aspekty řeči. Wernickeho centrum se taktéž zapojuje, nicméně nenachází se již ve frontálním, nýbrž v temporálním laloku (Sternberg et al., 2009).

Za centrální rýhou sice končí frontální lalok, ale často se k němu váží i motorické oblasti gyrus prefrontalis a senzomotorické oblasti gyrus postcentralis, které v kooperaci zabezpečují motoriku a percepci člověka (Hendelman, 2006).

3.1.4 Corpus calosum

Corpus calosum (CC) taktéž kalósní těleso, sestává výsadní roli v přenosu informací mezi jednotlivými hemisférami (Carter, 2010).

Podle řady různých výzkumů se ukázalo, že probíhá přenos signálu s motorickým, senzitivním a kognitivním obsahem. Díky stereognozii jsou lidé schopni pojmenovávat například předměty, ať jim jsou vloženy do levé či pravé ruky.

Při *ectomii*⁶ corpus calosum pak člověk pozná pouze to, co je mu umístěno do pravé ruky, pakliže je pravák. Předmět z levé ruky je uvědoměn v kortexu, nicméně není v možnostech asociačních drah předat informace do druhé hemisféry pro verbalizaci. Toto se děje pomocí komisurálních drah, které však vyjmutím či poškozením CC neplní svou funkci (Nicholls, 2013).

3.1.5 Hypothalamus a corpus mammilare

Přes svou nerozměrnost je hypothalamus velmi významnou strukturu ve vztahu k emocím. Za pomoci neuro-endokrinních reakcí kontroluje tělo i proprioreceptory. Působí v amygdale při instrumentálním strachu. Zadní a spodní oblast hypotalamu se označuje jako corpus mammilare, kde se setkávají emoce a paměť (Sternberg et al., 2009).

Přestože se nenašla přesná lokalizace pamětních operací, má se zatím za to, že se nacházejí právě v oblastech hypotalamu, hipokampu, thalamu a v bazálních gangliích mozku. Ovšem velké množství vstupních informací pochází právě z limbického systému. Stimulaci hypotalamu lze dosáhnout variety behaviorálních projevů a zároveň i aktivaci amygdaly (Sternberg et al., 2009).

3.1.6 Hipokampus

Tato komponenta mozku je zodpovědná zejména za zápis paměťových stop, což probíhá ve spolupráci s hypotalamem. Epizodická paměť, která je mimo jiné uložena právě zde, obsahuje také emoční informace o paměťovém záznamu. Není vyloučeno, že dojde k asimilaci uložených emocí a nově prožitých emocí, a tak dojde k jejich přepsání či proměně (Carter, 2010).

Nově se také ukazuje, že vystavování zvířat stresu vede k vypouštění stresových hormonů, které mohou hipokampus poškodit. Kromě paměti se tato oblast účastní i regulace stresu (Sternberg et al., 2009).

⁶ Chirurgické přetěti (Hendelman, 2006).

Nachází se zde relativně vysoké množství acetylcholinu (Ach), což je monoamin syntetizovaný z cholinu, který působí excitačně či inhibičně všude po těle. Z těchto poznatků se předpokládá, že je hipokampus patrně centrem paměti (Hendelman, 2006).

3.1.7 Thalamus

Zde dochází k rozdělování příchozích vzruchů, proto je pochopitelné, že se podílí na téměř všech mozkových aktivitách a na emočních procesech. Některá jádra thalamu mají však výraznou funkci při přeposílání emocí do jiných, zpravidla vyšších mozkových center (Carter, 2010).

3.1.8 Bulbus olfactorius

Čichové centrum je specifické zejména tím, že jako jediné centrum posílá své informace přímo do limbického systému, nikoli dále do thalamu a dále. Proto je jeho význam tak výrazný. Vzhledem k tomu, že čichové centrum je fylogeneticky nejstarší, věří se, že mohlo kdysi být centrem emocí. Proto mají olfaktorické stimuly tak expresivní reakci (Carter, 2010).

3.2 Amygdala

Dnes se amygdala pokládá za skutečné centrum emocí, hodnotí vnitřní i vnější informace z pohledu strachu. Třídí emoce podle toho, zda budí strach či nikoli. Například nucleus centralis zprostředkovává strnulost ze strachu, naopak nucleus basalis pak vyvolává únikovou odpověď (LeDoux, 2003).

Amygdala je zodpovědná za adekvátní emoční odezvu. Pracuje takřka bez přestání a po vytvoření reakce přeposílá informaci do hypothalamu. Zde se vyvolávají endokrinní reakce pro realizaci odezvy (Carter & Frith, 2010).

Taktéž je aktivována v rámci vigilance člověka, tedy stavu bdělosti a aktivity. Pro člověka je výhodná, protože jej udržuje v mírném napětí, tak aby mohl relativně rychle zareagovat na příchozí stimul, o němž pochopitelně neví, kdy přijde. Existují různé stupně *vigility*, například u vojáku na stráži se předpokládá vigilance velmi vysoká. Zjistilo se, že právě amygdala hraje důležitou roli v rozpoznání emočních stimulů. Ve spánku se člověk

nachází s velmi nízkou vigilitou, což dokládá i EEG. Ve spánku je totiž interval amplitud velmi nízký (Sternberg et al., 2009).

Kromě emocí se amygdala zapojuje i do paměti, respektive často je přítomna u tvorby paměťových stop s emočním kontextem. Zjistilo se, že aktivace amygdaly je přímo úměrná se schopností takovou vzpomínku si vybavit (Sternberg et al., 2009).

Svou roli sehrává zejména v emocích zloby, hněvu a agresivity (Sternberg et al., 2009).

3.3 Limbický systém

Limbický systém označuje koncept vytvořený ve snaze lokalizovat emoce v lidském mozku. Toto synonymické označení zavedl Papez (1937).

Z evoluční perspektivy sloužil lidským předkům mozek k zajišťování jednoduchých životních funkcí. Tyto funkce dosahovaly až ritualizovaného charakteru, proto nebyla potřeba mít komplexní algoritmy na zvládání nových problémů a situací. U haplorhini se vyvinul zejména přední lalok se specifickým posazení očí. Tato fylogenetická modifikace pak umožnila změnit i mozkové struktury a konektivitu.

MacLean měl za to, že původní (plazi) mozek s instinktivním charakterem, je nyní spojen s novým mozkiem savců (převážně prefrontální kortex) pomocí limbického systému, který je schopný evaluace vnitřních potřeb pro přežití směrem k prostředí, ve kterém se živočich nachází. Toto schéma se stalo dominantním pohledem neurovědy na otázku umístění a funkce limbického systému (Koukolík, 2012).

3.3.1 Definice limbického systému

Stejně jako je tomu u fenoménu emocí, nelze jednoznačně definovat limbický systém všepostihující teorií, proto Hendelman (2006) hovoří o několika složkách, o nichž je známo, že jsou součástí limbického systému a současně je známá jejich funkce.

- 1) **Fyziologické změny** - zahrnuje základní pocity jako je žízeň, sexuální chování apod., tyto změny jsou zpravidla způsobeny aktivací ANS (autonomní nervový systém) spolu s endokrinní soustavou.

- 2) **Chování** - lidé i zvířata neustále využívají motorické centrum - bojují, létají, vyjadřují hněv, kooperují ve smečce atd. u lidí jde navíc o faciální výrazy spojené s behaviorálními projevy.
- 3) **Změny duševních stavů** - dochází ke změně subjektivního pocitu organismu. U lidí se ovšem užívá pojmu psychologická reakce na stimul.

Zjednodušeně pak lze říci, že limbický systém syntetizuje kortikální a subkortikální stimuly. Dále sjednocuje, reguluje interní a emoční stavy s patřičnou fyziologickou, psychologickou a behaviorální odezvou (Hendelman, 2006).

3.3.2 Neuronální struktury

Co do neuroanatomických definic je limbický systém konstrukt zahrnující kortikální a nonkortikální oblasti (subkortikální, diencephalické a truncus cerebri) (Hendelman, 2006).

V zásadě se rozlišují dvě základní kategorie limbického systému na 1) korové oblasti, struktury, které jsou v přímé souvislosti s emocemi, respektive limbickým systémem a 2) rozšiřující (extended) oblasti, části frontálního a orbitofrontálního kortexu (limbický přední mozek) (Hendelman, 2006).

U nonkortikálních struktur je korovou oblastí amygdala, bazální ganglia, včetně nucleus accumbens⁷, jako rozšiřující bazální přední mozek (Hendelman, 2006).

Diencephalon a truncus cerebri mají umístěna v korových oblastech jádra v patřičných strukturách thalamu a hypotalamu. Rozšiřující jsou pak části mozkového kmene a meduly (Hendelman, 2006).

⁷ Oblast bazálního předního mozku; hraje roli při radosti, odměňování, určitých typech učení, strachu, agresivitě a také při placebo efektu (Hendelman, 2006).

4 Neurotransmise signálu

Základní funkcí neuronu je přenos elektrické informace, a to za pomoci fyzikálně-chemického jevu, který je souhrnně označován pojmem neurotransmise. Nervový vzruch, taktéž signál, lze chápat jako krátký elektrický výboj - *spike*, který se šíří nervovým systémem. Princip přenosu takového vzruchu z jednoho neuronu na druhý je založen na chemické reakci, při které signál prostupuje membránami na synapsích neuronu. Vzruchy jsou obvykle vedeny rychlostí mezi 1-100m/s dle vlákna, kterým prochází v závislosti na intenzitě vzruchu (Carter, 2010).

Nervový vzruch vzniká při pohybu kladně nabitých iontů Na^+ a K^+ v membráně neuronu, samotný přenos je realizován následnou polarizací a depolarizací. Pokud se tedy zrovna v axonu neuronu nešíří vzruch, je jeho extrapolární část kladně nabitá K^+ a dalšími prvky, zatímco intrapolární část axonu obsahuje záporně nabitě částice. Příčinou vzniku je polarizace, při které se mění rozložení kladně nabitých a záporně nabitých částic (Nicholls, 2013).

Příchod vzruchu na další neuron způsobuje depolarizaci, kdy Na^+ částice vniknou do nitra neuronu s tím se zvýší intrapolární elektrický náboj vůči extrapolární části. Pro vyvážený stav iontů a aniontů v neuronu dochází k repolarizaci, kdy se kladně nabitě Na^+ pohybují opačným směrem než K^+ . Tímto se poruší klidové stavy přilehlých membrán a kladně nabitě ionty se dostávají do výchozí extrapolární pozice (Nicholls, 2013).

Při vzruchu je taktéž důležité chemické složení neurotransmiterů, na jejichž základě se vzruch excituje či inhibuje. Rozlišují se základní neurotransmiterů dle obvyklého působení na vzruch. První skupina 1) acetylcholin - převážně excitační, dále 2) biogenní skupina aminů - dopamin, histamin, noradrenalin a serotonin - inhibiční a poslední 3) aminokyseliny a jejich deriváty, například GABA, kyselina gama-aminomáselná, glutamát, asparát, glyrecin - inhibiční (Carter, 2010).

4.1 Elektrický náboj neuronu

V neuronech se nacházejí akční potenciály, které jsou charakteristické svou binární hodnotou, tedy 1 či 0 pro přítomnost signálu a pro jeho nepřítomnost. Depolarizací se

vzruší přilehlá polarizovaná oblast a následně vyvolanou opětovnou depolarizací se šíří signál. Se vzdáleností klesá rychlost a intenzita signálu (Nicholls, 2013).

Někteří vertebrata mají v myelinových pochvách vysoce odolnou vrstvu buněk, jež nepropouští ven signál, tedy fungují jako obal neuronu. Elektrický proud nemusí probíhat pouze mezi nervovými buňkami, ale může probíhat i v mezi membránovém prostoru ve štěrbinových spojích (Nicholls, 2013).

4.2 Nervová vlákna

Nervové vlákno má válcovitý charakter a obsahuje dva základní prvky. Uvnitř se nachází vodič (jádrový vodič) - NaCl 9g/l a na vnější straně vodivé médium - plazmatická membrána. Problém přenosu vzruchu je značná ztráta, neboť stejně jako u šíření tepla v tuhých tělesech, i zde dochází k uvolňování energie do okolního média. S postupnou vzdáleností vzruch, stejně jako teplo, ztrácí svou původní hodnotu. Tyto hodnoty jsou do jisté míry závislé na schopnosti vodiče, v tomto případě NaCl, který se ovšem nepovažuje za vhodný vodič. Přesto se uznává nervový vzruch jako ekvivalent k vzruchu eklektickému s podobnými fyzikálními vlastnostmi. V nervové buňce se přenos realizuje prostřednictvím průtoku výše uvedených iontů (Nicholls, 2013).

Stejně jako pro elektrický signál platí i zde Ohmův zákon, tedy výsledná hodnota napětí na konci vodiče - anoxu - je složena ze součinu množství elektrického proudu (I), jež prochází vodičem a odporem (R), tedy do známé rovnice $U = I \cdot R$. Výsledné hodnoty se zpravidla pohybují v jednotkách μV (Nicholls, 2013).

4.3 Šíření akčních potenciálů

Šíření signálu akčních potenciálů probíhá pasivní transmisí před polarizovanými oblastmi axonu. Rychlost a trvání vzruchu jsou součinitelé vzdálenosti, kterou je akční potenciál schopen dorazit za jednotku čas. Pakliže by měl například délku 2ms a rychlost vedení $10m/s = 10mm/ms$, je schopen se dostat na vzdálenost 20mm. U všech teplokrevných živočichů je délka vzruchu 2ms, doba trvání je u nervových vláken obvykle od 1 do 5ms. Rychlost běžných nervových vzruchů může dosahovat až $120m/s = 432km/h$. Myelinové vlákna u krevet mohou dosahovat rychlosti vzruchu větších než $200m/s = 720km/h$ (Nicholls, 2013).

Studiem těchto poznatků se zjistilo, že u myelinových vláken je rychlost vzruchu přímo úměrná průměru vlákna. U myelinových pochev nervových vláken se proud šíří relativně efektivně, a to tak, že myelin je přerušován opakovanými myelinovými zářezy. Proud pak přeskakuje z jednoho zářezu na druhý (Nicholls, 2013).

Klasický přenos z neuronu na neuron však vyžaduje velmi nízkou hodnotu odporu, aby se signál mohl vůbec šířit. Toto se děje v již zmiňovaných šterbinovitých spojích, ty jsou tvořeny shluky konektomů, které svou chemickou stavbou toto umožňují (Nicholls, 2013).

5 Cirkumplexní model emocí

Emoce, jak se zdá, jsou velmi komplexní fenomén a je velmi obtížné jej uchopit přímo vědeckých způsobem. Ovšem, objevují se různé teorie, jež si kladou za cíl zpřehlednit jednotlivé emoce a jejich kategorizaci.

5.1 Arousal a valence

Odborná veřejnost se dle Barrettové (1998) shoduje na tom, že se emoce velmi zjednodušeně týkají v podstatě dvou kvalit a to 1) valence - přívětivosti popřípadě hedonie⁸ a 2) arousal, tedy jakési vzrušení, co do významu aktivace lidského organismu.

Koukolík (2012) dodává, že od dob života Darwina se rozšířily tzv. základní emoce. Nyní se tedy předpokládá, že do bazálních emocí patří štěstí, smutek, hněv, hnus, strach. Často se k nim pak přidružuje i překvapení. Nynější věda a to nejen psychologická, ale i příbuzné obory, se pokouší o zkoumání těchto emocí pomocí neuro zobrazovacích metod, jakými jsou elektroencefalograf (EEG), funkční magnetická rezonance (fMRI) nebo pozitronová emisní tomografie (PET). V zásadě se používají dva výzkumné designy, a to takové, že si daný subjekt vybavuje situaci, kdy prožíval danou emoci, nebo jsou subjektu předkládány zpravidla vizuální či audiovizuální stimuly (fotografie, krátký emočně nabitý snímek a pod.), zatímco je subjekt měřen uvedenými zobrazovacími metodami. Mnoho odborných studií dokládá, že subjekty mají rozdílnou cerebrální aktivitu emocí. Z tohoto poznatku se generuje řada nových studií.

Lerner a Keltner (2000) popisují diferenciaci jednotlivých pojmů kontrastně. Valenci v závislosti k poměru pozitivních a negativních emocí. Tedy jako uzavřený interval od "libých" emocí po "nelibé" emoce. Tento koncept vychází z teorie Russella (1980), který původně vytvořil cirkumplexní model afektivity. Jeho teorie je založená na kruhovém rozložení emocí s tím, že má několik hlavních bodů na osách x a y. Russellovo řazení emocí začíná na 0° jako potěšení (*pleasure*), dále pak 45° rozrušení (*excitement*), 90° vzrušení (*arousal*). Na opačném pólu osy x se pak při 180° nachází nelibost (*displeasure*). Emoce posunuté o dalších 45° jsou vyjádřeny depresivně (*depressive*) v 225°. Opak vzrušení se nachází ve 270°, a to s charakteristikou ospalosti (*sleepiness*). Před pomyslným

⁸ Systematická preference pozitivních stimulů (Hartl & Hartlová, 2009).

uzavřením kruhu se emoce přibližují radosti, avšak stále s menší aktivitou, ve 315° se tedy nachází relaxovaný stav (*relaxation*) (Russell, 1980).

Lze si všimnout jednoduchého trendu, kdy Russellova teorie rozděluje emoce do dvou odlišných dimenzí, a to na emoce libé-nelibé a na emoce nabuzené-nenabuzené. Vzniká tedy prakticky dipólová matice 2x2, s níž lze kombinovat jednotlivé prvky a jimi následně definovat dané emoce. První kvadrant (0-90°) je tvořen libými emocemi se vzrůstajícím nabuzením. Patří sem tedy pochopitelně emoce jako radost, potěšení, vzrušení apod. Druhý kvadrant (90-180°) je složen z vysokého nabuzení a negativní libosti resp. nelibosti. Není tedy překvapením, že se zde objevuje frustrace, znužení, distress, zloba či hněv. Třetí kvadrant (180-270°) je charakteristický nelibou a nenabuzenou dimenzí, zahrnuje nudu, únavu, depresi, smutek, beznaděj. Poslední kvadrant (270-0°) je nenabuzený a pozitivní, což je blízké pro emoce jako relaxace, klid, spokojenost (Russell, 1980).

5.1.1 Pozitivní a negativní emoce

Teorie valence a intenzity zohledňují základní charakteristiky emocí. V praktické části bakalářské práce se pracuje s emocemi na úrovni valence, tedy libé (pozitivní), nelibé (negativní) a bez valence (neutrální). Takto je možné charakterizovat velké množství emocí.

Z filozofického hlediska však rozdělení emocí na dobré a špatné není vůbec jednoduché. Na přelomu 12.-13. stol. polemizuje Tomáš Akvinský o dobru jako takovém. Ve svém díle *Suma teologická* uvažuje o dobru jako o univerzální substanci. Zlo však definuje jako nepřítomnost dobra. Bylo-li by možné užít přímé analogie s emocemi ve smyslu pozitivních a negativních emocí, bylo by nutné o nich uvažovat jako o pozitivních emocích a o emocích, které postrádají pozitivní obsah (Pieper, 1997).

Obvykle se používá fMRI či PET a se zajímavými výsledky, například se zjistilo, že exponování výzkumným subjektům hnusu z olfaktorického stimulu aktivuje stejné oblasti v amygdale a insulárních - ostrovních oblastech mozku, stejně tak jako by tomu bylo při subjektivním prožitku hnusu (Koukolík, 2012).

Ukazuje se také, že na valenci emocí má vliv dlouhá hudební stopa, v případě výzkumu alfa asymetrií EEG Mikkuta et al. (2012) má na diferenciaci pozitivních

a negativních emocí vliv Beethovenova 5. symfonie. Stejně jako olfaktorické stimuly se zdají auditivní stimuly stejně účinné. Dle návrhu autorů by se tento jev mohl efektivně použít v rámci terapie, ovšem pro modulaci valence emocí je třeba ctít pacientovy hudební preference.

5.2 IAPS (International affective picture system)

Mezinárodní afektivní obrazový systém byl vyvinut za účelem poskytnutí souboru normativních emočních stimulů pro experimentální výzkum emocí zpravidla v oblastech neuropsychologie či kognitivních věd (Margaret, n.d.).

Cílem IAPS je zabezpečit širokou mezinárodní databázi standardizovaných emočních podnětů, u nichž je zřejmé emoční dráždění s konkrétní valencí a intenzitou. IAPS byl založen na Floridské univerzitě v roce 2008 (Margaret, n.d.).

Databáze obsahuje širokou varietu stimulů od vizuálních (IAPS), auditivních (IADS), sémantických (ANEW - pouze v angličtině) po neverbální stimuly (SAM) (Margaret, n.d.).

6 Teorie hemisférických asymetrií

Vědecké popularity nyní dosahuje mezi teoriemi emocí teorie mozkové asymetrie, tedy rozdílné aktivity obou polokoulí mozku. Tato teorie se vyvinula z výzkumu jednostranných lézí mozku. Zde se ukázalo, že je vztah mezi lokalitou léze a danou psychopatologií nebo predispozicí k ní (Stuchlíková, 2007).

Z neuropsychologického pohledu je ve výzkumu hemisférických asymetrií důležitá teorie cirkumplexních emocí, která odpovídá předpokladům aktivity jednotlivých kvadrantů mozku. Předpokládá se, že je významná aktivita v předním nebo zadním kvadrantu pravé hemisféry. Zadní část pravé hemisféry odpovídá v Russellově teorii nabuzení, zatímco přední část valenci. Levostranná aktivita je ve vztahu s pozitivní valencí a pravostranná s negativní valencí (Stuchlíková, 2007).

Někteří autoři jako například Davidson a Tomarken jsou přesvědčení, že zobrazovacími metodami lze dospět k relativně odpovídajícímu emočnímu profilu jedince, neboť se dle jejich uvážení jedná o relativně trvalou vlastnost (Stuchlíková, 2007).

Dolcos, Rice a Cabeza (2002) zkoumali hemisférické asymetrie z pohledu stárnutí, jejich základní premisa byla, že s věkem se asymetrie proměňují. Ukázalo se však na výzkumu, kdy jednotlivé subjekty dekodovaly emoční výrazy ve tváři na fotografiích, že rozdíly nejsou signifikantní. Alespoň tak se tomu dělo mezi výzkumnou skupinou starších osob vůči osobám v rané dospělosti.

Ohledně asymetrií je také známo, že v oblasti frontálního kortexu lidé s fyziologicky vyspělejší nervovou soustavou mají výrazné EEG asymetrie, a to zpravidla u vln α a β (Lazurenko & Kirov, 2010).

6.1 Frontální EEG hemisférická asymetrie

Hemisferická asymetrie je fenomén, který nacházíme u lidí i u haplorhini, například opice *macaca mulatta*⁹ (Toga & Thompson, 2003). Z poznatků různých studií víme, že oblasti lobus frontalis jsou zdrojem frontálních asymetrií, a to zejména alfa asymetrie klidového stavu o intervalu 8-12Hz/s (Allen & Coan, 2004), 8-13Hz/s (Plháková, 2004) nebo

⁹ Opice makak rhesus.

9-11Hz/s (Davidson, 1988). Tyto frekvence jsou prakticky identické pro člověka i pro opice a lze tedy s nimi vědecky nakládat takřka identicky (Davidson et al., 1998).

Anokhin, Heath a Myers (2006) ve své studii definují frontální cerebrální asymetrie jako stabilní vlastnost, jež je ve vztahu k individuálním rozdílům v dispozičních afektivitě (popřípadě i afektivních stylů) a lability ve smyslu rozvoje psychopatologie v oblasti poruch afektivity.

Mozková lateralizace je dle Torga a Thompsona (2003) promítána do evolučních, vývojových, dědičných, experimentálních a patologických faktorů. Pomocí dnešní biomedicínské techniky je možné tuto lateralizaci měřit a zkoumat vztah této levo-pravé frontální aktivity mozku k predikci psychopatologie, popřípadě zjistit rizikovost vývoje poruchy afektivity či motivace.

Téma cerebrálních frontálních asymetrií bylo zkoumáno z několika perspektiv, a sice **a) fylogeneticky** – Kalin et al. (1998) zkoumali vzorek 50 opic macaca mulatta (29 samců, 21 samic). Do experimentální skupiny byli vybráni ti jedinci, kteří vykazovali extrémně vysokou frontální elektroencefalografickou aktivitu v pravé hemisféře. Kontrolní skupina byla složena z jedinců s průměrnými hodnotami alfa. U experimentální skupiny byla zjištěna paušálně velmi vysoká hladina hormonu kortizolu. V tomto důsledku pak tito jedinci vykazovali signifikantně vyšší defenzivní chování a pochopitelně i vysokou agresivitu. V předchozí pilotní studii experimentátorů Davidsona et al. (1992) se agresivním jedincům intravenózně aplikoval benzodiazepam (1mg/kg). Behaviorální projevy spojené s agresivitou se zmírňovaly, stejně tak i rozdíly frontální asymetrie. Ovšem při předávkování opic došlo opět k nástupu agresivity, a to i přesto, že elektrická aktivita frontálních asymetrií byla vysoce levostranná. Autoři očekávají podobné chování i u lidí.

Dále je téma zkoumáno z pohledu **b) heredity** – sem patří studie, ve kterých je zkoumán faktor dědičnosti. Toto je zjišťováno jednak při přenosu z matky na potomka, tak na případech monozygotních a dizygotních dvojčat. Anokhin, Heat a Myers (2006) předpokládají, že pokud by frontální asymetrie byl dědičný mechanismus afektivních a motivačních stylů, jednalo by se pravděpodobně o endofenotypální determinantu, tedy behaviorální symptomy složené do fenotypu s velkou pravděpodobností heredity. Studie

byla provedena s relativně velkým vzorkem $n=246$ (mladá ženská dvojčata; 73 monozygotních a 50 dizygotních). Výzkumný tým zde zjistil, že na frontálních elektrodách F3(P) a F4(L) je signifikantní heredita a to 27%. Na vzdálenějších laterálních pozicích frontálních elektrod F7(R) a F8(L) je heredita v intervalu 85-87% (Anokhin, Heat & Myers, 2006). V jiné studii byla zkoumána přenositelnost frontálních asymetrií u depresivních a nedepresivních matek na jejich potomky, jež byly testovány téměř bezprostředně po narození a poté ve věku 3-6 měsíců od narození. Potomci matek s diagnostikovanou depresí měli významně vyšší aktivitu v pravé hemisféře frontálního laloku než tomu bylo u potomků nedepresivních matek (Diego, 2006).

Zobecnění poznatků ohledně přenosu deprese indikovalo výzkum z pohledu **c) psychopatologie** - o vztahu frontálních EEG asymetrií a riziku rozvoje anxiety a deprese. Bylo zjištěno, že frontální asymetrie mladých dospělých jedinců se zvýšenou pravostrannou aktivitou je skutečné riziko k onemocnění depresí nebo úzkostí. U mužů je toto riziko 32%, u žen pak 37%. U střední a pozdní dospělosti následně riziko klesá tak, že je není možné označit za signifikantní jev. Ze studie dále jednoznačně vyplývá, že pro frontální asymetrie hraje zásadní roli pohlaví a věk, dále pak že etiopatogeneze deprese v souvislosti s patologickou aktivitou frontálních asymetrií je prokazatelná pouze u mladších dospělých jedinců, popřípadě dospívajících (Smit, 2007). K podobným výsledkům došli i Schaffer, Davidson a Saron (1983) již v počátcích výzkumu frontálních asymetrií. Autoři administrovali 415 subjektům BDI (*Beck's Depression Inventory*) a tyto výsledky srovnávali s hodnotou alfa asymetrie ve frontálním a parietálním laloku. Opět zde byla prokázána výrazně vyšší pravostranná aktivita ve frontálním laloku F3(R) a F4(L), region lobus parietalis P3(R) a P4(L) se však nijak výrazně nelišil. Jedinci vykazující depresi měli vyšší medián hodnot asymetrie $Mdn_{F3}=11,06$, $Mdn_{F4}=10,36$. Nedepresivní jedinci pak $Mdn_{F3}=5,17$ a $Mdn_{F4}=5,46$. Celá studie navazuje na práci Josepha LeDuexa z konce 90. let, kdy byly zkoumány osoby s poškozením mozku při aktivitě ve frontálním a parietálním laloku (Schaffer, Davidson & Saron, 1983).

Další oblastí výzkumu je **d) motivace a afektivita** – studie o vlivu asymetrií jako mediátorů a nebo modulátorů emocí (Allen & Coan, 2004). Popřípadě vztah frontálních asymetrií k motivaci a afektivitě. Harmon-Jones a Allen (1998) se zaměřili na regiony

lobus frontalis anteriori¹⁰. Domnívají se, že se jedná o specializovanou oblast pro expresi motivace. Definiují pojem dispoziční hněv jako predispozici chovat se agresivně a přiřazují jej k vysoké levostranné frontální asymetrii. Výzkum byl proveden na 15 chlapcích a 11 dívkách ve věku od 11 do 17 let. Jednalo se o praváky, test laterality byl proveden u všech subjektů a použitá metoda byla The measurement of handedness (Chapman & Chapman, 1987). Z celého vzorku bylo náhodně vybráno 19 dětí ze středních škol a 7 adolescentů z psychiatrické kliniky. Měření probíhalo po 6 minutách ve dvou základních situacích – relaxace s otevřenými očima (O) a relaxace se zavřenými očima (C). Při procesu měření byly použity pouze dva scénáře O, C, O, C, O, C a C, O, C, O, C, O. Za pomoci rozsáhlé baterie testů se agresivita zaznamenávala do celkové skóru. Z testových metod byly použity testy: Aggression Questionnaire (Buss & Perry, 1992), PANAS – Positive and negative affect schedule – children's version (Laurent, Potter & Catanzaro, 1994) a The Buss & Perry Aggression selfreport questionnaire (1992). Výsledky byly signifikantní pouze ve vlnách alfa (8-13Hz/s), vlny delta (1-4Hz/s), theta (4-8Hz/s) ani beta (13-20Hz/s) nebyly prokazatelně ve vztahu. Autoři dále vnímají agresivitu jako funkční a dysfunkční, v závislosti na kontextu a regulaci. Celá studie pak ukazuje, že na regulaci agresivního chování se podílí i frontální asymetrie, a to více na složce motivační nežli na složce afektivní (Harmon-Jones a Allen, 1998).

S hutným psychologickým obsahem se objevují výzkumy **e) afektivní a fyziologické odezvy**. Při pokusech s EEG biofeedback bylo zjištěno, že systematickým cvičením kongruentní frontální asymetrie se mění nálada (DiFrancesco et al., 2008). Zároveň se ve studii Allena, Harmon-Jonese a Cavendera (2001) zjišťuje, že v závislosti na rozsahu a směru asymetrií lze celkem spolehlivě predikovat emoční odezvu subjektu. Tyto dva fakty jsou pilíře pro budoucí testování biofeedbacku frontálními asymetrií zejména v klinickém prostředí při léčbě afektivních poruch.

6.2 Hemisférické asymetrie jako bio-markery depresivity

V řadě studií se lze setkat s využitím relativního rozdílu mezi klidovou aktivitou levé a pravé hemisféry. Toto se zpravidla zkoumá v oblasti frontálního laloku, popřípadě pouze

¹⁰ Přední frontální lalok (Hendelman, 2006).

v konkrétním frontálním bodu - umístění jedné elektrody a jejího druhostranného ekvivalentu (Epstein, 1983).

Jedna ze studií se týká validity a reliability FAA (frontální alfa asymetrie) EEG u biomarkerů depresivních pacientů. Tato metody bývá často označována jako qEEG (*quantitative electroencephalographic*), u které jsou data vyhodnocována statisticky, v tomto případě současně s klinickým dotazníkem deprese. Studie se opírá o jiné předchozí práce, u nichž byl výsledek nejasný a kladla si za cíl konfirmovat tuto hypotézu. Přestože díky metodologii jsou autoři přesvědčeni o validitě a reliabilitě měření, výsledky zůstaly nejasné. Autorům se nepodařilo spolehlivě interpretovat data na hranici signifikance. V tomto případě použili rozdíly FAA na F3 a F4 elektrodě spolu s jinými oblastmi TA (*theta asymmetry*). Použili lateralizační koeficient,

$$a_k = 200 \cdot \frac{R - L}{R + L}$$

což je lineárně transformovaný vzorec indexu hemisférických asymetrií Davidsona (1988). U výsledků je třeba brát zřetel na to, že hodnoty budou mít opačná znaménka a škálování bude rozdílné (Gold, Fachner, & Erkkilä, 2013). Nyní se však spíše v analýzách EEG používá upravený koeficient asymetrií, popsany níže

6.3 Hemisférické specializace a aktivace

Veškeré pojmy jako cerebrální dominance, hemisférické asymetrie a specializace odkazují na jednu vlastnost mozku, a sice na funkční rozdíly jeho dvou hemisfér. Hemisféry se liší z podstaty věci díky lokalizaci daných center, přičemž existují rozdíly u praváků a leváků (Davidson, 1988).

Nicméně jsou jisté úkoly, které najdou své typické využití v pravé hemisféře nebo v levé hemisféře. Obě se liší také rychlostí a přesností zpracování úkolů, zatímco pro levou hemisféru bude verbální úloha zpracovatelná rychle, bude pro pravou hemisféru relativně složitý úkon a naopak. Není divu, že každá hemisféra má svou dominanci v daných procesech, hovoří se tedy v této souvislosti o hemisférické specializaci. Je všeobecně známý fakt, že levá hemisféra je spíše logická a věcná, zatímco pravá hemisféra spíše emoční, prožitková, snad i umělecká. Pakliže úloha vyžaduje hemisféry obě, lze po

naměření EEG definovat, kde byla relativně vyšší aktivace. U EEG se předpokládá, že vyšší aktivací dochází k vyšší nervové činnosti. Při vyšší nervové činnosti dochází k větší depolarizaci neuronů a tak se mění eklektická aktivita. Asymetrie je pak velmi jednoduše stupeň aktivity hemisféry či daného hemisférického regionu vůči hemisféře či regionu druhé hemisféry (Davidson, 1988).

Metrika frontálních asymetrií přitom vyžaduje naměřené hodnoty alespoň 2 elektrod na dvou různých oblastech mozku, pro sumarizaci asymetrií lze využít simplexní vzorec indexu asymetrií:

$$a_i = \frac{R - L}{R + L}$$

a pro posouzení pomocí ANOVA lze škálovat indexy asymetrií počet skupin (n) krát koeficient asymetrie tedy:

$$a_k = n \cdot \frac{\log(\text{var}(R)) - \log(\text{var}(L))}{\log(\text{var}(R)) + \log(\text{var}(L))}$$

Je obecným předpokladem, že depresivní osoby vykazují relativně vyšší pravostrannou aktivitu, menší levostranná aktivita potom svědčí o negativních emocích jako je silný pocit strachu, nebo znechucení. Větší levostranná aktivita je často spojena s pozitivními emocemi (Davidson, 1988).

Známým rozdělením specializace asymetrií je cerebrální diferenciacce na levou a pravou hemisféru, přičemž levá hemisféra velmi obecně zapojuje své struktury utvářením sémantických informací, u matematických operací a při analytickém myšlení. Také při sekvenčním zpracování informací a při poslechu hudby u lidí s vyvinutým sluchovým aparátem. Pravá hemisféra, často označovaná jako emoční a tvořivá, vystupuje zejména při zpracování vizuálních podnětů, při syntetickém myšlení, paralelním zpracování informací a při poslechu hudby u běžných konzumentů (Karcz et al., 2009).

6.4 Genetické a environmentální vlivy na frontální asymetrie

Dle studie Anokniha, Heath a Myerse (2006) je popsán vliv heredity a prostředí na frontální hemisférické asymetrie (FA). Výsledky naznačují nepříliš přesvědčivý trend,

a sice, že u výzkumného vzorku (n=246, ženy) byl zjištěn 30% vliv prostředí na frontální asymetrie. V otázce heredity nebyly prokázány žádné signifikantní vztahy.

Hlavní implikací studie je pak skutečnost, že existuje relativně signifikantní vztah pro přenos predispozic k náladě, respektive psychopatologii afektivity. Frontální asymetrie autoři vnímají spíše jako *endofenotypální* charakter, který pomáhá utvářet poruchy afektivity (Anokhin, Heath & Myerse, 2006).

7 Elektroencefalografie

Elektroencefalografie neinvazivně měří elektrické signály na povrchu hlavy, které jsou evokovány při odpovědi na určitý stimul (Clare, 1997). Výsledkem měření této aktivity je záznam – elektroencefalogram. R. Carter (2010) hovoří o EEG jako zařízení, jež měří mozkové vlny na základě elektrického potenciálu, který je generován oscilací neuronů v mozku. Kulišťák (2011) dále dodává, že elektrické impulzy jsou výsledkem činnosti jak korových, tak podkorových oblastí mozku.

Ze své podstaty tedy EEG umožňuje pozorovat změněné stavy mozku a jeho aktivitu po relativně dlouhou dobu. Je tedy pochopitelné, že nachází velké využití v nejrůznějších spánkových experimentech, kdy je typické, že se zkoumaný subjekt pozoruje během spánku tak, aby byla zachycena co nejdelší část jeho cirkadiálního rytmu, nebo během bdění při různých úrovních aktivace (Epstein, 1983).

Pro záznam EEG signálu jsou nezbytné elektrody, které se umisťují zpravidla na povrch hlavy, a to po celé její ploše. Nejčastěji bývá osazení elektrod v intervalu od 16 do 64 kanálů. Zřídka se umisťují elektrody přímo do mozku (Kulišťák, 2011).

Není překvapením, že senzitivita EEG je narušena nejen okolím, které vykazuje elektrickou a magnetickou aktivitu, ale i faktem, že signál proniká přes ochranné obaly mozku¹¹. Přesto je dlužno říci, že EEG je senzitivní na náhlou změnu v čase, a to z něj činní vhodný nástroj pro výzkum rychle se měnící aktivity mozku (Sternberg et al., 2009).

7.1 Event-related potenciál

V nynějších výzkumech se často objevuje schéma event-related potencial (ERP). Elektrická aktivita mozku odvíjí od specifických úkonů nebo úloh, například při sledování záblesku světla nebo poslouchání mluveného slova. Jinými slovy, ze záznamu EEG signálu jsou vidět změny aktivity mozku při odezvě na stimuly. Reakce na tyto stimuly je zaznamatelná ve vteřinách (Sternberg et al., 2009). Při iteraci stejného podnětu lze získat odpověď z kortexu. Je tedy možné dohledat konkrétní sensorickou dráhu z periferie do korových oblastí mozku. Z latencí, amplitudy a formy jednotlivých odezev je možné odvodit potenciální defekt nervové dráhy.

¹¹ Dura mater, arachnoidea, pia mater (Hartl & Hartlová, 2009).

Nejčastěji se používají vizuální (VEP), auditivní (BAEP, AEP) a senzomotorické (SEP) modality pro vybuzení emocí (Kulišťák, 2011).

7.2 Komparace encefalografie a jiných zobrazovacích metod

Již v úvodu je třeba podotknout, že ve své podstatě EEG není klasickou zobrazovací metodou. Nicméně relativně nízká cena a dobrá využitelnost z EEG dělají dobře aplikovatelný nástroj především k diferenciální diagnostice různých nervových onemocnění, zejména epilepsie, ale především k realizaci výzkumných projektů v neurovědách (Davidson & Irwin, 1999).

Zároveň jednoznačnou výhodou EEG je neinvazivnost vyšetření. Přesto má svá omezení, a to zejména v podobě nízkého prostorového rozlišení a náchylnosti k šumu, například pohyby očí, pocení, dále pak nekvalitní odstínění kabeláže (Clare, 1997). Podle Fishera (in Kulišťák, 2011) není provoz enormně nákladný jako například u PET, kdy se subjektu intravenózně vpravuje do těla radioaktivní látka, vážící se na příslušný ligand receptor s krátkým poločasem rozkladu. V ČR se obvykle zavádí osvědčený radioaktivní fluor ^{18}F FDG, neboli 2- ^{18}F fluoro-2-deoxy-D-glukóza, který je sice vhodný pro experimentální aktivity, ale zároveň velmi nákladný.

Tab. 1: Komparace EEG a jiných zobrazovacích metod (volně dle Sternberg et. al, 2009)

Metoda	Procedura	Vhodné pro člověka	Výhody	Nevýhody
Zobrazení jednotlivých neuronů	Mikroelektrody měří pouze jediný neuron. Jsou zaznamenávány změny v aktivitě v tomto neuronu.	Ne	Velmi přesné měření elektrické aktivity.	Nevhodné pro většinu výzkumných designů.
EEG	Změna bioelektrického potenciálu, který je měřen na povrchu hlavy za pomoci elektrod.	Ano	Relativně neinvazivní. Má velmi vysoké časové rozlišení.	Nízké prostorové rozlišení.
PET	Invazivní metoda, kdy se vpravuje radioaktivní látka, která emituje pozitrony které s okolím anihilují. Měřena je změna koncentrace pozitronů.	Ano	Zobrazuje kvalitně mozkovou aktivitu. S velkým prostorovým rozlišení.	Nedisponuje kvalitním časovým rozlišení. Jedná se o invazivní metodu.

Metoda	Procedura	Vhodné pro člověka	Výhody	Nevýhody
fMRI	Pracuje se změnami v magnetické aktivity. Více aktivní oblasti mozku spotřebovávají více kyslíku čím se mění stavy klidových potenciálů, které jsou měřeny supramagnetem.	Ano	Zobrazuje mozkovou aktivitu. Má kvalitnější časové rozlišení než PET.	Vyžaduje vpravit výzkumný subjekt do uzavřených prostor. Vzhledem k supramagnetu není možné užívat jakékoli kovové předměty v blízkosti.
MEG	Měří elektromagnetické pole hlavy za pomoci zobrazovacího zařízení, jež je umístěno v okolí hlavy.	Ano	Velmi přesná metoda.	Velmi drahá a zpravidla nepřístupná většině výzkumným projektům.

7.3 Obecná funkcionální elektroencefalografie

Elektroencefalografie využívá zpravidla elektrody, které jsou neinvazivně umísťovány na povrch hlavy. Ve zvláštních případech je možná kraniální instalace elektrod přímo na mozek jedince. Standardně bývají elektrody rozdělovány na levostranné a pravostranné (Sternberg et al., 2009).

EEG jako takové je schopné změřit všechny cerebrální rytmy - alfa (8-12 Hz), beta (14-30 Hz), delta (>4 Hz) a theta (4-8 Hz). Poslední dvě zmiňované frekvence se považují za patologické, pakliže k těmto dochází při běžném bdělém stavu jedince (Kropotov, 2007).

U měření EEG se využívá toho, že lidský organismus, stejně jako mozek, vykazuje elektro-magnetickou aktivitu. Mění-li se funkčně složení mozku, například tím, že je do něj hnán větší objem krve s kyslíkem, aby byl při kognitivní zátěži zásobován, mění se pochopitelně i jeho elektro-magnetické pole (Kropotov, 2007).

7.4 Postup měření EEG

Při měření signálu EEG dochází k zaznamenávání změn v synchronizaci neuronální aktivity na povrchu hlavy. Lze měřit aktivitu oblastí skalpu, korových center, nicméně jejich amplituda je významně tlumena lebkou a obaly mozku. Samotná aktivita se měří v μV a vykazuje následně pro daný časový úsek amplitudu měření (Davidson, 1995).

Signál je snímán elektrodami ze skalpu a ty jsou umístovány dle předem stanovených kritérií. Velmi často se lze setkat se schématem, kdy jsou elektrody pojmenovány nejprve abecedně, kdy písmenu odpovídá oblast: A - ear lobe, C - central area, P - pariental lobe, F - frontal lobe, O - occipital lobe a T - temporal lobe, pak číselně, a to tak, že liché číslice označují elektrody umístěné na levé hemisféře hlavy ergo sudé číslice označují elektrody pravé hemisféry. Takto umístěné elektrody se používají buď v celku integrované do elektrodové čepice nebo mohou být používány zvlášť. Při invazivní verzi se zavádí různé sondy do lebky, ne vždy však musí jít o klasickou podobu elektrody, tak jak se vyskytuje na elektrodové čepici, lze zavést drátek, jehlu, trojúhelník z vhodných materiálů, zpravidla Pt, Ag-Cl apod. V jistých případech lze použít i bavlněné knoty namočené v NaCl. Není již bezprostředně nutné užívat vodivé gely (Niedermeyer & Lopes de Silva, 2005).

Praktická část

II. Úvod do praktické části

Cílem praktické části je popis lokalizace valenčně pozitivních, negativních a neutrálních emocí v rámci alfa asymetrie EEG klidových stavů, respektive popis lokalizace emoční odezvy na výše zmíněné emoční třídy, které byly vyvolávány vizuálními podněty s emočním obsahem.

Práce se zabývá zejména o oblasti frontálních EEG hemisférických asymetrií, jakožto neuronální korelát emocí. Alfa rytmy jsou definovány v literatuře nejednotně, použit byl však pro účely práce otevřený interval 8-12Hz. Frontální hemisférické asymetrie jsou logicky definovány anatomicky, tedy mezi oblastí laterální a centrální rýhou, čemuž odpovídá rozmístění elektrod. Tyto elektrody snímaly tutéž informaci ze skalpu výzkumných subjektů. Lokalizace elektrod nebyla náhodná, nýbrž odpovídala současným trendům v neuropsychologickém měření, podstatou však bylo rovnoměrné rozložení do páru, tedy stejný počet elektrod na levé a pravé straně ve stejných (zrcadlově umístěných) pozicích.

Výzkumná data pochází z laboratoře BioDat od Mgr. Michala Vavrečky, PhD. Vzorek výzkumných subjektů se díky zachování kvality dat redukoval na $n=25$. Data nebyla nijak upravována, jedná se pouze výstup měření EEG, který byl pro účely bakalářské práce analyzován.

Předpokládá se, že se emoce (pozitivní, negativní a neutrální) od sebe navzájem významně liší a že tyto mají i různý průběh zpracování.

8 Výzkumný problém

V rámci stanovování výzkumného problému lze hovořit v zásadě o několika otázkách, které logicky vyvstávají a sice:

I. Jaká je lokalizace valenčně pozitivních a negativních emocí ve frontálním kortexu při bdělém stavu alfa rytmů?

Dle různých autorů je tato lokalizace přisouzena zejména pravé hemisféře, neboť se jedná o specializační doménu této mozkové polokoule, nicméně autoři jako Davidson hovoří o tom, že pozitivní emoce se vyskytují v levé frontální hemisféře a negativní v pravé frontální hemisféře (Stuchlíková, 2007). U neutrálních emocí, jak se zdá, není lokalizace popsána, IAPS však tyto emoce definuje průměrnou valence se sníženou intenzitou.

II. Jak probíhá zpracování emocí v krátkém (3s) časovém rozhraní?

Již dříve zde byla zmíněna teoretická východiska spolu s významnými teoriemi emocí, které by měly mít v rámci interpretace výsledků svou roli.

Design výzkumné části si nese s sebou prvky experimentu s tím, že výsledky nelze prohlašovat za směrodatné pouze z výsledných hodnot, neboť u toho druhu experimentu signifikance nedokládá přímou souvislost propojení, nýbrž jejich pravděpodobnost propojení (Kropotov, 2007).

9 Hypotézy

Pro výzkumné účely bakalářské práce je nutné stanovit výzkumné hypotézy. Tyto hypotézy se vztahují k naměřeným a zpracovaným informacím z EEG. Tato data budou podrobena následné statistické analýze za účelem verifikace hypotéz. Pro komplexnost výzkumných hypotéz byly stanoveny i patřičné subhypotézy.

H1: Projevy pozitivních, negativních a neutrálních emocí, vyvolané vizuálním stimulem evokující emoční odezvu, mají svou rozdílnou frontální alfa EEG asymetrii během klidového stavu.

H1a: Pozitivní emoce, respektive pozitivní odezva na pozitivní vizuální emoční stimul se projevuje levostrannou hemisférickou EEG asymetrií v klidovém stavu.

H1b: Negativní emoce, respektive negativní odezva na negativní vizuální emoční stimul se projevuje pravostrannou hemisférickou EEG asymetrií v klidovém stavu.

H1c: Neutrální emoce, respektive neutrální odezva na neutrální vizuální emoční stimul se neprojevuje hemisférickou EEG asymetrií v klidovém stavu.

H2: Existuje signifikantní rozdíl mezi pozitivními a negativními projevy emocí ve frontální alfa EEG asymetrii v klidovém stavu.

H3: Existuje signifikantní rozdíl v procesu zpracování pozitivních, negativních a neutrálních emocí v alfa EEG asymetrii v klidovém stavu.

Taktéž je vhodné definovat některé prvky hypotézy, vizuálními stimuly se rozumí obrazový materiál mezinárodní databáze IAPS. Emoční odezva je pak reakce pravé a levé hemisféry frontálního kortexu, respektive jejich asymetrie. Asymetrie jsou měřeny koeficientem asymetrií, který udává lokalizaci hemisfér. Průběh emocí je vyjádřen indexem asymetrií, který vyjadřuje míru asymetrií, tedy intenzitu. Pozitivní, negativní a neutrální emoce jsou definovány dle valence a arousal. Alfa asymetrie definuje rozdíl hemisférické aktivity frontálního kortexu v klidovém stavu u EEG frekvencí 8-12Hz.

10 Experimentální design

Na počátku experimentu bylo vygenerováno unikátní číslo pro každý výzkumný subjekt. Iniciovalo se nastavení EEG zařízení a konfigurace s PC. Pro datové analýzy byl použit matematický software Matlab (MathWorks inc.) a pro samotnou manipulaci a processing dat EEGLab.

10.1 Vzorek

Původní vzorek obsahoval $N=31$ subjektů, díky vyloučení několika subjektů pro závadný charakter naměřených dat celkový výzkumný vzorek čítal $n=25$. Průměrný věk subjektů čítal $\mu=24,1$. Genderové rozdělení bylo rozděleno vyváženě $n_{\text{muži}}=15$ a $n_{\text{ženy}}=16$, přičemž všichni prokazovali normální vizuální percepci. Korekce vizuální percepce v rámci dioptrií byly tolerovány. U participujícího subjektu bylo vyžadováno, aby během procesu měření nebyl pod vlivem žádných látek ani medikace. V souboru byly dva levoruké subjekty, ty byly vyřazeny později, jejich vstupy nejsou v analýze dat zohledněny.

Všichni účastníci svým podpisem potvrdili svou dobrovolnou účast na experimentu a souhlasili se zpracováním jejich výsledků.

10.2 Průběh experimentu

Experiment je založen na systematické expozici vizuálních podnětů subjektům, zatímco byla současně měřena EEG aktivita skalpu. Vizuálními podněty v tomto případě byly obrázky, které byly kategorizovány mezinárodní databází vizuálních stimulů IAPS. Tyto obrázky, vzhledem ke svojí valenci a intenzitě evokovaly rozdílné druhy emocí, v zásadě však generovaly pozitivní, negativní a neutrální emoce. Pozitivní emoce příjemnými vizuálními stimuly, pro příklad se jednalo o obrázky smějících se lidí, kořat, barevného ovoce, romantického zátiší. Negativní emoce pak takřka opačně, tedy hladovějícím africkým chlapcem, zamračenou tvář, smutným mužem, který kouří či silně znečištěnou toaletou. Neutrální emoce pak dle IAPS odpovídají nízké intenzitě a průměrné valenci, jedná se o fotografie hodin, plánu MHD, bot, oken, krávy či ulice. Z prostudované literatury ovšem jednoznačně nevyplývá lokalizace neutrálních emocí, tak jak je tomu u pozitivních či negativních emocí.

Při dostavení subjektu na experiment, byl tento požádán, aby vešel do prázdné místnosti s akustickým utěsněním. Před započítím samotného měření byl subjekt požádán o relaxaci na kancelářské židli, jednalo se o provedení jednoduchého relaxačního cvičení, kdy měl následovat instrukce napsané na připraveném LCD displeji. Úkolem bylo mít 2 minuty zavřené oči a 2 minuty otevřené.

Samotná experimentální část probíhala tím způsobem, že byly prezentovány obrázky v předem stanoveném pořadí tak, aby se subjektu jevily jako náhodné. Každá valenční dimenze emocí obsahovala 22 obrázků, celkem tedy 66 podnětových sad.

Obrázky byly exponovány v intervalu 3,5 – 4s s tím, že mezi obrázky se neobjevoval stimul, respektive zobrazovala se tmavá obrazovka.

10.3 Zpracování a kvantifikace EEG

Data byla po exportování převedena do formátu EEGlabu *.set. Tyto soubory byly resamplovány na 250Hz, utvořeny značky, kdy docházelo ke stimulům tzv. epochy v intervalu od -1.000 s do 3.999 s. Výzkumný design byl zohledněn i zde, byla vybrána pouze data, kdy byl subjektům vyobrazován obsah s afektivní odezvou pozitivní, negativní a neutrální. Záměrně byly vynechány rušící elementy jako mrkání očí, klidová fáze apod. Nebyla provedena dekompozice ICA. Měření proběhlo na 111 elektrodách. Tato data byla vložena do jednotného archivu *.study. Byla provedena celková ERPS (event-related perturbation spectra) pomocí příkazu *pop_precomp*.

Do analýzy byly zahrnuty pouze alfa rytmy v intervalu 8-12 Hz na frontální elektrodách Fp1, Fp2, F9, F7, F5, F1, F2, F6, F8 a F1012. Data byla vyexportována ze spektrálních map alfa vln do matice dat. Z ní se postupně vyextrahovala data pro každý subjekt zvlášť, tato data byla uspořádána do tabulky 10x200 (frekvence x čas). Frekvence pro jednotlivce se zprůměrovala klasickým aritmetickým průměrem příkazem *mean*. Pro každý subjekt byla tedy k dispozici tabulka 1x200 (frekvence x čas), která je v této fázi již vhodná pro vizualizaci grafem.

¹² Jedná se o elektrody, jež pokrývají oblast frontálního laloku, respektive oblast mezi centrální a laterální rýhou. Tyto elektrody jsou umístěny párově tak, aby každá elektroda měla svůj protějšek v druhé hemisféře skalpu.

Z takto připravených dat, u nichž každému časovému úseku odpovídá jedna průměrná hodnota frekvence frontální alfy, se počítaly indexy asymetrie za pomoci podílu součtu a rozdílu pravé a levé hemisféry.

Dále koeficient asymetrie, kdy dochází pouze ke zvýraznění rozdílů za pomoci variance a logaritmu. Velmi často ovšem dochází k vystředění za pomoci lineární transformace, kdy index hemisférických asymetrií je vynásoben počtem proměnných v designu výzkumu, v tomto konkrétním případě tři, a sice pro pozitivní, negativní a neutrální emoce.

Výstupem praktické části kromě zpracovaných dat je i skript pro zpracování dat viz Příloha 1.

11 Analýza dat

Veškerá analýza dat včetně kvantifikace EEG byla provedena v matematickém softwaru pro výpočty, vizualizaci a programování MATLAB R2013a (Mathworks, 2014).

Manipulace s daty, ERSP analýza, vytvoření archivu studie a další specifické operace související přímo s daty signálu byly provedeny ve speciálním cross-platform toolboxu¹³ EEGLAB (Derlome & Makeing, 2004).

Z distribuce funkce bylo zjištěno, že data nemají normální rozložení, a proto byly užity výhradně neparametrické statistické metody.

11.1 Kruskal-Wallis ANOVA

Tato metoda byla použita pro zjištění základních výsledků, tedy pro přehledové porovnání všech tří výzkumných designů.

Po výpočtu hemisférických asymetrií došlo ke sjednocení výsledků všech subjektů pomocí aritmetického průměru. Výsledkem byl průměrný rozdíl obou hemisfér alfa vln pro pozitivní emoce, respektive podněty evokující pozitivní valenci, negativní a neutrální emoce.

Dále byl celý průběh měření ($t=3s$) rozdělen po cca 1s do 3 časových expozičních. Které byly označeny t_1 pro první třetinu, t_2 pro druhou třetinu a t_3 pro závěr celého měření. Toto rozdělení odpovídá obecnému principu průběhu emocí. Jedna ze současně uznávaných teorií pochází od Damasia (1996) z výzkumu tzv. somatických markerů. Po percepci stimulu dochází u člověka k do jisté míry automatickému zpracování emocí, zpravidla v odpovídajících korových oblastech mozku dle typu podnětu, dále pak k evaluaci a kognitivnímu zpracování. Výsledkem tělové odezvy pak nastává komplexní emoční odezva, zejména v somatosenzorických korových oblastech mozku (Nakonečný, 2013).

Jednotlivé třetiny měření tedy reprezentovaly patřičné části procesu zpracování emocí. Tyto časové úseky byly taktéž porovnávány zvláště mezi sebou. Pro vizualizaci byly použity skupinové krabicové diagramy s intervaly spolehlivosti.

¹³ Doplněk do softwarového balíčku, který je možné užívat napříč několika operačními systémy (Windows, Linux, Mac popřípadě další).

11.2 Wilcoxonův t-test

Pro detailní porovnání jednotlivých emočních tříd byl použit neparametrický ekvivalent párového t-testu. Emoce byly porovnávány pouze v rámci jednotlivých časových úseků t_1 , t_2 a t_3 .

11.3 Softwarové zpracování EEG dat

Výstupem měření elektroencefalografie pro softwarové zpracování bývají zpravidla příznačně pojmenované hrubé RAW soubory. Ty obsahují kromě převedeného signálu na binární soustavu i šum měřicího zařízení, informace o všech elektrodách a zpravidla i jejich umístění na osách X, Y a Z. Takový soubor je značně zatížen datovou náročností, a to pro nahuštěnost informací v něm. Nejen že by nebylo příliš snadné uchovávat obrovské datové soubory, ale především se v nich skrývají cenné informace, které je třeba pomocí pokročilých statistických metod rozklíčovat. Existují matematické vzorce, které umožňují z těchto dat filtrovat informace o aktivitě a dokonce celkem spolehlivě odstraňují šum nebo informace o signálu z nepotřebných elektrod (Niedermeyer & Lopes da Silva, 2005).

K tomu účelu lze účelu využít několik specializovaných programů se širokou vlnou možností.

11.3.1 EEGLAB

EEGLAB patří mezi volně dostupné cross-platform toolboxy pro prostředí matematického softwaru MATLAB (The MathWorks Inc.)

Zprostředkovává konzoli pro zpracování jednoho či více měření EEG signálu, stejně jako měření EP (evokované potenciály) s libovolným počtem elektrod. Mezi další metody zpracování zvládá program vizualizaci dat, a to jak skalpu ve 2D, tak i prostorové rekonstrukce signálu ve 3D. Filtruje snímky, odstraňuje manuálně i za pomoci automatických logaritmu artefakty signálu. Z pokročilých funkcí je možné využít analýzy nezávislých vzorků (ICA) (Delorme & Makeig, 2004).

12 Výsledky

Celkové výsledky ukázaly, že za použití neparametrické statistické metody Kruskal-Wallis ANOVA, je vztah mezi všemi třemi emocemi v průběhu celých 3s je signifikantní $H_{(2)}=76,2929$, $p=2,7115 \cdot 10^{-17}$. Lze tedy usuzovat, že alespoň dvě emoce v celkovém průběhu experimentu jsou odlišné.

Koeficienty hemisferických asymetrií jsou pro pozitivní emoce $a_{\text{pos}}=-0,2384$, pro negativní emoce $a_{\text{neg}}=0,0293$ a pro neutrální emoce $a_{\text{neut}}=-0,3128$.

Pro jednotlivé časové úseky u pozitivních emocí je index asymetrie v čase t_1 $\text{pos}_{t1}=-3,0784$ (Mdn=-0,3445, SD=0,2146), dále $\text{pos}_{t2}=-1,9949$ (Mdn=0,1010, SD=0,3688) a $\text{pos}_{t3}=-3,5490$ (Mdn=-0,6512, SD=0,1696). Celková směrodatná odchylka pozitivních emocí je $\text{SD}_{\text{pos}}=0,7969$.

Indexy asymetrie pro všechny časové úseky u negativních emocí nabývají hodnot $\text{neg}_{t1}=-2,8587$ (Mdn=-0,7381, SD=0,2395), $\text{neg}_{t2}=-2,4792$ (Mdn=-0,6393, SD=0,2895). Poslední třetina pak $\text{neg}_{t3}=-2,4305$ (Mdn=-0,5826, SD=0,2966).

Neutrální emoce a jejich indexy asymetrií jsou následující $\text{neutr}_{t1}=-4,0568$ (Mdn=0,6925, SD=0,5118), $\text{neutr}_{t2}=-1,3398$ (Mdn=-0,8252, SD=0,5118), $\text{neutr}_{t3}=-2,1997$ (Mdn=0,5682, SD=0,3329)

Rozdíly jednotlivých časových úseků pro všechny tři emoční třídy je v čase t_1 $H_{(2)}=75,65$, $p=3,73571 \cdot 10^{-17}$, pro čas t_2 $H_{(2)}=70,62$, $p=4,63392 \cdot 10^{-16}$ a pro čas t_3 $H_{(2)}=11,48$, $p=0,0032$.

Detailní porovnání jednotlivých emocí v daných časových úsecích je vyobrazeno v následujících tabulkách pro Wilcoxonův t-test, kdy hodnota W definuje celkový skóre testu. Proměnná p klasicky definuje hladinu významnosti. Hodnota h se vztahuje k nulové hypotéze, kdy nabývá hodnot od 0 do 1, tedy 0 pro případ, kdy nastala nulová hypotéza a 1, když se obě množiny dat signifikantně liší.

Tab. 2: Porovnání všech emočních tříd v čase t_1

Porovnávané emoce	W	p	h
pozitivní - negativní	6,6287	$3,3855 \cdot 10^{-11}$	1
pozitivní - neutrální	8,4037	$4,3265 \cdot 10^{-17}$	1
neutrální - negativní	-0,4301	0,6671	0

Tab. 3: Porovnání emočních tříd v čase t_2

Porovnávané emoce	W	p	h
pozitivní - negativní	7,4252	$1,1261 \cdot 10^{-13}$	1
pozitivní - neutrální	7,0383	$1,9453 \cdot 10^{-12}$	1
neutrální - negativní	1,4131	0,1576	0

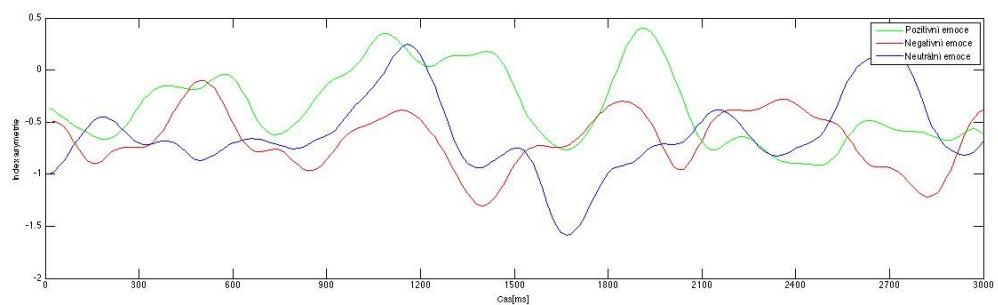
Tab. 4: Porovnání emočních tříd v čase t_3

Porovnávané emoce	W	p	h
pozitivní - negativní	-0,4761	$3,3855 \cdot 10^{-11}$	0
pozitivní - neutrální	-3,0660	$4,3265 \cdot 10^{-17}$	1
neutrální - negativní	-2,7456	0,006	1

12.1 Vizualizace dat

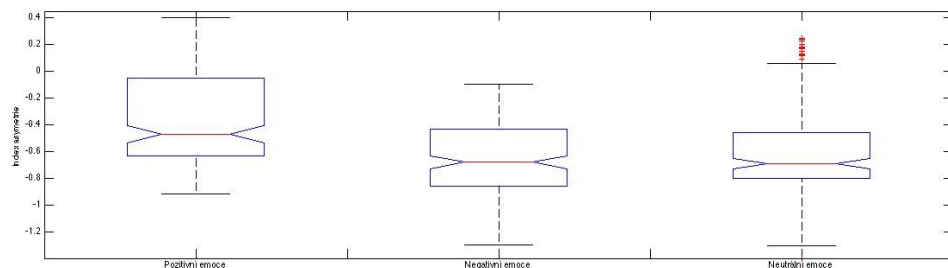
Pro lepší přehlednost a interpretaci byla data navíc vhodně vizualizována, a sice do spojnicového grafu, viz Obr. 1, za použití indexu asymetrií, který velmi vhodně demonstruje průběh měření a reprezentuje aritmetický průměr pro pozitivní, negativní a neutrální emoce všech 25 subjektů.

Obr. 1: Index průměrné hemisférické asymetrie u všech subjektů



Porovnání jednotlivých emočních tříd bylo taktéž z přehlednosti vizualizováno a to za pomoci krabicových diagramů s intervaly spolehlivosti viz Obr. 2.

Obr. 2: Porovnání všech tří emočních tříd



13 Diskuze

Hypotéza H1 nepotvrzuje všechny subhypotézy. Je vycházeno z koeficientů hemisférických EEG asymetrií, které zobecňují poměr aktivity v levé a pravé hemisféře. Záporná hodnota odkazuje na levostrannou aktivitu a kladná hodnota na pravostrannou aktivitu (Davidson, 1988).

První subhypotéza H1a je přijata na základě negativní hodnoty koeficientu hemisférických asymetrií. Výsledná hodnota vykazovala levostrannou aktivitu v kongruenci s teorií Davidsona (1995) i Allena & Coana (2004), co do valence pak i Stuchlíkové (2007).

Druhá subhypotéza H1b je také přijata na základě koeficientu hemisférických asymetrií, přestože vykazoval nízké pozitivní hodnoty.

Poslední subhypotéza H1c přijata nebyla z důvodu významně vyšší levostranné aktivity než u negativních emocí. Literatura v podstatě nezohledňuje lokalizaci neutrálních emocí, pakliže je o ní zmínka, tak v souvislosti s tím, že slouží jako kontrolní emoce k pozitivním a negativním emocím (Niedermeyer & Lopes da Silva, 2005). U dat se však objevuje velmi vysoká variabilita oproti zbylým třídám emocí. Toto by mohlo značit na chybné měření, popřípadě na chybně zvolené emoční stimuly. V tomto případě by totiž emoční stimuly vyvolávaly konkrétní druh emoce, místo neutrality. Zároveň je dlužno říci, že patrně nelze jednoznačně definovat neutrální vizuální podnět, byť IAPS obsahuje řadu standardizovaných podnětů.

Hypotéza H2 byla kompletně přijata na základě neparametrického testu Kruskal-Wallis ANOVA s výrazně nízkou p hodnotou. Tato hodnota potvrzuje, že existuje signifikantní rozdíl mezi pozitivními a negativními emocemi. Bylo vycházeno z jednoduché premisy, je-li subjekt exponován emočnímu stimulu, bude na něj reagovat kongruentní emocí.

Hypotéza H3 nebyla přijata. Bylo zjištěno, že pozitivní emoce jsou více excitovatelné než negativní emoce. Přičemž pozitivní emoce v čase 0-1s začínají s relativně vysokou intenzitou, jedná se o úsek automatické afektivní odezvy (Nakonečný, 2013), kdy subjekt reaguje na podnět pouze emočně a bez kognice. V druhém časovém

úseku 1-2s dochází ke kognitivnímu zhodnocení, intenzita klesá a stoupá až při komplexní emoční odezvě v intervalu 2-3s (Niedermeyer & Lopes da Silva, 2005). U negativních emocí je intenzita takřka konstantní, hodnoty vykazují minimální variabilitu a lze usuzovat, že negativní emoce jsou spíše spojeny s náladou a nemají takový excitační charakter jako emoce pozitivní (Koukolík, 2012). Rozlišení jednotlivých emocí je pak takové, že v prvním časovém úseku 0-1s se liší pozitivní a negativní emoce, ale také pozitivní a neutrální emoce. Stejně tak tomu je kolem času 1-2s. Ve třetí vteřině, tedy 2-3s, jsou naopak rozlišeny pouze neutrální emoce ve vztahu k pozitivním a negativním.

Výsledky ukazují na odpovídající lokalizaci emocí v rámci frontální alfa EEG asymetrie, tedy pozitivní na levostrannou a negativní na pravostrannou aktivitu. Vymykají se pouze neutrální emoce, u nichž přichází v úvahu špatné zvolení stimulu popřípadě je jejich lokalizace skutečně levostranná. Jejich charakter je deskriptivně těžko uchopitelný vzhledem k jejich proměnlivosti a prchlivosti. Jejich průměr je značně podobný pozitivním emocím, ale s výrazně vyšší excitací a variabilitou. Celkově však emoce lze od sebe rozlišit, a to statisticky významně. Jedná se o rozlišení pozitivních a negativních emocí, což potvrzuje teorii rozdílné lokalizace, neboť je zřejmé, že odezvy na stimul pochází z jiné hemisféry.

Přínosem práce je confirmace několika základních teorií o frontální alfa EEG asymetrii s tím, že není jasná lokalizace neutrálních emocí. Zároveň je zajímavé, že poslední úsek 2-3s, kdy dochází ke komplexní odezvě, je statisticky nevýznamný a to mezi pozitivními a negativními emocemi. Je možné, že během celkové odezvy se jedinec nevyzná přesně ve svých emocích, po tom, co patrně proběhne při kognitivním zhodnocení jistá atribuce významu k emoci (Weiner, 2013).

Výsledky díky zvolené metodologii nebyly zřejmě zatíženy chybou výzkumníka, nicméně nelze vyloučit správnost EEG metodologie, neboť se zatím jedná o v celku nepopsaný fenomén, co se týče vztahu emocí a EEG asymetrií. Emoce jsou z principu velmi těžko uchopitelným jevem a jejich interpretace je o toto zatížena. Tedy raději bez vyvození dalších závěrů je výhodnější navrhnout řadu dalších zkoumání, zejména v oblasti emocí ve spojení s faciální odezvou (viz Davidson, 1995), za účelem získání více hutných dat. Lze tyto poznatky využít v aplikovaných psychologických vědách, ale patrně toto

zjištění vyžaduje další confirmaci. Současně by bylo vhodné zkoumat i lokalizaci neutrálních emocí a jak s nimi jedinec zachází.

14 Závěr

V rámci praktické části bakalářské práce byl znovu potvrzený fakt, že pozitivní emoce, respektive odezva na pozitivní emoční stimul vyvolává aktivitu v levém frontálním kortexu, jež lze pozorovat u klidového stavu při alfa rytmu pomocí EEG. U negativních emocí je tomu naopak, vykazují aktivitu v pravé hemisféře. Byl však nově zjištěný fakt, že zvýšená aktivace, která odpovídá neutrálním emocím se vyskytují v levé hemisféře s větším indexem hemisférických asymetrií, tedy s větší intenzitou než emoce pozitivní.

Taktéž byl potvrzen signifikantní rozdíl mezi pozitivními emocemi a negativními emoci během celého experimentu.

Emoce pozitivního charakteru jsou snadno excitovatelné, na rozdíl od negativních, které jsou spíše konstantního rázu. Vybuzení neutrálních emocí se zdá mnohem jednodušší než u pozitivních emocí. V průběhu zpracování emocí se nejvíce liší pozitivní a negativní emoce v intervalech 0-1s tedy při automatické afektivní odezvě a 1-2s tedy při kognitivním zpracování. Poslední časový úsek 2-3s nevykazuje statistickou významnost u těchto emocí a rozlišuje signifikantně pouze neutrální emoce od pozitivních a negativních emocí.

Přínosem práce je potvrzení již zmíněných teorií s tím, že vyvstává otázka lokalizace a zpracování neutrálních emocí. Práce taktéž přináší teoretické základy do českého prostředí, neboť zde není tento typ experimentů popsán. Neméně významným přínosem je také popsání procesu zpracování emocí v oblasti formálního kortexu v alfa rytmech 8-12Hz při bdělém stavu.

Pro další doporučení výzkumu je jistě vhodné zjistit lokalizaci neutrálních emocí a jejich zpracování, zda konstantně vykazují vysokou variabilitu a proč. Současně by bylo možné se zaměřit na podpůrné metody, pro získání hutnějších dat, v případě, že by neutrální emoce nebyly kvalitně evokovány neutrálními vizuálními podněty. V neposlední řadě by bylo taktéž vhodné blíže popsat komplexní odezvu emocí v alfa frontálních asymetriích.

IV. Souhrn

Bakalářská práce se zabývá problematikou emocí z pohledu jejich neuropsychologických korelátů. Jedním z cílů práce je přehled významu emocí. Popisuje jejich funkce, obecná východiska. Odkazuje na různé aspekty emocí u významných, zejména literárních autorů. Na jejich výrocih demonstuje proměnlivost a složitost jejich definice. Kapitulu o významu emocí pak uzavírají teoretická východiska emocí.

Pro úplnost práce zohledňuje i významné teorie emocí, zejména pak spory o prvenství kognice Zajonce a Lazaruse, atribuční teorii Weinerja a další.

Neboť se jedná o hledání neuronálních struktur z pohledu psychologie, je vhodné čtenáře uvést i do anatomie a fyziologie mozku. Z hlediska neuroanatomie jsou popsány základní mozkové oblasti, které jsou v úzkém vztahu k emocím. Speciální pozornost si pak pochopitelně zasluhuje limbický systém, jakožto obecně uznávané centrum emocí. Na tyto struktury nasedá způsob přenosu vzruchu. Vzhledem k zaměření praktické části je zde i pojednání o elektrických vlastnostech nervového vzruchu a šíření akčních potenciálů.

Russellův kruhový model emocí pak propojuje některé již probrané kapitoly. Rozděluje emoce do dvou charakteristik v závislosti na valenci - interval libosti až nelibosti a arousal - intenzita aktivace organismu. Kombinací těchto dvou dimenzí lze dosáhnout čtyř různých kvalit emocí. Tohoto schématu využívá zejména Mezinárodní afektivní obrazový systém, který disponuje značným obrazovým materiálem, u kterého jsou tyto kvality standardizovány. Pro vyvolání emocí u člověka pomocí vizuálního stimulu lze použít standardizovaných podnětových sad. Pozitivní emoce jsou vyvolané obrázky s přívětivými a usměvavými tvářemi, barevným ovocem či roztomilými mláďaty. Negativní emoce jsou vyvolávány opačnými obrázky - silně znečištěná toaleta, rozzlobené tváře, nebezpečná zvířata. Neutrální emoce odpovídají průměrné valenci, tedy nejsou ani příjemné ani nepříjemné a dosahují průměrné až nízké intenzity, jde o obrázky brýlí, hodin, bot či otevřeného okna.

O návaznosti na vyvolávané emoce vizuálními stimuly hovoří kapitola o hemisférických asymetriích. Zmiňované pozitivní a negativní emoce mají svou speciální lokalizaci v oblasti frontální asymetrie u klidového stavu alfa pro frekvence 8-12Hz. Vyvolá-li se u člověka emoce vizuálním stimulem lze její zpracování sledovat v oblasti

frontálního kortexu. Pakliže je aktivita spíše levostranná, jedná se o pozitivní asymetrii. To se pozná dle koeficientu asymetrie, který by pro pozitivní emoce měl vykazovat záporné hodnoty. U pravostranné aktivity jsou zapojeny negativní emoce, které nabývají kladných hodnot koeficientu asymetrie. Neutrální emoce však tuto lokalizaci ani vztah koeficientu asymetrie nemají popsanou. V literatuře se hovoří o tom, že neutrální emoce slouží jako kontrolní emoce k pozitivním a negativním emocím.

Práce zmapovala recentní oblasti výzkumu hemisférických asymetrií, a to z pohledu fylogenetického, dědičného, psychopatologického. Taktéž z hlediska motivace, afektivity a citové i fyziologické odezvy.

V rámci využití těchto poznatků popisuje klinickou aplikaci. Bylo totiž zjištěno, že aktivita v hemisférických asymetriích může sloužit jako indikátor depresivity.

Poté práce utváří most mezi teoretickou a praktickou částí pomocí kapitoly o elektroencefalografii. Kromě definice a užití, porovnává EEG s jinými zobrazovacími metodami. Spíše se pak soustředí na aplikaci EEG při výzkumu emocí, zejména pak v oblasti frontální asymetrie.

Cílem praktické části bakalářské práce je lokalizace emoční odezvy na vizuální stimul. Předpokladem se staly teorie Davidsona (1988, 1995, 1995) v nichž popisuje způsob, jakým tuto lokalizaci zjišťovat. Hovoří však pouze o pozitivních a negativních emocích. Dále si práce klade za cíl popsat odezvu na vizuální emoční stimuly. Díky kvalitnímu časovému rozlišení EEG došlo k rozdělení průběhu zpracování emocí na tři časové expozice po 1s na 0-1s pro automatickou afektivní odezvu, 1-2s pro kognitivní zpracování a 2-3s pro celkovou emoční odezvu.

Data z EEG pro 25 subjektů pochází z experimentu neurolaboratoře BioDat. Další analýza probíhala samostatně v programu Matlab a EEGLab.

Výzkumný vzorek po vyřazení nevhodných subjektů čítal $n=25$ s průměrným věkem $\mu=24$, poměr žen a mužů byl téměř 1:1.

Průběh experimentu byl takový, že po relaxačním cvičení bylo subjektům představeno 66 obrázků po 3,5-4s. Obsahovaly obrázky IAPS pro stimulaci pozitivních (vysoká kladná valence, vyšší intenzita), negativních (vysoká záporná valence, vyšší

intenzita) a neutrálních (průměrná valence, průměrná až nízká intenzita). Během toho, co subjekty sledovaly obrazové stimuly, docházelo ke snímání EEG signálu celé hlavy. Pro analýzu pak byly použity pouze elektrody, které byly umístěny ve frontální oblasti.

Pro potvrzení hypotéz byly použity neparametrické statistické nástroje - Kruskal-Wallis ANOVA a Wilcoxonův t-test. Analýza EEG signálu proběhla pomocí EEGLAB.

Výsledky potvrdily, že aktivita při zpracování pozitivních emocí má lokalizaci v levé hemisféře frontálního kortexu. Negativní emoce, respektive odezva na negativní emoce, mají tuto lokalizaci v pravé hemisféře frontálního kortexu. Ukázalo se však, že neutrální emoce, vyjádřené zvýšenou aktivitou v levé hemisféře mají větší intenzitu než pozitivní emoce. Byla tedy potvrzena hypotéza, že lze signifikantně rozlišit aktivitu frontálního kortexu při odezvě na pozitivních a negativních emocí u vizuálních stimulů. Dále se však nepotvrdilo, že existuje signifikantní rozdíl při zpracování pozitivních, negativních a neutrálních emocí. K tomu závěru vede fakt, že afektivní odezva (0-1s) a kognitivní zpracování (1-2s) toto rozlišení emocí má statisticky významné. Při komplexní odezvě (2-3s) však statisticky významné rozlišení emocí není.

Bylo také zjištěno, že pozitivní emoce, ale i neutrální emoce jsou snadněji vyvolatelnější než negativní emoce, které si drží svůj konstantní charakter.

Vzhledem k tomu, že jedná o experiment, nelze tyto výsledky příliš zobecnit. Je třeba provést další šetření se zaměřením na lokalizaci a význam neutrální emocí, pakliže existuje konstrukt neutrálních emocí. Současně by bylo vhodné detailně popsat zpracování emocí u vizuálních stimulů v projevech frontálního kortexu, kdy by bylo dobré zaměřit se na komplexní odezvu emocí a vliv kognitivního zhodnocení.

V. Reference

Allen, J. J., Harmon-Jones, E., & Cavender, J. H. (2001). Manipulation of frontal EEG asymmetry through biofeedback alters self-reported emotional responses and facial EMG. *Psychophysiology*, 38(4), 685–693.

Anochin, P. K. (1968). *Biologija i nevrofiziologija uslovnogo refleksa*. Moskva: Izd. Medicina.

Anokhin, A. P., Heath, A. C., & Myers, E. (2006). Genetic and environmental influences on frontal EEG asymmetry: A twin study. *Biological Psychology*, 71(3), 289–295.

Barrett, L. F. (1998). Discrete emotions or dimensions? The role of valence focus and arousal focus. *Cognition & Emotion*, 12(4), 579–599.

Bear, M. F. (2007). *Neuroscience: exploring the brain* (3rd ed.). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

Berthoz, S., Blair, R. J. R., Le Clec'h, G., & Martinot, J.-L. (2002). Emotions: From neuropsychology to functional imaging. *International Journal of Psychology*, 37(4), 193–203. doi:10.1080/00207590244000016

Blair, R. J. R., Morris, J. S., Frith, C. D., Perrett, D. I., & Dolan, R. J. (1999). Dissociable neural responses to facial expressions of sadness and anger. *Brain*, *122*(5), 883–893.

Carter, R. (2010). *Lidský mozek*. V Praze: Knižní klub.

Carter, R., & Frith, C. D. (2010). *Mapping the mind*. Berkeley: University of California Press.

Clare, S. (1997). *Functional MRI: Methods and applications*. University of Nottingham.

Coan, J. A., & Allen, J. J. . (2004). Frontal EEG asymmetry as a moderator and mediator of emotion. *Biological Psychology*, *67*(1-2), 7–50. doi:10.1016/j.biopsycho.2004.03.002

Damasio, A. (2001). Fundamental feelings. *Nature*, *413*(6858), 781–781. doi: 10.1038/35101669

Damasio, A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, *351*(1346), 1413–1420. doi:10.1098/rstb.1996.0125

Darwin, C. (1965). *The expression of the emotions in man and animals*. Chicago: University of Chicago Press.

Davidson, R. J. (1988). EEG measures of cerebral asymmetry: Conceptual and methodological issues. *International Journal of Neuroscience*, 39(1-2), 71–89.

Davidson, R. J., & Irwin, W. (1999). The functional neuroanatomy of emotion and affective style. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(1), 11–21.

Davidson, R. J., Kalin, N. H., & Shelton, S. E. (1992). Lateralized effects of diazepam on frontal brain electrical asymmetries in rhesus monkeys. *Biological Psychiatry*, 32(5), 438–451.

Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9–21.

Diego, M. A., Field, T., Jones, N. A., & Hernandez-Reif, M. (2006). Withdrawn and intrusive maternal interaction style and infant frontal EEG asymmetry shifts in infants of depressed and non-depressed mothers. *Infant Behavior and Development*, 29(2), 220–229. doi:10.1016/j.infbeh.2005.12.002

DiFrancesco, M. W., Holland, S. K., & Szaflarski, J. P. (2008). Simultaneous EEG/Functional Magnetic Resonance Imaging at 4 Tesla: Correlates of Brain Activity to Spontaneous Alpha Rhythm During Relaxation: *Journal of Clinical Neurophysiology*, 25(5), 255–264. doi:10.1097/WNP.0b013e3181879d56

Dolcos, F., Rice, H. J., & Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry and aging: right hemisphere decline or asymmetry reduction. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(7), 819–825.

Dostojevskij, F. M. (2007). *Zločin a trest*. (J. Hulák & T. Glanc, Přek.). Praha: Academia.

Epstein, C. M. (1983). *Introduction to EEG and evoked potentials*. Philadelphia: Lippincott.

Fuster, J. M. (1999). *Memory in the cerebral cortex: An empirical approach to neural networks in the human and nonhuman primate*. Cambridge: MIT press.

Gold, C., Fachner, J., & Erkillä, J. (2013). Validity and reliability of electroencephalographic frontal alpha asymmetry and frontal midline theta as biomarkers for depression. *Scandinavian Journal of Psychology*, 54(2), 118–126.

Harmon-Jones, E., & Allen, J. J. (1998). Anger and frontal brain activity: EEG asymmetry consistent with approach motivation despite negative affective valence. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74(5), 1310.

Hartl, P., & Hartlová, H. (2009). *Psychologický slovník*. Praha: Portál.

Hendelman, W. (2006). *Atlas of functional neuroanatomy*. Boca Raton: CRC Press.

James, W. (1983). *The principles of psychology*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.

Kalin, N. H., Larson, C., Shelton, S. E., & Davidson, R. J. (1998). Asymmetric frontal brain activity, cortisol, and behavior associated with fearful temperament in rhesus monkeys. *Behavioral Neuroscience*, *112*(2), 286.

Karcz, A., Paluch, K., Zarzycka, M., & Denkiewicz, M. (2009). Zastosowania EEG. *Uniwersytet Warszawski*. Získáno z http://www.biol.uw.edu.pl/sknn/pliki/plakaty/eeg_plakat2.pdf

Klimeš, L. (2005). *Slovník cizích slov*. Praha: Státní pedagogické nakl.

Koukolík, F. (2012). *Lidský mozek: funkční systémy, norma a poruchy*. Praha: Galén.

Kropotov, Y. D. (2007). *Kolichestvennaya EEG, kognitivnyye vyzvannyye potentsialy i neyroterapiya v diagnostike i lechenii nervno- psikhicheskikh zabolevaniy*. S. Peterburg. Získáno z klnf.org/articles/download/123

Kulišťák, P. (2003). *Neuropsychologie*. Praha: Portál.

Lazarus, R. S. (1991). *Emotion and adaptation*. New York: Oxford University Press.

Lazurenko & Kiroy. (2010). Otrazheniye mezhpolusharnoy asimmetrii v spektral'nykh kharakteristikakh EEG razlichnykh sostoyaniy u lits so (slaboy) i (sil'noy) nervnoy sistemoy. *SciPeople*. Získáno 5. května, 2014, z <http://scipeople.ru/publication/101939/>

LeDoux, J. (2003). The emotional brain, fear, and the amygdala. *Cellular and Molecular Neurobiology*, 23(4-5), 727–738.

Lerner, J. S., & Keltner, D. (2000). Beyond valence: Toward a model of emotion-specific influences on judgement and choice. *Cognition & Emotion*, 14(4), 473–493.

Margaret, B. (n.d.). The Center for the Study of Emotion and Attention. Získáno 3. dubna, 2014, z <http://csea.php.ufl.edu/Media.html#topmedia>

MATLAB and Statistics Toolbox Release 2013b. (2013). Natick, Massachusetts, United States: The MathWorks, Inc. Získáno z <http://www.mathworks.com/products/matlab/>

Mikutta, C., Altorfer, A., Strik, W., & Koenig, T. (2012). Emotions, arousal, and frontal alpha rhythm asymmetry during Beethoven's 5th symphony. *Brain Topography*, 25(4), 423–430.

Nakonečný, M. (2013). *Lexikon psychologie*. Praha: Vodnář.

Nicholls, J. G. (2013). *Od neuronu k mozku*. Praha: Academia.

Niedermeyer, E., & Lopes da Silva, F. H. (Eds.). (2005). *Electroencephalography: basic principles, clinical applications, and related fields* (5th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Papez, J. W. (1937). A proposed mechanism of emotion. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 7(1), 103–112.

Pieper, J. (1997). *Tomáš Akvinský: život a dílo*. (M. Pokorný, Přek.). Praha: Vyšehrad.

Plháková, A. (2004). *Učebnice obecné psychologie*. Praha: Academia.

Racine, J. (1990). *Britannicus, Figenie, Atalia*. (G. Francl & A. Vantuch, Přek.). Praha: Odeon.

Reiman, E. M., Lane, R. D., Ahern, G. L., Schwartz, G. E., Davidson, R. J., Friston, K. J., Chen, K. (1997). Neuroanatomical correlates of externally and internally generated human emotion. *American Journal of Psychiatry*, 154(7), 918–925.

Reisenzein, R. (2007). What is a definition of emotion? And are emotions mental-behavioral processes? *Social Science Information*, 3(46).

Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161.

Schaffer, C. E., Davidson, R. J., & Saron, C. (1983). Frontal and parietal electroencephalogram asymmetry in depressed and nondepressed subjects. *Biological Psychiatry*, 18(7), 753–762.

Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information*, 44(4), 695–729. doi:10.1177/0539018405058216

Shakespeare, W. (2005). *Antony and Cleopatra* (Updated ed.). Cambridge, UK ; New York: Cambridge University Press.

Smith, J. A. (2007). *Qualitative psychology: A practical guide to research methods*. Sage.

Soanes, C., & Stevenson, A. (Eds.). (2005). *Oxford dictionary of English* (2nd ed., rev.). Oxford ; New York: Oxford University Press.

Somerville, L. H., Whalen, P. J., & Kelley, W. M. (2010). Human bed nucleus of the stria terminalis indexes hypervigilant threat monitoring. *Biological Psychiatry*, 68(5), 416–424.

Sternberg, R. J., Sternberg, K., & Mio, J. S. (2009). *Cognitive psychology*. Belmont, CA: Wadsworth/Cengage Learning.

Stuchlíková, I. (2007). *Základy psychologie emocí*. Praha: Portál.

Toga, A. W., & Thompson, P. M. (2003). Mapping brain asymmetry. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(1), 37–48.

Tolstoj, L. N. (2012). *Anna Karenina*. (T. Hašková, Přek.). Voznice; Rozmluvy.

Tullett, A. M., Harmon-Jones, E., & Inzlicht, M. (2012). Right frontal cortical asymmetry predicts empathic reactions: Support for a link between withdrawal motivation and empathy: Frontal cortical asymmetry and empathy. *Psychophysiology*. doi:10.1111/j.1469-8986.2012.01395.x

Weiner, B. (2013). *Human motivation*. Psychology Press.

VI. Přílohy

Příloha 1: Matlab skript pro spočítání indexu a koeficientu hemisférických asymetrií

```
% Compute all asymmetry
[STUDY ALLEEG] = pop_loadstudy;
% select design 1 - positive emotions
STUDY = std_selectdesign(STUDY,
ALLEEG, 1);
% plot ERSP data
STUDY =
std_erspplot(STUDY,ALLEEG,'noplot',
'on','channels',{'Fp1' 'Fp2' 'F9' 'F7'
'F5' 'F1' 'F2' 'F6' 'F8' 'F10'});
CURRENTSTUDY = 1; EEG = ALLEEG;
CURRENTSET = [1:length(EEG)];
% extract ERSP data into left and
right asymmetry for positive emotions
STUDY = pop_erspparams(STUDY,
'freqrange',[8 12]);
[STUDY pos_erspdata_left ersptimes
pgroup pcond pinter]
=std_erspplot(STUDY,ALLEEG,
'baseline', NaN, 'channels',
{STUDY.changrp(1).name});
[STUDY pos_erspdata_right ersptimes
pgroup pcond pinter]
=std_erspplot(STUDY,ALLEEG,
'baseline', NaN, 'channels',
{STUDY.changrp(3).name});
close all
% select design 2 - negative emotions
STUDY = std_selectdesign(STUDY,
ALLEEG, 2);
% plot ERSP data
STUDY = std_erspplot(STUDY,ALLEEG,
'noplot', 'on','channels',{'Fp1' 'Fp2'
'F9' 'F7' 'F5' 'F1' 'F2' 'F6' 'F8'
'F10'});
CURRENTSTUDY = 1; EEG = ALLEEG;
CURRENTSET = [1:length(EEG)];
% extract ERSP data into left and
right asymmetry for negative emotions
STUDY = pop_erspparams(STUDY,
'freqrange',[8 12]);
[STUDY neg_erspdata_left ersptimes
pgroup pcond pinter]
=std_erspplot(STUDY,ALLEEG,
'baseline', NaN, 'channels',
{STUDY.changrp(1).name});
[STUDY neg_erspdata_right ersptimes
pgroup pcond pinter]
=std_erspplot(STUDY,ALLEEG,
'baseline', NaN, 'channels',
{STUDY.changrp(3).name});
close all
% select design 3 - neutral emotions
STUDY = std_selectdesign(STUDY,
ALLEEG, 3);
% plot ERSP data
STUDY = std_erspplot(STUDY,ALLEEG,
'noplot', 'on','channels',{'Fp1' 'Fp2'
'F9' 'F7' 'F5' 'F1' 'F2' 'F6' 'F8'
'F10'});
CURRENTSTUDY = 1; EEG = ALLEEG;
CURRENTSET = [1:length(EEG)];
% extract ERSP data into left and
right asymmetry for neutral emotions
STUDY = pop_erspparams(STUDY,
'freqrange',[8 12]);
[STUDY neut_erspdata_left ersptimes
pgroup pcond pinter]
=std_erspplot(STUDY,ALLEEG,
'baseline', NaN, 'channels',
{STUDY.changrp(1).name});
[STUDY neut_erspdata_right ersptimes
pgroup pcond pinter]
=std_erspplot(STUDY,ALLEEG,
'baseline', NaN, 'channels',
{STUDY.changrp(3).name});
close all
% extract ERSP data into 25 files for
each subject for negative emotion in
left asymmetry
neg_erspdata_left{1,1};
s1_neg_l=ans(:,:,1);
s2_neg_l=ans(:,:,2);
s3_neg_l=ans(:,:,3);
s4_neg_l=ans(:,:,4);
s5_neg_l=ans(:,:,5);
s6_neg_l=ans(:,:,6);
s7_neg_l=ans(:,:,7);
s8_neg_l=ans(:,:,8);
s9_neg_l=ans(:,:,9);
s10_neg_l=ans(:,:,10);
s11_neg_l=ans(:,:,11);
s12_neg_l=ans(:,:,12);
s13_neg_l=ans(:,:,13);
s14_neg_l=ans(:,:,14);
s15_neg_l=ans(:,:,15);
s16_neg_l=ans(:,:,16);
s17_neg_l=ans(:,:,17);
s18_neg_l=ans(:,:,18);
s19_neg_l=ans(:,:,19);
s20_neg_l=ans(:,:,20);
s21_neg_l=ans(:,:,21);
s22_neg_l=ans(:,:,22);
s23_neg_l=ans(:,:,23);
s24_neg_l=ans(:,:,24);
s25_neg_l=ans(:,:,25);
```

```

% extract ERSP data into 25 files for
each subject for negative emotion in
right asymmetry
neg_erspdata_right{1,1};
s1_neg_r=ans(:,:,1);
s2_neg_r=ans(:,:,2);
s3_neg_r=ans(:,:,3);
s4_neg_r=ans(:,:,4);
s5_neg_r=ans(:,:,5);
s6_neg_r=ans(:,:,6);
s7_neg_r=ans(:,:,7);
s8_neg_r=ans(:,:,8);
s9_neg_r=ans(:,:,9);
s10_neg_r=ans(:,:,10);
s11_neg_r=ans(:,:,11);
s12_neg_r=ans(:,:,12);
s13_neg_r=ans(:,:,13);
s14_neg_r=ans(:,:,14);
s15_neg_r=ans(:,:,15);
s16_neg_r=ans(:,:,16);
s17_neg_r=ans(:,:,17);
s18_neg_r=ans(:,:,18);
s19_neg_r=ans(:,:,19);
s20_neg_r=ans(:,:,20);
s21_neg_r=ans(:,:,21);
s22_neg_r=ans(:,:,22);
s23_neg_r=ans(:,:,23);
s24_neg_r=ans(:,:,24);
s25_neg_r=ans(:,:,25);
% input file name: neut_erspdata_left
neut_erspdata_left{1,1};
s1_neut_l=ans(:,:,1);
s2_neut_l=ans(:,:,2);
s3_neut_l=ans(:,:,3);
s4_neut_l=ans(:,:,4);
s5_neut_l=ans(:,:,5);
s6_neut_l=ans(:,:,6);
s7_neut_l=ans(:,:,7);
s8_neut_l=ans(:,:,8);
s9_neut_l=ans(:,:,9);
s10_neut_l=ans(:,:,10);
s11_neut_l=ans(:,:,11);
s12_neut_l=ans(:,:,12);
s13_neut_l=ans(:,:,13);
s14_neut_l=ans(:,:,14);
s15_neut_l=ans(:,:,15);
s16_neut_l=ans(:,:,16);
s17_neut_l=ans(:,:,17);
s18_neut_l=ans(:,:,18);
s19_neut_l=ans(:,:,19);
s20_neut_l=ans(:,:,20);
s21_neut_l=ans(:,:,21);
s22_neut_l=ans(:,:,22);
s23_neut_l=ans(:,:,23);

```

```

s24_neut_l=ans(:,:,24);
s25_neut_l=ans(:,:,25);
% input file name: neut_erspdata_right
neut_erspdata_right{1,1};
s1_neut_r=ans(:,:,1);
s2_neut_r=ans(:,:,2);
s3_neut_r=ans(:,:,3);
s4_neut_r=ans(:,:,4);
s5_neut_r=ans(:,:,5);
s6_neut_r=ans(:,:,6);
s7_neut_r=ans(:,:,7);
s8_neut_r=ans(:,:,8);
s9_neut_r=ans(:,:,9);
s10_neut_r=ans(:,:,10);
s11_neut_r=ans(:,:,11);
s12_neut_r=ans(:,:,12);
s13_neut_r=ans(:,:,13);
s14_neut_r=ans(:,:,14);
s15_neut_r=ans(:,:,15);
s16_neut_r=ans(:,:,16);
s17_neut_r=ans(:,:,17);
s18_neut_r=ans(:,:,18);
s19_neut_r=ans(:,:,19);
s20_neut_r=ans(:,:,20);
s21_neut_r=ans(:,:,21);
s22_neut_r=ans(:,:,22);
s23_neut_r=ans(:,:,23);
s24_neut_r=ans(:,:,24);
s25_neut_r=ans(:,:,25);
% input file name: pos_erspdata_left
pos_erspdata_left{1,1};
s1_pos_l=ans(:,:,1);
s2_pos_l=ans(:,:,2);
s3_pos_l=ans(:,:,3);
s4_pos_l=ans(:,:,4);
s5_pos_l=ans(:,:,5);
s6_pos_l=ans(:,:,6);
s7_pos_l=ans(:,:,7);
s8_pos_l=ans(:,:,8);
s9_pos_l=ans(:,:,9);
s10_pos_l=ans(:,:,10);
s11_pos_l=ans(:,:,11);
s12_pos_l=ans(:,:,12);
s13_pos_l=ans(:,:,13);
s14_pos_l=ans(:,:,14);
s15_pos_l=ans(:,:,15);
s16_pos_l=ans(:,:,16);
s17_pos_l=ans(:,:,17);
s18_pos_l=ans(:,:,18);
s19_pos_l=ans(:,:,19);
s20_pos_l=ans(:,:,20);
s21_pos_l=ans(:,:,21);
s22_pos_l=ans(:,:,22);
s23_pos_l=ans(:,:,23);

```

```

s24_pos_l=ans(:, :, 24);
s25_pos_l=ans(:, :, 25);
% input file name: pos_erspdata_right
pos_erspdata_right{1,1};
s1_pos_r=ans(:, :, 1);
s2_pos_r=ans(:, :, 2);
s3_pos_r=ans(:, :, 3);
s4_pos_r=ans(:, :, 4);
s5_pos_r=ans(:, :, 5);
s6_pos_r=ans(:, :, 6);
s7_pos_r=ans(:, :, 7);
s8_pos_r=ans(:, :, 8);
s9_pos_r=ans(:, :, 9);
s10_pos_r=ans(:, :, 10);
s11_pos_r=ans(:, :, 11);
s12_pos_r=ans(:, :, 12);
s13_pos_r=ans(:, :, 13);
s14_pos_r=ans(:, :, 14);
s15_pos_r=ans(:, :, 15);
s16_pos_r=ans(:, :, 16);
s17_pos_r=ans(:, :, 17);
s18_pos_r=ans(:, :, 18);
s19_pos_r=ans(:, :, 19);
s20_pos_r=ans(:, :, 20);
s21_pos_r=ans(:, :, 21);
s22_pos_r=ans(:, :, 22);
s23_pos_r=ans(:, :, 23);
s24_pos_r=ans(:, :, 24);
s25_pos_r=ans(:, :, 25);
% mean for left positive asymmetry
s1_pos_l_mean=mean(s1_pos_l);
s2_pos_l_mean=mean(s2_pos_l);
s3_pos_l_mean=mean(s3_pos_l);
s4_pos_l_mean=mean(s4_pos_l);
s5_pos_l_mean=mean(s5_pos_l);
s6_pos_l_mean=mean(s6_pos_l);
s7_pos_l_mean=mean(s7_pos_l);
s8_pos_l_mean=mean(s8_pos_l);
s9_pos_l_mean=mean(s9_pos_l);
s10_pos_l_mean=mean(s10_pos_l);
s11_pos_l_mean=mean(s11_pos_l);
s12_pos_l_mean=mean(s12_pos_l);
s13_pos_l_mean=mean(s13_pos_l);
s14_pos_l_mean=mean(s14_pos_l);
s15_pos_l_mean=mean(s15_pos_l);
s16_pos_l_mean=mean(s16_pos_l);
s17_pos_l_mean=mean(s17_pos_l);
s18_pos_l_mean=mean(s18_pos_l);
s19_pos_l_mean=mean(s19_pos_l);
s20_pos_l_mean=mean(s20_pos_l);
s21_pos_l_mean=mean(s21_pos_l);
s22_pos_l_mean=mean(s22_pos_l);
s23_pos_l_mean=mean(s23_pos_l);
s24_pos_l_mean=mean(s24_pos_l);
s25_pos_l_mean=mean(s25_pos_l);
% mean for right positive asymmetry
s1_pos_r_mean=mean(s1_pos_r);
s2_pos_r_mean=mean(s2_pos_r);
s3_pos_r_mean=mean(s3_pos_r);
s4_pos_r_mean=mean(s4_pos_r);
s5_pos_r_mean=mean(s5_pos_r);
s6_pos_r_mean=mean(s6_pos_r);
s7_pos_r_mean=mean(s7_pos_r);
s8_pos_r_mean=mean(s8_pos_r);
s9_pos_r_mean=mean(s9_pos_r);
s10_pos_r_mean=mean(s10_pos_r);
s11_pos_r_mean=mean(s11_pos_r);
s12_pos_r_mean=mean(s12_pos_r);
s13_pos_r_mean=mean(s13_pos_r);
s14_pos_r_mean=mean(s14_pos_r);
s15_pos_r_mean=mean(s15_pos_r);
s16_pos_r_mean=mean(s16_pos_r);
s17_pos_r_mean=mean(s17_pos_r);
s18_pos_r_mean=mean(s18_pos_r);
s19_pos_r_mean=mean(s19_pos_r);
s20_pos_r_mean=mean(s20_pos_r);
s21_pos_r_mean=mean(s21_pos_r);
s22_pos_r_mean=mean(s22_pos_r);
s23_pos_r_mean=mean(s23_pos_r);
s24_pos_r_mean=mean(s24_pos_r);
s25_pos_r_mean=mean(s25_pos_r);
% mean for left negative asymmetry
s1_neg_l_mean=mean(s1_neg_l);
s2_neg_l_mean=mean(s2_neg_l);
s3_neg_l_mean=mean(s3_neg_l);
s4_neg_l_mean=mean(s4_neg_l);
s5_neg_l_mean=mean(s5_neg_l);
s6_neg_l_mean=mean(s6_neg_l);
s7_neg_l_mean=mean(s7_neg_l);
s8_neg_l_mean=mean(s8_neg_l);
s9_neg_l_mean=mean(s9_neg_l);
s10_neg_l_mean=mean(s10_neg_l);
s11_neg_l_mean=mean(s11_neg_l);
s12_neg_l_mean=mean(s12_neg_l);
s13_neg_l_mean=mean(s13_neg_l);
s14_neg_l_mean=mean(s14_neg_l);
s15_neg_l_mean=mean(s15_neg_l);
s16_neg_l_mean=mean(s16_neg_l);
s17_neg_l_mean=mean(s17_neg_l);
s18_neg_l_mean=mean(s18_neg_l);
s19_neg_l_mean=mean(s19_neg_l);
s20_neg_l_mean=mean(s20_neg_l);
s21_neg_l_mean=mean(s21_neg_l);
s22_neg_l_mean=mean(s22_neg_l);
s23_neg_l_mean=mean(s23_neg_l);
s24_neg_l_mean=mean(s24_neg_l);
s25_neg_l_mean=mean(s25_neg_l);
% mean for right negative asymmetry

```

```

s1_neg_r_mean=mean(s1_neg_r);
s2_neg_r_mean=mean(s2_neg_r);
s3_neg_r_mean=mean(s3_neg_r);
s4_neg_r_mean=mean(s4_neg_r);
s5_neg_r_mean=mean(s5_neg_r);
s6_neg_r_mean=mean(s6_neg_r);
s7_neg_r_mean=mean(s7_neg_r);
s8_neg_r_mean=mean(s8_neg_r);
s9_neg_r_mean=mean(s9_neg_r);
s10_neg_r_mean=mean(s10_neg_r);
s11_neg_r_mean=mean(s11_neg_r);
s12_neg_r_mean=mean(s12_neg_r);
s13_neg_r_mean=mean(s13_neg_r);
s14_neg_r_mean=mean(s14_neg_r);
s15_neg_r_mean=mean(s15_neg_r);
s16_neg_r_mean=mean(s16_neg_r);
s17_neg_r_mean=mean(s17_neg_r);
s18_neg_r_mean=mean(s18_neg_r);
s19_neg_r_mean=mean(s19_neg_r);
s20_neg_r_mean=mean(s20_neg_r);
s21_neg_r_mean=mean(s21_neg_r);
s22_neg_r_mean=mean(s22_neg_r);
s23_neg_r_mean=mean(s23_neg_r);
s24_neg_r_mean=mean(s24_neg_r);
s25_neg_r_mean=mean(s25_neg_r);
% mean for right neutral asymmetry
s1_neut_r_mean=mean(s1_neut_r);
s2_neut_r_mean=mean(s2_neut_r);
s3_neut_r_mean=mean(s3_neut_r);
s4_neut_r_mean=mean(s4_neut_r);
s5_neut_r_mean=mean(s5_neut_r);
s6_neut_r_mean=mean(s6_neut_r);
s7_neut_r_mean=mean(s7_neut_r);
s8_neut_r_mean=mean(s8_neut_r);
s9_neut_r_mean=mean(s9_neut_r);
s10_neut_r_mean=mean(s10_neut_r);
s11_neut_r_mean=mean(s11_neut_r);
s12_neut_r_mean=mean(s12_neut_r);
s13_neut_r_mean=mean(s13_neut_r);
s14_neut_r_mean=mean(s14_neut_r);
s15_neut_r_mean=mean(s15_neut_r);
s16_neut_r_mean=mean(s16_neut_r);
s17_neut_r_mean=mean(s17_neut_r);
s18_neut_r_mean=mean(s18_neut_r);
s19_neut_r_mean=mean(s19_neut_r);
s20_neut_r_mean=mean(s20_neut_r);
s21_neut_r_mean=mean(s21_neut_r);
s22_neut_r_mean=mean(s22_neut_r);
s23_neut_r_mean=mean(s23_neut_r);
s24_neut_r_mean=mean(s24_neut_r);
s25_neut_r_mean=mean(s25_neut_r);
% mean for left neutral asymmetry
s1_neut_l_mean=mean(s1_neut_l);
s2_neut_l_mean=mean(s2_neut_l);

```

```

s3_neut_l_mean=mean(s3_neut_l);
s4_neut_l_mean=mean(s4_neut_l);
s5_neut_l_mean=mean(s5_neut_l);
s6_neut_l_mean=mean(s6_neut_l);
s7_neut_l_mean=mean(s7_neut_l);
s8_neut_l_mean=mean(s8_neut_l);
s9_neut_l_mean=mean(s9_neut_l);
s10_neut_l_mean=mean(s10_neut_l);
s11_neut_l_mean=mean(s11_neut_l);
s12_neut_l_mean=mean(s12_neut_l);
s13_neut_l_mean=mean(s13_neut_l);
s14_neut_l_mean=mean(s14_neut_l);
s15_neut_l_mean=mean(s15_neut_l);
s16_neut_l_mean=mean(s16_neut_l);
s17_neut_l_mean=mean(s17_neut_l);
s18_neut_l_mean=mean(s18_neut_l);
s19_neut_l_mean=mean(s19_neut_l);
s20_neut_l_mean=mean(s20_neut_l);
s21_neut_l_mean=mean(s21_neut_l);
s22_neut_l_mean=mean(s22_neut_l);
s23_neut_l_mean=mean(s23_neut_l);
s24_neut_l_mean=mean(s24_neut_l);
s25_neut_l_mean=mean(s25_neut_l);
% R-L/R+L
pos_asymmetry=[s1_pos_r_mean
+s2_pos_r_mean+s3_pos_r_mean
+s4_pos_r_mean+s5_pos_r_mean
+s6_pos_r_mean+s7_pos_r_mean
+s8_pos_r_mean+s9_pos_r_mean
+s10_pos_r_mean+s11_pos_r_mean
+s12_pos_r_mean+s13_pos_r_mean
+s14_pos_r_mean+s15_pos_r_mean
+s16_pos_r_mean+s17_pos_r_mean
+s18_pos_r_mean+s19_pos_r_mean
+s20_pos_r_mean+s21_pos_r_mean
+s22_pos_r_mean+s23_pos_r_mean
+s24_pos_r_mean+s25_pos_r_mean]-
[s1_pos_l_mean+s2_pos_l_mean
+s3_pos_l_mean+s4_pos_l_mean
+s5_pos_l_mean+s6_pos_l_mean
+s7_pos_l_mean+s8_pos_l_mean
+s9_pos_l_mean+s10_pos_l_mean
+s11_pos_l_mean+s12_pos_l_mean
+s13_pos_l_mean+s14_pos_l_mean
+s15_pos_l_mean+s16_pos_l_mean
+s17_pos_l_mean+s18_pos_l_mean
+s19_pos_l_mean+s20_pos_l_mean
+s21_pos_l_mean+s22_pos_l_mean
+s23_pos_l_mean+s24_pos_l_mean
+s25_pos_l_mean]/[s1_pos_r_mean
+s2_pos_r_mean+s3_pos_r_mean
+s4_pos_r_mean+s5_pos_r_mean
+s6_pos_r_mean+s7_pos_r_mean
+s8_pos_r_mean+s9_pos_r_mean
+s10_pos_r_mean+s11_pos_r_mean
+s12_pos_r_mean+s13_pos_r_mean
+s14_pos_r_mean+s15_pos_r_mean
+s16_pos_r_mean+s17_pos_r_mean
+s18_pos_r_mean+s19_pos_r_mean

```

```

+s20_pos_r_mean+s21_pos_r_mean
+s22_pos_r_mean+s23_pos_r_mean
+s24_pos_r_mean+s25_pos_r_mean]+
[s1_pos_l_mean+s2_pos_l_mean
+s3_pos_l_mean+s4_pos_l_mean
+s5_pos_l_mean+s6_pos_l_mean
+s7_pos_l_mean+s8_pos_l_mean
+s9_pos_l_mean+s10_pos_l_mean
+s11_pos_l_mean+s12_pos_l_mean
+s13_pos_l_mean+s14_pos_l_mean
+s15_pos_l_mean+s16_pos_l_mean
+s17_pos_l_mean+s18_pos_l_mean
+s19_pos_l_mean+s20_pos_l_mean
+s21_pos_l_mean+s22_pos_l_mean
+s23_pos_l_mean+s24_pos_l_mean
+s25_pos_l_mean];
neg_asymmetry=[s1_neg_r_mean
+s2_neg_r_mean+s3_neg_r_mean
+s4_neg_r_mean+s5_neg_r_mean
+s6_neg_r_mean+s7_neg_r_mean
+s8_neg_r_mean+s9_neg_r_mean
+s10_neg_r_mean+s11_neg_r_mean
+s12_neg_r_mean+s13_neg_r_mean
+s14_neg_r_mean+s15_neg_r_mean
+s16_neg_r_mean+s17_neg_r_mean
+s18_neg_r_mean+s19_neg_r_mean
+s20_neg_r_mean+s21_neg_r_mean
+s22_neg_r_mean+s23_neg_r_mean
+s24_neg_r_mean+s25_neg_r_mean]-
[s1_neg_l_mean+s2_neg_l_mean
+s3_neg_l_mean+s4_neg_l_mean
+s5_neg_l_mean+s6_neg_l_mean
+s7_neg_l_mean+s8_neg_l_mean
+s9_neg_l_mean+s10_neg_l_mean
+s11_neg_l_mean+s12_neg_l_mean
+s13_neg_l_mean+s14_neg_l_mean
+s15_neg_l_mean+s16_neg_l_mean
+s17_neg_l_mean+s18_neg_l_mean
+s19_neg_l_mean+s20_neg_l_mean
+s21_neg_l_mean+s22_neg_l_mean
+s23_neg_l_mean+s24_neg_l_mean
+s25_neg_l_mean]/[s1_neg_r_mean
+s2_neg_r_mean+s3_neg_r_mean
+s4_neg_r_mean+s5_neg_r_mean
+s6_neg_r_mean+s7_neg_r_mean
+s8_neg_r_mean+s9_neg_r_mean
+s10_neg_r_mean+s11_neg_r_mean
+s12_neg_r_mean+s13_neg_r_mean
+s14_neg_r_mean+s15_neg_r_mean
+s16_neg_r_mean+s17_neg_r_mean
+s18_neg_r_mean+s19_neg_r_mean
+s20_neg_r_mean+s21_neg_r_mean
+s22_neg_r_mean+s23_neg_r_mean
+s24_neg_r_mean+s25_neg_r_mean]+
[s1_neg_l_mean+s2_neg_l_mean
+s3_neg_l_mean+s4_neg_l_mean
+s5_neg_l_mean+s6_neg_l_mean
+s7_neg_l_mean+s8_neg_l_mean
+s9_neg_l_mean+s10_neg_l_mean
+s11_neg_l_mean+s12_neg_l_mean
+s13_neg_l_mean+s14_neg_l_mean
+s15_neg_l_mean+s16_neg_l_mean
+s17_neg_l_mean+s18_neg_l_mean

```

```

+s19_neg_l_mean+s20_neg_l_mean
+s21_neg_l_mean+s22_neg_l_mean
+s23_neg_l_mean+s24_neg_l_mean
+s25_neg_l_mean];
neut_asymmetry=[s1_neut_r_mean
+s2_neut_r_mean+s3_neut_r_mean
+s4_neut_r_mean+s5_neut_r_mean
+s6_neut_r_mean+s7_neut_r_mean
+s8_neut_r_mean+s9_neut_r_mean
+s10_neut_r_mean+s11_neut_r_mean
+s12_neut_r_mean+s13_neut_r_mean
+s14_neut_r_mean+s15_neut_r_mean
+s16_neut_r_mean+s17_neut_r_mean
+s18_neut_r_mean+s19_neut_r_mean
+s20_neut_r_mean+s21_neut_r_mean
+s22_neut_r_mean+s23_neut_r_mean
+s24_neut_r_mean+s25_neut_r_mean]-
[s1_neut_l_mean+s2_neut_l_mean
+s3_neut_l_mean+s4_neut_l_mean
+s5_neut_l_mean+s6_neut_l_mean
+s7_neut_l_mean+s8_neut_l_mean
+s9_neut_l_mean+s10_neut_l_mean
+s11_neut_l_mean+s12_neut_l_mean
+s13_neut_l_mean+s14_neut_l_mean
+s15_neut_l_mean+s16_neut_l_mean
+s17_neut_l_mean+s18_neut_l_mean
+s19_neut_l_mean+s20_neut_l_mean
+s21_neut_l_mean+s22_neut_l_mean
+s23_neut_l_mean+s24_neut_l_mean
+s25_neut_l_mean]/[s1_neut_r_mean
+s2_neut_r_mean+s3_neut_r_mean
+s4_neut_r_mean+s5_neut_r_mean
+s6_neut_r_mean+s7_neut_r_mean
+s8_neut_r_mean+s9_neut_r_mean
+s10_neut_r_mean+s11_neut_r_mean
+s12_neut_r_mean+s13_neut_r_mean
+s14_neut_r_mean+s15_neut_r_mean
+s16_neut_r_mean+s17_neut_r_mean
+s18_neut_r_mean+s19_neut_r_mean
+s20_neut_r_mean+s21_neut_r_mean
+s22_neut_r_mean+s23_neut_r_mean
+s24_neut_r_mean+s25_neut_r_mean]+
[s1_neut_l_mean+s2_neut_l_mean
+s3_neut_l_mean+s4_neut_l_mean
+s5_neut_l_mean+s6_neut_l_mean
+s7_neut_l_mean+s8_neut_l_mean
+s9_neut_l_mean+s10_neut_l_mean
+s11_neut_l_mean+s12_neut_l_mean
+s13_neut_l_mean+s14_neut_l_mean
+s15_neut_l_mean+s16_neut_l_mean
+s17_neut_l_mean+s18_neut_l_mean
+s19_neut_l_mean+s20_neut_l_mean
+s21_neut_l_mean+s22_neut_l_mean
+s23_neut_l_mean+s24_neut_l_mean
+s25_neut_l_mean];
% Compute Allen and Coan asymmetries -
log(var(R))-log(var(L))/log(var(R))
+log(var(L))
S01_pos_asymmetry=3*log(var(s1_pos_r_m
ean))-log(var(s1_pos_l_mean))/
log(var(s1_pos_r_mean))
+log(var(s1_pos_l_mean));

```

S02_pos_asymmetry=3*log(var(s2_pos_r_mean))-log(var(s2_pos_l_mean))/log(var(s2_pos_r_mean))+log(var(s2_pos_l_mean));
S03_pos_asymmetry=3*log(var(s3_pos_r_mean))-log(var(s3_pos_l_mean))/log(var(s3_pos_r_mean))+log(var(s3_pos_l_mean));
S04_pos_asymmetry=3*log(var(s4_pos_r_mean))-log(var(s4_pos_l_mean))/log(var(s4_pos_r_mean))+log(var(s4_pos_l_mean));
S05_pos_asymmetry=3*log(var(s5_pos_r_mean))-log(var(s5_pos_l_mean))/log(var(s5_pos_r_mean))+log(var(s5_pos_l_mean));
S06_pos_asymmetry=3*log(var(s6_pos_r_mean))-log(var(s6_pos_l_mean))/log(var(s6_pos_r_mean))+log(var(s6_pos_l_mean));
S07_pos_asymmetry=3*log(var(s7_pos_r_mean))-log(var(s7_pos_l_mean))/log(var(s7_pos_r_mean))+log(var(s7_pos_l_mean));
S08_pos_asymmetry=3*log(var(s8_pos_r_mean))-log(var(s8_pos_l_mean))/log(var(s8_pos_r_mean))+log(var(s8_pos_l_mean));
S09_pos_asymmetry=3*log(var(s9_pos_r_mean))-log(var(s9_pos_l_mean))/log(var(s9_pos_r_mean))+log(var(s9_pos_l_mean));
S10_pos_asymmetry=3*log(var(s10_pos_r_mean))-log(var(s10_pos_l_mean))/log(var(s10_pos_r_mean))+log(var(s10_pos_l_mean));
S11_pos_asymmetry=3*log(var(s11_pos_r_mean))-log(var(s11_pos_l_mean))/log(var(s11_pos_r_mean))+log(var(s11_pos_l_mean));
S12_pos_asymmetry=3*log(var(s12_pos_r_mean))-log(var(s12_pos_l_mean))/log(var(s12_pos_r_mean))+log(var(s12_pos_l_mean));
S13_pos_asymmetry=3*log(var(s13_pos_r_mean))-log(var(s13_pos_l_mean))/log(var(s13_pos_r_mean))+log(var(s13_pos_l_mean));
S14_pos_asymmetry=3*log(var(s14_pos_r_mean))-log(var(s14_pos_l_mean))/log(var(s14_pos_r_mean))+log(var(s14_pos_l_mean));
S15_pos_asymmetry=3*log(var(s15_pos_r_mean))-log(var(s15_pos_l_mean))/log(var(s15_pos_r_mean))+log(var(s15_pos_l_mean));
S16_pos_asymmetry=3*log(var(s16_pos_r_mean))-log(var(s16_pos_l_mean))/log(var(s16_pos_r_mean))+log(var(s16_pos_l_mean));

S17_pos_asymmetry=3*log(var(s17_pos_r_mean))-log(var(s17_pos_l_mean))/log(var(s17_pos_r_mean))+log(var(s17_pos_l_mean));
S18_pos_asymmetry=3*log(var(s18_pos_r_mean))-log(var(s18_pos_l_mean))/log(var(s18_pos_r_mean))+log(var(s18_pos_l_mean));
S19_pos_asymmetry=3*log(var(s19_pos_r_mean))-log(var(s19_pos_l_mean))/log(var(s19_pos_r_mean))+log(var(s19_pos_l_mean));
S20_pos_asymmetry=3*log(var(s20_pos_r_mean))-log(var(s20_pos_l_mean))/log(var(s20_pos_r_mean))+log(var(s20_pos_l_mean));
S21_pos_asymmetry=3*log(var(s21_pos_r_mean))-log(var(s21_pos_l_mean))/log(var(s21_pos_r_mean))+log(var(s21_pos_l_mean));
S22_pos_asymmetry=3*log(var(s22_pos_r_mean))-log(var(s22_pos_l_mean))/log(var(s22_pos_r_mean))+log(var(s22_pos_l_mean));
S23_pos_asymmetry=3*log(var(s23_pos_r_mean))-log(var(s23_pos_l_mean))/log(var(s23_pos_r_mean))+log(var(s23_pos_l_mean));
S24_pos_asymmetry=3*log(var(s24_pos_r_mean))-log(var(s24_pos_l_mean))/log(var(s24_pos_r_mean))+log(var(s24_pos_l_mean));
S25_pos_asymmetry=3*log(var(s25_pos_r_mean))-log(var(s25_pos_l_mean))/log(var(s25_pos_r_mean))+log(var(s25_pos_l_mean));
S01_neg_asymmetry=3*log(var(s1_neg_r_mean))-log(var(s1_neg_l_mean))/log(var(s1_neg_r_mean))+log(var(s1_neg_l_mean));
S02_neg_asymmetry=3*log(var(s2_neg_r_mean))-log(var(s2_neg_l_mean))/log(var(s2_neg_r_mean))+log(var(s2_neg_l_mean));
S03_neg_asymmetry=log(var(s3_neg_r_mean))-log(var(s3_neg_l_mean))/log(var(s3_neg_r_mean))+log(var(s3_neg_l_mean));
S04_neg_asymmetry=log(var(s4_neg_r_mean))-log(var(s4_neg_l_mean))/log(var(s4_neg_r_mean))+log(var(s4_neg_l_mean));
S05_neg_asymmetry=log(var(s5_neg_r_mean))-log(var(s5_neg_l_mean))/log(var(s5_neg_r_mean))+log(var(s5_neg_l_mean));
S06_neg_asymmetry=log(var(s6_neg_r_mean))-log(var(s6_neg_l_mean))/log(var(s6_neg_r_mean))+log(var(s6_neg_l_mean));

```

S07_neg_asymmetry=log(var(s7_neg_r_mean))-log(var(s7_neg_l_mean))/
log(var(s7_neg_r_mean))
+log(var(s7_neg_l_mean));
S08_neg_asymmetry=log(var(s8_neg_r_mean))-log(var(s8_neg_l_mean))/
log(var(s8_neg_r_mean))
+log(var(s8_neg_l_mean));
S09_neg_asymmetry=log(var(s9_neg_r_mean))-log(var(s9_neg_l_mean))/
log(var(s9_neg_r_mean))
+log(var(s9_neg_l_mean));
S10_neg_asymmetry=log(var(s10_neg_r_mean))-log(var(s10_neg_l_mean))/
log(var(s10_neg_r_mean))
+log(var(s10_neg_l_mean));
S11_neg_asymmetry=log(var(s11_neg_r_mean))-log(var(s11_neg_l_mean))/
log(var(s11_neg_r_mean))
+log(var(s11_neg_l_mean));
S12_neg_asymmetry=log(var(s12_neg_r_mean))-log(var(s12_neg_l_mean))/
log(var(s12_neg_r_mean))
+log(var(s12_neg_l_mean));
S13_neg_asymmetry=log(var(s13_neg_r_mean))-log(var(s13_neg_l_mean))/
log(var(s13_neg_r_mean))
+log(var(s13_neg_l_mean));
S14_neg_asymmetry=log(var(s14_neg_r_mean))-log(var(s14_neg_l_mean))/
log(var(s14_neg_r_mean))
+log(var(s14_neg_l_mean));
S15_neg_asymmetry=log(var(s15_neg_r_mean))-log(var(s15_neg_l_mean))/
log(var(s15_neg_r_mean))
+log(var(s15_neg_l_mean));
S16_neg_asymmetry=log(var(s16_neg_r_mean))-log(var(s16_neg_l_mean))/
log(var(s16_neg_r_mean))
+log(var(s16_neg_l_mean));
S17_neg_asymmetry=log(var(s17_neg_r_mean))-log(var(s17_neg_l_mean))/
log(var(s17_neg_r_mean))
+log(var(s17_neg_l_mean));
S18_neg_asymmetry=log(var(s18_neg_r_mean))-log(var(s18_neg_l_mean))/
log(var(s18_neg_r_mean))
+log(var(s18_neg_l_mean));
S19_neg_asymmetry=log(var(s19_neg_r_mean))-log(var(s19_neg_l_mean))/
log(var(s19_neg_r_mean))
+log(var(s19_neg_l_mean));
S20_neg_asymmetry=log(var(s20_neg_r_mean))-log(var(s20_neg_l_mean))/
log(var(s20_neg_r_mean))
+log(var(s20_neg_l_mean));
S21_neg_asymmetry=log(var(s21_neg_r_mean))-log(var(s21_neg_l_mean))/
log(var(s21_neg_r_mean))
+log(var(s21_neg_l_mean));
S22_neg_asymmetry=log(var(s22_neg_r_mean))-log(var(s22_neg_l_mean))/
log(var(s22_neg_r_mean))
+log(var(s22_neg_l_mean));
S23_neg_asymmetry=log(var(s23_neg_r_mean))-log(var(s23_neg_l_mean))/
log(var(s23_neg_r_mean))
+log(var(s23_neg_l_mean));
S24_neg_asymmetry=log(var(s24_neg_r_mean))-log(var(s24_neg_l_mean))/
log(var(s24_neg_r_mean))
+log(var(s24_neg_l_mean));
S25_neg_asymmetry=log(var(s25_neg_r_mean))-log(var(s25_neg_l_mean))/
log(var(s25_neg_r_mean))
+log(var(s25_neg_l_mean));
S01_neut_asymmetry=log(var(s1_neut_r_mean))-log(var(s1_neut_l_mean))/
log(var(s1_neut_r_mean))
+log(var(s1_neut_l_mean));
S02_neut_asymmetry=log(var(s2_neut_r_mean))-log(var(s2_neut_l_mean))/
log(var(s2_neut_r_mean))
+log(var(s2_neut_l_mean));
S03_neut_asymmetry=log(var(s3_neut_r_mean))-log(var(s3_neut_l_mean))/
log(var(s3_neut_r_mean))
+log(var(s3_neut_l_mean));
S04_neut_asymmetry=log(var(s4_neut_r_mean))-log(var(s4_neut_l_mean))/
log(var(s4_neut_r_mean))
+log(var(s4_neut_l_mean));
S05_neut_asymmetry=log(var(s5_neut_r_mean))-log(var(s5_neut_l_mean))/
log(var(s5_neut_r_mean))
+log(var(s5_neut_l_mean));
S06_neut_asymmetry=log(var(s6_neut_r_mean))-log(var(s6_neut_l_mean))/
log(var(s6_neut_r_mean))
+log(var(s6_neut_l_mean));
S07_neut_asymmetry=log(var(s7_neut_r_mean))-log(var(s7_neut_l_mean))/
log(var(s7_neut_r_mean))
+log(var(s7_neut_l_mean));
S08_neut_asymmetry=log(var(s8_neut_r_mean))-log(var(s8_neut_l_mean))/
log(var(s8_neut_r_mean))
+log(var(s8_neut_l_mean));
S09_neut_asymmetry=log(var(s9_neut_r_mean))-log(var(s9_neut_l_mean))/
log(var(s9_neut_r_mean))
+log(var(s9_neut_l_mean));
S10_neut_asymmetry=log(var(s10_neut_r_mean))-log(var(s10_neut_l_mean))/
log(var(s10_neut_r_mean))
+log(var(s10_neut_l_mean));
S11_neut_asymmetry=log(var(s11_neut_r_mean))-log(var(s11_neut_l_mean))/
log(var(s11_neut_r_mean))
+log(var(s11_neut_l_mean));

```

```

S12_neut_asymmetry=log(var(s12_neut_r_
mean))-log(var(s12_neut_l_mean))/
log(var(s12_neut_r_mean))
+log(var(s12_neut_l_mean));
S13_neut_asymmetry=log(var(s13_neut_r_
mean))-log(var(s13_neut_l_mean))/
log(var(s13_neut_r_mean))
+log(var(s13_neut_l_mean));
S14_neut_asymmetry=log(var(s14_neut_r_
mean))-log(var(s14_neut_l_mean))/
log(var(s14_neut_r_mean))
+log(var(s14_neut_l_mean));
S15_neut_asymmetry=log(var(s15_neut_r_
mean))-log(var(s15_neut_l_mean))/
log(var(s15_neut_r_mean))
+log(var(s15_neut_l_mean));
S16_neut_asymmetry=log(var(s16_neut_r_
mean))-log(var(s16_neut_l_mean))/
log(var(s16_neut_r_mean))
+log(var(s16_neut_l_mean));
S17_neut_asymmetry=log(var(s17_neut_r_
mean))-log(var(s17_neut_l_mean))/
log(var(s17_neut_r_mean))
+log(var(s17_neut_l_mean));
S18_neut_asymmetry=log(var(s18_neut_r_
mean))-log(var(s18_neut_l_mean))/
log(var(s18_neut_r_mean))
+log(var(s18_neut_l_mean));
S19_neut_asymmetry=log(var(s19_neut_r_
mean))-log(var(s19_neut_l_mean))/
log(var(s19_neut_r_mean))
+log(var(s19_neut_l_mean));
S20_neut_asymmetry=log(var(s20_neut_r_
mean))-log(var(s20_neut_l_mean))/
log(var(s20_neut_r_mean))
+log(var(s20_neut_l_mean));
S21_neut_asymmetry=log(var(s21_neut_r_
mean))-log(var(s21_neut_l_mean))/
log(var(s21_neut_r_mean))
+log(var(s21_neut_l_mean));
S22_neut_asymmetry=log(var(s22_neut_r_
mean))-log(var(s22_neut_l_mean))/
log(var(s22_neut_r_mean))
+log(var(s22_neut_l_mean));
S23_neut_asymmetry=log(var(s23_neut_r_
mean))-log(var(s23_neut_l_mean))/
log(var(s23_neut_r_mean))
+log(var(s23_neut_l_mean));
S24_neut_asymmetry=log(var(s24_neut_r_
mean))-log(var(s24_neut_l_mean))/
log(var(s24_neut_r_mean))
+log(var(s24_neut_l_mean));
S25_neut_asymmetry=log(var(s25_neut_r_
mean))-log(var(s25_neut_l_mean))/
log(var(s25_neut_r_mean))
+log(var(s25_neut_l_mean));
% Asymmetry for each emotion group
coan_pos_asymmetry=[S01_pos_asymmetry,
S02_pos_asymmetry, S03_pos_asymmetry,
S04_pos_asymmetry, S05_pos_asymmetry,
S06_pos_asymmetry, S07_pos_asymmetry,
S08_pos_asymmetry, S09_pos_asymmetry,
S10_pos_asymmetry, S11_pos_asymmetry,
S12_pos_asymmetry, S13_pos_asymmetry,
S14_pos_asymmetry, S15_pos_asymmetry,
S16_pos_asymmetry, S17_pos_asymmetry,
S18_pos_asymmetry, S19_pos_asymmetry,
S20_pos_asymmetry, S21_pos_asymmetry,
S22_pos_asymmetry, S23_pos_asymmetry,
S24_pos_asymmetry, S25_pos_asymmetry];
coan_neg_asymmetry=[S01_neg_asymmetry,
S02_neg_asymmetry, S03_neg_asymmetry,
S04_neg_asymmetry, S05_neg_asymmetry,
S06_neg_asymmetry, S07_neg_asymmetry,
S08_neg_asymmetry, S09_neg_asymmetry,
S10_neg_asymmetry, S11_neg_asymmetry,
S12_neg_asymmetry, S13_neg_asymmetry,
S14_neg_asymmetry, S15_neg_asymmetry,
S16_neg_asymmetry, S17_neg_asymmetry,
S18_neg_asymmetry, S19_neg_asymmetry,
S20_neg_asymmetry, S21_neg_asymmetry,
S22_neg_asymmetry, S23_neg_asymmetry,
S24_neg_asymmetry, S25_neg_asymmetry];
coan_neut_asymmetry=[S01_neut_asymmetr
y, S02_neut_asymmetry,
S03_neut_asymmetry,
S04_neut_asymmetry,
S05_neut_asymmetry,
S06_neut_asymmetry,
S07_neut_asymmetry,
S08_neut_asymmetry,
S09_neut_asymmetry,
S10_neut_asymmetry,
S11_neut_asymmetry,
S12_neut_asymmetry,
S13_neut_asymmetry,
S14_neut_asymmetry,
S15_neut_asymmetry,
S16_neut_asymmetry,
S17_neut_asymmetry,
S18_neut_asymmetry,
S19_neut_asymmetry,
S20_neut_asymmetry,
S21_neut_asymmetry,
S22_neut_asymmetry,
S23_neut_asymmetry,
S24_neut_asymmetry,
S25_neut_asymmetry];
% Preparing the data for plotting and
analysis
positive_asymmetry=coan_pos_asymmetry.
';
negative_asymmetry=coan_neg_asymmetry.
';
neutral_asymmetry=coan_neut_asymmetry.
';
asymmetry_all=[positive_asymmetry,nega
tive_asymmetry,neutral_asymmetry];
% Plotting
close all
figure('Name','Basic asymmetry R-L/R

```



```

+L')
plot (pos_asymmetry,'g')
hold on
plot (neg_asymmetry,'r')
hold on
plot (neut_asymmetry,'k')
title('Basic asymmetries R-L/R+L')
xlabel('Time[ms]')
ylabel('Freqs[Hz]')
set(gca,'XTickLabel',
{'600','1200','1800','2400','3000'})
legend('positive','negative','neutral'
)
hold off
figure('Name','Allen & Coan asymmetry
- log(var(R))-log(var(L))/log(var(R))
+log(var(L))')
plot (coan_pos_asymmetry,'g')
hold on
plot (coan_neg_asymmetry,'r')
hold on
plot (coan_neut_asymmetry,'k')
title('Allen & Coan asymmetries')
xlabel('Time[ms]')
ylabel('Freqs[Hz]')
set(gca,'XTickLabel',
{'600','1200','1800','2400','3000'})
legend('positive','negative','neutral'
)
hold off
figure('Name','Boxplot')
boxplot(asymmetry_all,'notch','on')
ylim ([-5 5.7])
set(gca,'XTickLabel',{'Positive',
'Negative', 'Neutral'})
% Statistics
[p,table,stats] =
kruskalwallis(asymmetry_all);
set(gcf, 'Visible', 'off')

```