



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

**Vietnamsko-česky bilingvní adolescenti na EEG –
zjišťování efektu bilingvnosti na kognitivní výhodu**

Vypracovala: Kateřina Marie Šimková

Vedoucí práce: Mgr. Michala Plassová

České Budějovice 2018

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracovala 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 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:

Kateřina Marie Šimková

Abstrakt bakalářské práce

Název práce: Vietnamsko-česky bilingvní adolescenti na EEG - efekt bilingvnosti na kognitivní výhodu

Autor práce: Kateřina Marie Šimková

Vedoucí práce: Mgr. Michala Plassová

Počet stran: 100

Klíčová slova: neuropsychologie, psychologie, psycholingvistika, biligvnismus, bilingvní výhoda, exekutivní funkce, elektroencefalograf, EEG, evokované potenciály, ERP

Současným progresivním tématem psychologie jsou aspekty lidské psychiky, rodící se v nejsložitější hmotě, kterou kdy mělo lidstvo možnost sledovat. V mozku. Tato bakalářská práce se stručně zabývá cerebrálními mechanismy neuroplasticity a jejími vlivy na život člověka. Zejména potom na kognitivní výhodu bilingvismu, jež je zkoumána v praktické části prostřednictvím elektroencefalografického měření vietnamsko-česky bilingvních osob při řešení úkolu detekce písmene. Je předpokládáno, že v rámci vlivu bilingvismu na neurální organizaci mozku, budou mít vietnamsko-česky bilingvní probandí kognitivní výhodu v behaviorální části dat. Zároveň z hlediska pozměněné neurální organizace je předpokládáno, že bilingvní budou mít obecně rozdílné hodnoty evokovaných potenciálů v lingvistických oblastech mozku. Výsledná analýza potvrzuje uvedené neurální rozdíly. Hypotézy o behaviorální výhodě byly ovšem falzifikovány.

Abstract of Bachelor Thesis

Title: Vietnamese-Czech bilingual adolescents on EEG – bilingual effect on cognitive advantage

Author: Kateřina Marie Šimková

Supervisor: Mgr. Michala Plassová

Number of pages: 100

Keywords: neuropsychology, psychology, psycholinguistics, bilingualism, bilingual advantage, executive functions, electroencephalograph, EEG, event-related potentials, ERP

A recently progressive topic of psychology relates to aspects of humans psyche. It is raised in the most complicated matter a human could ever explore: in the brain. This bachelor thesis briefly concludes cerebral mechanisms of neuroplasticity and its influence on human life. Ultimately, the theoretical part is specialized on a cognitive advantage of bilingualism. The mentioned advantage was studied in empirical part by electroencephalographic measurement in Vietnamese-Czech bilinguals during a letter detection task. We expected bilinguals to outperform the control group of monolinguals in the behavioural part. Due to a different neural organization within linguistic plasticity, we also expected different amplitudes in event-related potentials in the bilingual group in linguistic areas of the brain. Results confirm mentioned neural differences, although behavioural advantage hypothesis is falsified.

Poděkování

Největší děkuji patří slečně Mgr. Michale Plassové za vedení bakalářské práce. Ráda bych jí touto cestou vyjádřila vděčnost za veškerý čas, který naší práci věnovala, její nadšení pro naše nápady a za inspiraci, kterou mi po celou dobu studia a spolupráce na závěrečné práci byla. Ráda bych také poděkovala mé kolegyni a kamarádce Michaela Sochorové za nápad a zapálení pro výzkum, který by bez její tvrdé práce nikdy nevznikl. Po celou dobu zkoumání mi byla velikou oporou a bez jejího zapálení a zodpovědného příkladu bych svou práci jen těžko dotáhla do konce. Dále bych ráda poděkovala panu Mgr. Tomáši Mrhálkovi za jeho nesmírnou ochotu konzultovat s námi jakékoliv technické a metodologické problémy a za jeho podnětné připomínky a podporu v momentech, kdy jsme samy nevěděly jak dál. Upřímně děkuji také panu Bc. Jakubu Staňkovi za nepodmíněnou ochotu při pomoci s řešením problémů při zpracování a analýze dat. Děkuji patří také panu Mgr. Michaelu Tesařovi za jeho podnětné připomínky k designu výzkumu a nemenší dík patří i jeho technické práci při programování experimentu. V neposlední řadě bych ráda poděkovala všem participantům, kteří byli ochotní a věnovali svůj čas našemu experimentu.

OBSAH

1	NEUROPLASTICITA MOZKU	11
1.1	Vlastnosti neuronálních sítí	12
1.1.1	<i>Mechanismy neuroplastických změn</i>	<i>13</i>
1.2	Lingvistická neuroplasticita.....	14
1.3	Neuroplasticita frontálních laloků	15
2	FRONTÁLNÍ LALOK A JEHO ANATOMIE	16
2.1	Vývoj frontálních laloků.....	16
2.1.1	<i>Fylogenetický vývoj.....</i>	<i>16</i>
2.1.2	<i>Ontogenetický vývoj</i>	<i>17</i>
2.2	Funkce frontálních laloků	18
2.2.1	<i>Exekutivní funkce.....</i>	<i>19</i>
2.2.2	<i>Vývoj exekutivních funkcí.....</i>	<i>21</i>
2.2.3	<i>Experimentální měření exekutivních funkcí</i>	<i>22</i>
3	JAZYK A ŘEČ	24
3.1	Vývoj jazyka a řeči	24
3.2	Neuroanatomie jazyka a řeči	25
3.2.1	<i>Neurosenzorické uspořádání.....</i>	<i>25</i>
3.2.2	<i>Neuromotorické řízení řeči.....</i>	<i>26</i>
4	BILINGVISMUS.....	27
4.1	Bilingvní výhoda	28
4.1.1	<i>Bilingvní výhoda a exekutivní funkce bilingvních.....</i>	<i>29</i>
4.2	Neuroanatomické zvláštnosti bilingvismu.....	31
4.2.1	<i>Kognitivní evokované potenciály bilingvních</i>	<i>32</i>
5	ELEKTROENCEFALOGRAF.....	35
5.1	Historie	35
5.1.1	<i>Objev proudu živých tkání.....</i>	<i>35</i>

5.1.2	<i>Vývoj elektroencefalografu</i>	36
5.1.3	<i>Současný vývoj elektroencefalografie</i>	38
5.2	Zařízení a funkce elektroencefalografu	39
5.2.1	<i>Rozložení elektrod</i>	39
5.2.2	<i>Základní frekvence EEG</i>	40
5.2.3	<i>Artefakty</i>	42
5.3	Kognitivní evokované potenciály	42
6	EXPERIMENT	46
6.1	Design experimentu	46
6.2	Průběh experimentu	47
7	VÝZKUMNÉ CÍLE A HYPOTÉZY	48
8	VÝZKUMNÝ SOUBOR	50
8.1	Experimentální skupina	50
8.2	Kontrolní skupina	51
9	ZPRACOVÁNÍ DAT	53
9.1	EEG data.....	53
9.1.1	<i>Preprocessing</i>	53
9.1.2	<i>Vyřazení elektrod a manuální čištění</i>	54
9.1.3	<i>Další úpravy záznamu</i>	58
9.1.4	<i>EPOCHOVÁNÍ A VYTVÁŘENÍ EVENTŮ</i>	59
9.1.5	<i>Vytváření designu studie</i>	59
9.2	Behaviorální data	59
10	VÝSLEDKY	60
10.1	EEG data	60
10.2	Behaviorální data	66
11	DISKUSE	76
12	ZÁVĚR	78

13	SOUHRN.....	79
14	SEZNAM LITERATURY	81
15	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....	89
16	PŘÍLOHY	91

ÚVOD

Neuropsychologie se stává progresivní oblastí dnešní vědy. Dává možnost prohlédnout nejzákladnější aspekty lidského chování rodící se v jedné z nejsložitějších hmot, které jsme zatím byli schopni sledovat. S příchodem neurozobrazovacích a počítačových technik máme možnost začít zkoumat mozek relevantními výzkumnými metodami, a tím dát filosofickému smýšlení o lidské duši do opozice fakta fyziologického fungování. To ovšem neznamená, že se tyto dva póly musí nutně vzájemně vylučovat.

Protože lidské poznání je složitý komplexní jev, v této práci se zaměříme na oblasti pro náš výzkum rozhodující. V první řadě si uvedeme principy neuroplasticity, které jsou základem evoluce lidského mozku do podoby, ve které ho známe dnes. Díky neuroplasticitě je člověk schopen se adaptivně přizpůsobovat aspektům, kterými je obkloповán.

Neuroplastické změny byly hojně zaznamenávány i právě v rámci psycholingvistiky, konkrétně bilingvismu, kterému se budeme věnovat v samostatné kapitole. Jedná se o raný styl života člověka, mající podle výzkumů hojně dopady na neurální organizaci mozku a další kognitivní fungování. Vlastní analýze neurální organizace a kognitivních výkonů bilingvních se budeme věnovat v praktické části. V té budou analyzovány evokované potenciály elektroencefalografických záznamů a výsledky behaviorálních dat vietnamsko-česky bilingvních adolescentů během řešení úlohy detekce písmene.

I. Teoretická část

1 NEUROPLASTICITA MOZKU

Mozek je zdrojem chování, ale v opaku toho je zároveň modifikován chováním, které sám produkuje. Tato dynamická smyčka mozkových struktur a mozkových funkcí, zastřešuje neurální základy kognice, učení a plasticity (Zatorre, Fields, & Johansen-Berg, 2012).

Gazzaniga et al. (2009) plasticitu definují jako schopnost mozku adaptivně se měnit během učení, memorování nebo v odpovědích na určité změny v okolí. Této definici se nevzdaluje ani Phillips (2017), když neuroplasticitu popisuje jako schopnost neustálé reorganizace neuronů v mozku v rámci dynamických požadavků interního a externího prostředí, ve kterém se člověk pohybuje. Kulišťákem uvedená definice, předešlé doplňuje o poznatek, že se jedná o schopnost modifikace struktury nebo funkce mozku, jako odpovědi na jeho poškození nebo již zmíněného učení (Lebeer, 1998 in Kulišťák, 2003). Běžně bývají popisovány níže uvedené typy plasticity:

- evoluční - změny nervové tkáně během ontogenetického vývoje
- reaktivní - změny způsobené krátkodobou stimulací
- adaptační - vznikají při dlouhodobé nebo stálé stimulaci
- reparační - strukturální a funkční obnova poškozené nervové tkáně (Trojan, Mourek, & Pokorný, 1997 in Kulišťák, 2003).

Jako důkaz rané, a tedy evoluční, neuroplasticity Trojan a Pokorný (1998) přinášejí příklad důsledků vizuální deprivace kořat, kterým byla omezena stimulace jednoho oka. Aktivační efekt signálu deprivovaného oka na neurony vizuálního kortexu, se ukázal být značně nižší v porovnání se stimulovaným okem. V souvislosti s tím Trojan a Pokorný (1998) odkazují na krátký časový úsek vývojového progresu, jenž je spojován se zvýšenou senzitivitou k určitým podnětům. Toto vývojově kritické období je provázáno plasticitou senzitivních struktur.

Tento typ senzitivity popisovali již Matějček a Langmeier (1974) na případech vlčích, a jinak stimulačně deprivovaných dětí, které po překročení kritického vývojového období tří let, již nebyly schopny si plně osvojit gramatickou strukturu jazyka. Další důkazy rané jazykové plasticity přináší psycholingvistické výzkumy zejména Elen Bialystok, kterým se budeme věnovat samostatně v kapitole 4.

Neuroplastické změny jsou ovšem zaznamenávány i mimo vývojově kritická období. Důkazy těchto adaptivních změn přináší například studie Eleanor A. Maguire et al. (2000), jejichž výsledky dokazují, že zadní hipokampus profesionálních londýnských řidičů taxi, je významně větší ve srovnání s kontrolní skupinou neprofesionálních řidičů. U kontrolních subjektů je pozorována naopak větší přední hipokampální oblast. Eleanor A. Maguire et al. (2000) dále konstatují, že hipokampální objem koreluje s množstvím času, který subjekty experimentální skupiny řidičů strávili profesionálním řízením taxi. Tím autoři shrnují, že i zadní hipokampus se může v průběhu života měnit v závislosti na míře užívání navigačních schopností (Maguire et al., 2000). Podobných výsledků dospívá i o šest let později provedená studie Eleanor A. Maguire, Katherine Woollett a Hugo J. Spiers (2006).

Adaptivně specifické diskrepance v objemu kortexu uvádí také Carter et al. (2009) na subjektech abstinentů, bývalých uživatelů alkoholu, občasných uživatelů alkoholu a těžkých alkoholiků, u kterých byl zjištěn až o 1,6 % nižší mozkový objem. Dále autorka uvádí studii, ve které se probandi mezi 60 – 79 lety účastnili pravidelných aerobních cvičení. V porovnání s kontrolní skupinou necvičících, již po prvních šesti měsících scany z magnetické rezonance (MRI) prokázaly zvýšený mozkový objem cvičících (Carter et al., 2009).

1.1 Vlastnosti neuronálních sítí

Rozhodujícími faktory stojícími za schopností těchto způsobů plasticity jsou vlastnosti neuronálních sítí, které, nejen že umožňují přesun informace, ale také umí neustále vytvářet nová spojení mezi neurony a zapojovat je mezi propojení vzniklá dříve (Kulišťák, 2003). Každý tento neuron má vlastní individuální podobu a set propojení s dalšími neurony, jež je tvarováno jejich historií a způsobem užívání napříč časem. Za určitých podmínek může docházet k zeslabování, až mizení synapsí mezi neurony, zatímco jiné se posilují (Carter et al., 2009). Tento jev Jon Lieff (2014) popisuje jako dlouhodobou potenciaci (*long term potentiation – LTP*).

Důležitou vlastností neuronálních sítí je také schopnost budování zpětné vazby a schopnost všechny tyto faktory nepřetržitě udržovat na vysoké úrovni aktivní funkčnosti (Kulišťák, 2003). To je spojeno s řadou biochemických a elektrofyziologických dějů. Akční potenciály neuronálních sítí jsou způsobeny cestováním chemických částic, nazývaným ionty, které mají svůj elektrický náboj. Jedná se zejména o minerály sodíku, draslíku a chloridu (Carter et al., 2009).

Svou roli v přenášení vzruchů hrají také neurotransmitery. Jedná se o chemické posly, které přenášejí, zesilují a modulují signály mezi neurony a jinými buňkami (acetylcholin, GABA, dopamin, serotonin, noradrenalin, histamin, atd.). Konkrétní neurotransmitery mohou excitovat nervovou buňku, s dopomocí depolarizace, a tím pokračovat v nervovém impulsu, nebo mohou naopak zabránit depolarizaci svým inhibičním postsynaptickým efektem.

1.1.1 Mechanismy neuroplastických změn

Chemické procesy dlouhodobé potenciace probíhají na úrovni glutamátového neurotransmiteru dvou typů – AMPA, která produkuje rychlé excitační potenciály neuronu a její receptory hrají důležitou roli pro synaptický přenos (Riedel, Platt, & Miescher, 2003), a methylnasparagové kyseliny - NMDA (Lieff, 2014). Obecně je míněno, že aktivace NMDA receptorů a glutamátové dlouhodobé potenciace, může hrát rozhodující roli v procesu učení a formování paměťových stop (Thompson, & Disterhoft, 1997, Levin et al., 1998, Xu et al., 2001 in Rezvani, 2006).

Dalším mechanismem může být pozměňování dendritické struktury. Tato změna je modulována proteinem BDNF (mozkem derivovaný neurotrofický faktor) a estrogenovou signalizací (Lieff, 2014). Po jejich působení dochází ke zvětšení dendritických ostnů, čímž neuron získává schopnost rychleji přijímat signály. Během přestavby mozkové fyzické struktury dochází také ke změnám postsynaptické hustoty (PSD), jež je zahrnuta v určování odpovědi na neurotransmitter stimulující receptor a způsobuje neuroplastické posílení neurálních synapsí (Lieff, 2014). Na neurální úrovni může docházet také k alteracím prostoru mezi presynaptickými a postsynaptickými buňkami. Neurologiny z postsynaptické membrány při kontaktu s b-neurixiny z presynaptické membrány udržují synapse pospolu a tím vytváří různé způsoby a různé typy neuroplasticity. Lieff (2014) také upozorňuje například na neuroplasticitu způsobenou proteiny a ribonukleovou kyselinou (RNA), které ovlivňují genetické sítě. Dochází zde k alteracím genotypu ve fenotypu (Kulišťák, 2003).

Taupin (2006) neuroplasticitu také pojímá jako důsledek diferenciaci původně nediferenciovaných kmenových buněk, jež jsou celoživotně přítomny v lidské centrální nervové soustavě (CNS). Tyto nervové buňky slouží k pokusu CNS seberegenerace po zranění či prodělání mozkové mrtvice. Kulišťák (2003) i Taupin (2006) neurogenезi lokalizují bilaterálně v *gyrus dentatus*. Hipokampální lokalizaci neurogenезe uvádějí i Eriksson et al. (1998).

1.2 Lingvistická neuroplasticita

Neuroplasticita lingvistické složky bývá nejčastěji hodnocena ve vztahu k řečovým vadám a patologickým mozkovým nálezům. Tzourio-Mazoyer et al. (2017) například uvádějí, že stěžejní nálezy o rolích hemisfér v jazykovém zpracování byly získány u pacientů, kteří podstoupili protnutí *corpus callosum*. Jak sám Tzourio-Mazoyer et al. (2017) popisují, těmito studii byla odhalena existence „dvou mozků“, kde levá hemisféra zahrnuje lingvistické funkce, zatímco pravá hemisféra hostuje paralingvistické funkce. Poznatky Tzourio-Mazoyer et al. (2017) a nálezy Hinkley et al. (2016) nás odkazují k důležitosti propojenosti obou hemisfér, která pomáhá ke specifitější specializaci každé z nich a k fungování jazykové lateralizace.

Thompson a Ouden (2008) uvádějí pozorování, ve kterých byla popsána dvě schémata cerebrálního zotavení se po poškození. Jedním z těchto schémat je situace, kde jazyková funkce, premorbidně lokalizovaná v levé hemisféře, je přesunuta do homologní oblasti pravé hemisféry. To bylo již o několik let dříve navrženo také Rasmussenem a Milnerem (1977, in Kolb, Gibb, & Gorny, 2000). V jiných případech může být nervová tkáň levé hemisféry posílena, čímž rozšiřuje svou funkční mapu do přilehlých oblastí. Thompson a Ouden (2008) vycházejí z nálezů Holland et al. (1998 in Thompson, & Ouden, 2008), které poskytují neurofyziologické důkazy, že jedinci s afázií často vykazují významné zotavení po mozkovém poškození i v chronických fázích právě v těchto schématech. To, že poškození jazykové levé hemisféry nemusí bezprostředně vést k jazykovým deficitům, a tedy její funkce mohou převzít jiné struktury, bylo uvedeno již v roce 1868 (Finger, & Almlí, 1988).

Další důkazy o existenci lingvistické plasticity přináší například experimentální rehabilitace ve studii Haldin et al. (2017). K aktivizaci cerebrálního zotavení bylo využito rehabilitační metody senzorio-motorické fúze. Tato metoda poskytuje pacientovi možnost vizualizace jazykových a retních pohybů při použití vysokorychlostního ultrazvuku a video zobrazování. Vychází z předpokladu, že řeč je, kromě jiných, zakotvena v senzomotorických zkušenostech a tedy by mohlo zlepšování pacientových reprezentací jeho vlastních artikulačních pohybů vyvolat lepší selekci, produkci a kombinaci řečových návyků. Experimentu se zúčastnil pacient s neplynulou řečovou afázií (NFA) po cévní mozkové příhodě. Analýza jazykové části přináší výsledky ukazující obecné zlepšení řečové produkce. Celkově byly schopnosti jazykové produkce zlepšeny zejména v rámci artikulačních a fonologických procesů a tedy se dá obecně říci, že rehabilitační proces byl efektivní, s výjimkou

verbální fluence. Po analýze auditivní části rehabilitace byl zjištěn procentuální nárůst správnosti produkce samohlásek a souhlásek (Haldin et al., 2017).

Lingvistická neuroplasticita bývá v současné době hojně podporována také výzkumem bilingvního efektu na cerebrální uspořádání. O této problematice budeme pojednávat samostatně v kapitole 4.

1.3 Neuroplasticita frontálních laloků

Anatomické studie zkoumající existenci plasticity ve frontálních lalocích se opírají o údaje získané od pacientů s kortikálním poškozením. Tyto studie ukazují, že funkční náprava po určitých typech poškození je spojena s reorganizací zbývajících kortikálního obvodu, zahrnující zvýšenou dendritickou arborizaci a zvýšenou spinální hustotu (Kolb, Gibb, & Gorny, 2000). Zároveň uvádí, že k těmto změnám nemusí docházet pouze na přirozených fyziologických mechanismech nápravy, ale také v rámci neuromodulátorů, neuroterapie nebo učení.

2 FRONTÁLNÍ LALOK A JEHO ANATOMIE

Frontální lalok je lokalizován v anteriorní části mozku pod frontální lebeční kostí. Podélná brázda jej dělí na pravou a levou hemisféru, které spojuje *corpus callosum*. Dále je čelní lalok anatomicky oddělen od vedlejšího parietálního laloku Rolandovou brázdou a od sousedícího temporálního laloku je vymezen laterální Sylviovou rýhou (Kulišťák, 2003). Miller a Cummings (1999 in Kulišťák, 2003) dále frontální oblasti dělí na motorickou a premotorickou kůru, paralimbickou kůru a kůru prefrontální. J. M. Fuster (2002) nebo O. Metin et al. (2017) uvádějí tři hlavní anatomické oblasti frontálního laloku: laterální, mediální a ventrální (či orbitální).

Frontální lalok je dále definován jako část cerebrálního kortexu, který obdrží projekce z mediodorsálního jádra thalamu a dalších subkortikálních částí mozku. Tato propojení reflektují komplexní rozšíření funkcí čelních laloků do dalších cerebrálních struktur (Fuster, 2015).

2.1 Vývoj frontálních laloků

J. M. Fuster (2002) frontální lalok popisuje jako nejpozději se vyvíjející oblast celého mozku. Jedná se o jednu z kortikálních oblastí, které podstupují největší expanzi v rámci evoluce a osobní zralosti jedince. Tento dlouhotrvající vývoj je zřejmý v pozdní myelinizaci axonálních spojů a má za následek celkové zkvalitnění frontálních struktur a jejich funkcí - kontroly expresivního a instinktivního chování a vývoj exekutivních funkcí.

Vývoj těchto kognitivních nástrojů prefrontálního kortexu dospělého jedince je vyvrcholením biologického procesu. Jedná se o podklad kognitivních funkcí nejvyššího řádu a o výsledek fylogenetické diferenciaci, která našemu druhu přináší ojedinělé dědictví (Fuster, 2002, 2015). Kulišťák (2003) tyto oblasti popisuje jako oblasti zodpovědné za nejvyšší úroveň „člověčenství“.

2.1.1 Fylogenetický vývoj

Srovnávací studie přináší poznatky, že neokortex savců se vyvinul mezi starými strukturami, které tvoří koncový mozek. Jedná se o proces neokortikalizace mozku, kdy jsou

jednodušší struktury nejen doplněny o vyvinutější struktury neokortexu (Crosby, 1917, Nauta, & Karten. 1970, Aboitiz et al., 2003 in Fuster, 2015), ale zároveň jsou s nimi mnohonásobně propojeny. To významně zvyšuje rozsah a komplexitu chování, které savci, včetně člověka, vykazují (Carter et al., 2009).

Celkově mozek hominidů prošel řadou evolučních změn, které jej udělaly zřetelně odlišným od blízkých příbuzných, jako jsou gorily nebo šimpanzové. V publikacích bývá popisováno, že významné změny jsou nalézány ve frontálních lalocích, které jsou zodpovědné za komplexní myšlení, vědomé rozhodování a sebereflexi, a že se tyto oblasti v rámci fylogeneze vyvinuly více, než kterékoli jiné mozkové oblasti a stojí tedy za kognitivními výhodami člověka a dalších primátů (Semendeferi et al., 2002, Carter et al., 2009, Schotten et al., 2012).

V lidském mozku frontální kortex, jež byl popsán již na přelomu 19. a 20. století Brodmannem, zaujímá až 29% z objemu celé mozkové kůry (viz příloha 1). U kůry šimpanzů je to potom 17% a psí frontální oblasti zabírají přibližně 7% celkového objemu mozku (Fuster, 2015). Relativní expanze objemu kortexu napříč fylogenezí je spojována se změnami v anatomických vlastnostech jako je zvýšení indexu gyrifikace nebo hustoty synapsí (Schotten et al., 2012). J. M. Fuster (2015) do faktorů stojících za vývojem frontálního kortexu zařazuje také fibroblastický růstový faktor, který reguluje veškerý rostrální encefalický vývoj.

Ovšem velikost mozku a jeho objem není jediný faktor, na kterém by ve fylogenetickém vývoji záleželo. Při diferenciálním výzkumu velikosti lebečních kostí hominidů bylo zjištěno, že *homo neanderthalensis* měl až o 100 kubických centimetrů vyšší objem než současný člověk (Carter et al., 2009). Zřejmě tedy ve vývoji hraje roli více faktorů, a tak druh *homo neanderthalensis* byl jinými druhy hominidů v rámci evoluce potlačen.

2.1.2 Ontogenetický vývoj

Carter et al. (2009) uvádějí, že vývoj mozku a nervového systému jedince začíná již přibližně ve třech týdnech embryonálního vývoje na úrovni diferenciace buněk, jež vede k formaci nervové ploténky v dorsální části embrya. To rozšiřuje tekutinou vyplněnou neurální trubici, ze které se následně vyvíjí mozek a mícha. Mozek se začíná vyvíjet po čtvrtém týdnu na konci zmíněné neurální trubice a ve vytvářejících se vyvýšeninách je již možné v sedmém týdnu rozpoznat mozkový kmen nebo mozeček. V následujících týdnech se mozek dále vyvíjí a zvětšuje.

Při narození jsou dendritické hřídele frontálního kortexu relativně řídké a objem buněk je malý v porovnání s dospělým jedincem (viz příloha 2). Ovšem tato dendritická hustota a větvení se postupně začne rapidně zvětšovat do 24. měsíce a následně se jejich vývoj opět zpomaluje (Fuster, 2015). To potvrzuje i Amanda S. Hodel (2018) odkazováním na poslední neurovizuální studie, jež potvrzují, že vývoj frontálního kortexu se rapidně rozšiřuje v prvních dvou letech vývoje dítěte a právě například vývoj inhibičního zpracování, jež je klíčové v našem výzkumu, je spojen s vývojem frontálních oblastí v raném dětství (Diamond, & Goldman-Rakic, 1986, 1989, Bell, & Fox, 1992, Baird et al., 2002 in Holmboe et al., 2008).

Obecně je ovšem podporován názor, že frontální kortex je pozdně vyvíjející se oblast mozku jedince (Jernigan, & Tallal, 1990, Pfefferbaum et al., 1994, Reiss et al., 1996, Giedd et al., 1999 in Fuster, 2002, Carter et al., 2009, Hodel, 2018). Základní struktura mozku je sice vyvinuta již ve třech letech života, ale některé části stále zůstávají, jak uvádí Rita Carter (2009), „offline“, včetně frontálního kortexu. Ten se stále vyvíjí i v pubescentním věku, a tak jsou dospívající stále značně závislí na práci amygdaly při zpracovávání emočních informací. To může stát za jejich slabým úsudkem, zbrklostí a impulsivním chováním (Carter et al., 2009, Casey et al., 2011, Hodel, 2018).

Kolem třetí dekády života je frontální kortex již plně vyvinut. Tím je mozek méně závislý na zpracování informací amygdalou, reflektuje emoční zralost a můžeme pozorovat obecné zlepšení exekutivních funkcí psychicky vyspělého člověka (Carter et al., 2009).

2.2 Funkce frontálních laloků

J. M. Fuster (2002) z hlediska funkční organizace frontální kortex hodnotí jako těžko definovatelný z hlediska cytoarchitektury v důsledku mnohonásobných propojení frontálních oblastí s jinými mozkovými strukturami. Obecně jej nicméně popisuje jako oblast hrající kritickou roli v organizaci behaviorálních, lingvistických a kognitivních akcí. To potvrzuje i Kulišťák (2003, pp. 124) když píše, že frontální lalok „*se věnuje organizaci činnosti ve všech neurobiologických i kognitivních oblastech*“. Dle funkční organizace Kulišťák (2003) na frontální lalok pohlíží z hlediska dělení na premotorickou kůru, kůru orbitofrontální a prefrontální.

Funkce premotorické kůry (PMK) má velice úzkou souvislost s propojením se sousedící motorickou kůrou, která je hlavním generátorem nervových impulsů putujících do míchy –

zasluhuje se tedy o plánování a provedení vědomého pohybu. Premotorický kortex v porovnání s kortexem motorickým pohyb vybírá a je zodpovědný za připravení se k pohybu, jeho sensorické vedení a přímou kontrolu (Kulišťák, 2003, Ramkumar et al., 2016). Premotorický kortex se také zaslouhuje o přípravu řečových vzorců. Následkem poruchy v této frontální oblasti dochází k poruše řečových pohybových návyků (Luriji, 1982 in Kulišťák, 2003). Řečovou apraxii ve vztahu k PMK zkoumali také Patira et al. (2017). Jedná se o artikulační vadu, kterou studovali u pacientů po akutní mozkové mrtvici s cílem podrobněji prozkoumat změny v dorsálním premotorickém kortexu (viz příloha 3). Dle jejich poznámek se jedná o unikátní funkční oblast frontálního laloku, která stojí za plánováním a koordinací řečové produkce v účinnosti s blízko lokalizovaným motorickým kortexem.

Kulišťák (2003) další oblast frontálního laloku - orbitofrontální kůru, popisuje jako oblast, mající velký podíl na integraci osobnosti jedince. Jeho poškození může vést ke změnám osobnosti (Metin et al., 2017). Zároveň je zde lokalizováno i zpracování chuťových a čichových vjemů. E. T. Rolls (2004) o orbitofrontálním kortexu píše jako o sekundárním chuťovém kortexu, ve kterém je reprezentována emoční hodnota chuťové a čichové odměny. Díky propojení s kortikálními zrakovými oblastmi v temporálních lalocích obdrhuje také vizuální informace, které předešlé smyslové vjemy umocňují.

V neurozobrazovacích studiích je také zjišťováno, že je orbitofrontální kortex aktivovaný příjemným, ale také bolestivým dotekem a výhrou, či prohrou peněz (Rolls, 2004). Jiné studie uvádějí (Kawabata, & Zeki, 2004, Jacobsen et al., 2006, Ishizu, & Zeki, 2011, Ishizu, & Zeki, 2013 in Ticini, 2017), že je také zapojen při vnímání estetických stimulů. Studie na opicích s poškozením kaudálních orbitofrontálních oblastí poukazují na zhoršení inhibiční kontroly v Go/NoGo testech (Iversen, & Mishkin, 1970, Rosenkilde, 1979 in Rolls, 2004). Zmíněná inhibiční kontrola je v řadě publikací hodnocena již jako komponenta exekutivních funkcí prefrontální kůry (Jurado, & Rosselli, 2007, Chan et al., 2008, Diamond, 2013, Biscontini, 2015).

2.2.1 Exekutivní funkce

Exekutivní funkce (EF) jsou mentální procesy potřebné při snaze koncentrovat se a využívat pozornostní kontrolu (Diamond, 2013). Jedná se o aktivní procesy, které nám dovolují dokončit komplexní úlohy. Poskytují schopnost řešit nečekané problémy, plánovat a promýšlet záležitosti v předstihu a odolat negativním pokušením (Biscontini, 2015). Zastřešují další

funkce jako je plánování, pracovní paměť, inhibice, mentální flexibilita či zahájení a monitorování akcí, řešení problémů, udržení pozornosti, odpor interferencím, kognitivní flexibilitu a verbální uvažování (Chan et al., 2008). Zmíněné funkce bývají nazývány „chladnými komponentami“, protože jim odpovídající kognitivní zpracování má tendenci nezahrnovat příliš emočního vzrušení a jsou zároveň relativně mechanisticky a logicky založeny (Grafman, & Litvan, 1999 in Raymond et al., 2008). V kontrastu s tím bývají popisovány frontální funkce i na emoční rovině – jde o zkušenost s odměnou a trestem, regulace sociálního chování a rozhodování se.

První koncept exekutivních funkcí byl popsán jako „centrální exekutiva“ Baddeleym a Hitchem (1974 in Jurado, & Rosselli, 2007) a později definován Lezakem (1983 in Jurado, & Rosselli, 2007) jako dimenze lidského chování, které se vypořádává s tím, jak je chování vyjadřováno. Tyto funkce byly rozděleny na schopnost formace cíle, plánování, uskutečnění cílesměrných plánů a efektivního výkonu. V současné době A. Diamond (2013) a T. Biscontini (2015) uvádějí obecnou shodu, že exekutivní funkce obsahují tři jádra: inhibici, pracovní paměť a kognitivní flexibilitu.

Inhibiční kontrola

Inhibiční kontrola obsahuje schopnost kontroly pozornosti, chování, myšlenek a emocí v situacích, kdy je vyžadováno jiné vhodnější jednání, než ke kterému je člověk interně puzen. Obecně řečeno nám umožňuje selektivně se zaměřovat a soustředit se, i navzdory působícím distraktorům. Antagonisticky pracuje s pozorností zdola-nahorů, tedy exogenní, neboli pozorností nedobrovolnou, která je zachycována stimuly bezděčně (Theeuwes, 1991, Posner, & DiGirolamo, 1998, in Diamond, 2013). Jinými slovy může být inhibiční kontrola nazývána jako zpracování shora-dolů, endogenní pozornost, pozornost dobrovolná či selektivně zaměřená.

Bez inhibiční kontroly bychom byli v moci impulzů, starých návyků a podmíněně naučených odpovědí. Ontogenetický i fylogenetický vývoj frontálních laloků s jeho schopností inhibice nám umožňuje výběr toho, jak se budeme chovat místo toho, abychom jednali jako nemyslicí stvoření vázané starými návyky (Diamond, 2013). T. Biscontini (2015) doplňuje, že nám tato schopnost dodává disciplínu k učení, možnost sebekontroly a zůstat otevřený k morálním standardům. Je spojena s pracovní pamětí.

Pracovní paměť

Pracovní paměť umožňuje podržení si informace v mysli, možnost další mentální manipulace s ní a zvažování alternativ, aniž by daná informace byla aktuálně smyslově vnímána (Diamond, 2013). Díky ní je jedinec schopen udržet komplex myšlenek, abstraktně je reprezentovat a pochopit je. Je nepostradatelná při chápání časového rozmezí a zápletek běžných životních situací, vět a setu instrukcí (Biscontini, 2015) a nenahraditelná v postupně rozvíjejících se situacích, ve kterých je důležitá časová návaznost a umění propojení přicházejícího s minulým (Diamond, 2013).

A. Diamond (2013) uvádí dva typy pracovní paměti v závislosti na obsahu, s kterým pracuje – jedná se o verbální a neverbální pracovní paměť. Je důležité ji zároveň odlišovat od krátkodobé paměti, která informace v paměti pouze udržuje, ale nijak s nimi nemanipuluje. Liší se také v kortikální lokalizaci – pracovní paměť bývá spíše lokalizována v dorsolaterálním prefrontálním kortexu (Eldreth et al., 2006, in Jurado, & Rosselli, 2007, Diamond, 2013) a krátkodobá paměť je sledována ve frontálních ventrolaterálních oblastech.

Kognitivní flexibilita

Kognitivní flexibilita je důležitá pro kreativní zpracování úkolů a vyvíjení odlišných postojů a pohledů (Biscontini, 2015). Jedním z aspektů kognitivní flexibility je být schopen flexibilně se přizpůsobovat nečekaným změnám požadavků. Zahrnuje také schopnost měnit perspektivu prostorově (a tedy manipulovat například s předměty v pracovní paměti) či interpersonálně (Diamond, 2013). K tomu Biscontini (2015) zařazuje schopnost jedince zvažovat násobná řešení problémů a braní v potaz různých úhlů pohledu v rámci hodnotové orientace. V souvislosti s tímto nástrojem EF Jacques a Zelazo (2005) hovoří o teorii mysli.

Ke změnám perspektivy je nutné inhibovat naše předešlé zkušenosti a do pracovní paměti nahrát perspektivu jinou. V tomto smyslu je zřejmé, že kognitivní flexibilita staví na předem vyvinutých inhibičních schopnostech a schopnostech využívání pracovní paměti. Jedná se o pozdní komponentu vývoje exekutivních funkcí.

2.2.2 Vývoj exekutivních funkcí

M. B. Jurado a M. Rosselli (2007) konstatují, že schopnost inhibice bývá pozorována již u dvanáctiměsíčních dětí (Diamond, & Goldman-Rakic, 1985, 1989, in Jurado, & Rosselli, 2007), nicméně další studie uvádějí, že svého největšího rozvoje dosahuje kolem šestého a

osmého roku s tím, že ve dvanácti letech je jedinec kompletně připraven pro její plné využívání (Passler et al., 1985, in Jurado, & Rosselli, 2007). A. Diamond (2013) píše, že úroveň inhibiční kontroly v dětství silně predikuje výkony napříč životem.

Udržení informací v mysli v rámci pracovní paměti se objevuje již v raném věku a je stejně jako inhibiční kontrola pozorována již mezi devátým a dvanáctým měsícem věku. Její plný vývoj je ovšem mnohem pomalejší a schopnost udržet a manipulovat v mysli více prvky je záležitostí prodloužené vývojové progrese (Cowan et al., 2002, Crone et al., 2006, in Diamond, 2013).

Pracovní paměť svůj úpadek zažívá v důsledku stárnutí. To se objevuje v návaznosti na upadající projevy inhibiční kontroly, které zapříčiňují to, že se stárnoucí stává mnohem zranitelnější vůči proaktivní a retroaktivní interferenci (Hedden, & Park, 2001, Solesio-Jofre et al., 2012 in Diamond, 2013). To je důsledek anatomických změn frontálního laloku.

Biscontini (2015) shrnuje, že vědecká komunita obecně věří, že lidé se nerodí s daným setem úrovní exekutivních funkcí. Místo toho se údajně rodí s určitou kapacitou pro exekutivní funkce, která může být následně naplněna, či zůstat nevyužita.

2.2.3 Experimentální měření exekutivních funkcí

K hodnocení inhibice bývá využíváno například antisakadických tasků, Stop/Signal nebo Go/NoGo testů, Flankerova či Stroopova testu, kdy testovaný nahlas vyjadřuje barvu inkongruentních slov. Objevuje se také test cesty (*trail making test, TMT*), ve kterém má participant za úkol co nejpresněji a nejrychleji spojit číslice, jež jsou uvedena v náhodném pořadí, či se využívá Wisconsinský test třídění karet (vhodný též pro měření pracovní paměti) a případně jiné testy fluence (Jurado, & Rosselli, 2007).

Pro hodnocení přepínání mezi stimuly, strategickým plánováním a organizováním na cíl zaměřených aktivit se využívá také test zvaný CANTAB, což je nejvalidizovanější počítačový kognitivní test (Jurado, & Rosselli, 2007).

Chan et al. (2008) ovšem i přes velkou oblibu testů EF zpochybňují přesnost a validitu těchto metod. Poukazují na nedostatky zejména v rámci diagnostiky dysexekutivního syndromu, který zahrnuje problémy s plánováním, organizací, řešením problémů a rozhodováním se (Ardila, & Surloff, 2004, Norris, & Tate, 2000 in Jurado, & Rosselli, 2007).

Píší, že exekutivní funkce jsou obecné schopnosti dosáhnout cíle, a tak selhání při testech toho typu, může vypovídat o důsledcích mnoha různých poškození. Shrnují, že pacientův výkon při jednotlivém testu může mít jen malou, či žádnou prediktivní hodnotu o výkonu v dalších testech, či dokonce v reálných životních situacích (Burgess, 1997, Burgess et al., 1998 in Chan et al., 2008). V důsledku toho vyjadřují požadavek pro vytvoření více komplexnějších výkonových testů, které by spíše simulovaly realitu.

Kromě testových metod jsou využívány také neurovizuální metody, které se zaměřují právě na sledování změn ve frontálních oblastech. Počátky výzkumu neurálních korelátů exekutivních funkcí se zdají být zasazeny v raných pozorováních pacientů s frontálními lézemi. Tito pacienti vykazují potíže se sebekontrolou a pozornostním přepínáním (Goldberg, 2001, Lezak et al., 2004 in Jurado, & Rosselli, 2007).

Neurální změny během aktivizace pozornostní kontroly studie zaznamenávají v oblastech *anterior cingulate cortex* (Kaufmann et al., 2005, Lie et al., 2006 in Jurado, & Rosselli, 2007), v levém až pravém ventrálním frontálním kortexu (Collette et al., 2001, Fassbender et al., 2004 in Jurado, & Rosselli, 2007) a ve frontálním kortexu dorsolaterálním (Gerton et al., 2004, Fassbender et al., 2004, Lie et al., 2006 in Jurado, & Rosselli, 2007). M. B. Jurado a M. Rosselli (2007) shrnují, že exekutivní aktivita je globálně prokazována ve frontálních *superior medial* oblastech při kognitivním přepínání a ve frontální oblasti *inferior medial* při inhibičním zpracování.

3 JAZYK A ŘEČ

Jak bylo již výše zmíněno, s funkcí frontálních laloků souvisí také schopnost jazykového zpracování. Jak je zřejmé, řeč není pouze záležitostí pospolitého seřazování symbolů ke sdělování významů. Jedná se o komplexní schopnost verbální podoby, náležící výhradně lidskému druhu. Ačkoli existují druhy primátů, které mají mozkové oblasti, jež by mohly nést funkci primitivních jazykových oblastí, v minulých studiích se nedokázalo prokázat, že by rozvoje této schopnosti byli schopni.

Jedná se například o studie manželů Gardnerových, kteří byli součástí aktivního výzkumného programu, ve kterém zkoumali chování šimpanzů, jejich komunikaci a aplikovali na nich studie znakového jazyka. Největším průlomem byl jejich úspěch u samičky Washoe, kterou naučili principem operantního podmiňování využívat posunkovou řeč (Plháková, 2007). Podobným příkladem je také případ gorilí samičky Koko, která byla naučena rozumět více než 1,000 znakům amerického znakového jazyka a kolem 2,000 slovům anglického mluveného slova (Carter et al., 2009). Herbert Terrace (in Plháková, 2009) shrnuje, že lidoopi jsou schopni porozumět promluvám, ovšem nejsou schopni tyto jazykové struktury vytvářet. Výsledky výzkumů naznačují, že šimpanzi jsou schopni dosáhnout jazykové úrovně přibližně tříletého dítěte. Další učení je limitováno biologickými faktory (Seamon, & Kenrik, 1992, in Plháková, 2009).

3.1 Vývoj jazyka a řeči

Love a Webb (2009) uvádí, že u lidského druhu rychlý raný vývoj jazykových schopností kopíruje rychlý nárůst váhy mozku. Píší, že základní lingvistické schopnosti dítě získává přibližně kolem 4.-5. roku věku a později v pubertě, kdy mozek dosahuje maximální velikosti, schopnost osvojení si jazyka strmě klesá. Toto lingvisticky kritické období je stvrzováno případy podnětově deprivovaných dětí, které byly zmíněny již v předešlé kapitole.

Pro rozvoj funkce řeči a jazyka je zcela zásadní vývoj mozkové kůry hemisfér. Většina receptivních kortikálních struktur zodpovědných za rozvoj těchto, výhradně lidských, funkcí jsou v mozku lokalizovány již při narození, nicméně další plný vývoj záleží na vývoji synaptických spojení a myelinizace. Myelogeneze má za následek rychlejší přenos neuronální informace a její nevyzrálost se dává do souvislosti právě s vývojovým opožděním jazyka.

Love a Webb (2009) dále uvádějí, že při narození je nejvíce vyvinuta a myelinizována frontální motorická oblast precentrálního gyru. Následuje ji samotásenzorická oblast postcentrálního gyru v laloku parietálním, primární vizuální area v okcipitálním laloku a jako poslední dozrává primární auditorní kortex.

Řečové a jazykové asociační oblasti pravděpodobně dozrávají až v předškolním věku. Vývoj Broccovy a Wernickeho oblasti souvisí se stabilizací fonologického systému (Love, & Webb, 2009).

3.2 Neuroanatomie jazyka a řeči

Levá hemisféra mozku bývá považována za dominantní oblast jazykových a řečových mechanismů a již v raných letech vykazuje strukturální rozdíly, které v pozdějším věku podpoří jazykovou dominanci (Love, & Webb, 2009). Carter et al. (2009) ovšem uvádějí, že ačkoli má velká část populace hlavní jazykové oblasti v levé hemisféře, objevují se i tací, kteří mají jazykové funkce distribuované v obou hemisférách a jiní je mají pouze v pravé.

Ovšem hlavní jazykové oblasti, Broccova a Wernickeho oblast, leží v levé hemisféře. Broccova oblast je lokalizována ve frontálním laloku v levé posteriorní oblasti. Její zadnější část řídí ústa ke správné formulaci slov, zatímco přednější část má co dočinění s aspektem významu slov. Wernickeho oblast se nachází v horní části temporálního laloku. Přiléhá k okcipitální a parietální kůře, také ke sluchové asociační kůře, a stojí za porozuměním viděnému a slyšenému slovu (Carter et al., 2009).

3.2.1 Neurosenzorické uspořádání

Zpětná sluchová vazba řeči hraje podstatnou roli při jejím řízení. Při klasifikaci sluchového vnímání může být užito Sherringtonova schématu, ve kterém senzorické receptory dělí na interoreceptory, proprioreceptory a exteroceptory. Právě exteroceptory mají zásadní úkol při zprostředkovávání veškerých senzorických vjemů, které přicházejí z vnějšího prostředí. Zpracovávají vjemy zrakové, zvukové, čichové a kožní. Do příslušných center mozku jsou z periférie následně rozváděny neuronálními drahami hlavových nervů (Love, & Webb, 2009).

Při následné samotné produkci řeči mají velký význam svalová vřeténka. Love a Webb (2009) je popisují jako zapouzdřené struktury v příčně pruhovaném svalstvu. Plní úkol

primárních aferentních proprioreceptorů a bývají nalézány v mezižeberních a hrtanových svalech a také se objevují ve svalech jazyka a obličeje.

3.2.2 Neuromotorické řízení řeči

Produkce řeči se pohybuje na rovině volního pohybu svalů a ten je řízen pyramidovým systémem. Pyramidový systém je tvořen třemi trakty, nicméně kortikobulbární trakt pyramidového systému řídí hlavové nervy, které přímo inervují svaly zasluhující se o tvorbu řeči. Jedná se o hlavové nervy *nervus trigeminus*, *nervus facialis*, *nervus glossopharyngeus*, *nervus vagus*, *nervus accessorius* a *nervus hypoglossus*. Impulzy skrze tyto hlavové nervy pro artikulační akt přináší motoneurony typu alfa, jedná se o buňky předních rohů míšních (Love, & Webb, 2009).

4 BILINGVISMUS

Hartl (2004, pp. 32) bilingvismus popisuje jako „*schopnost hovořit přibližně stejně plynule dvěma jazyky*“. V počestlé verzi může být bilingvismus také označován dvojjazyčností. Tato dvojjazyčnost má své specifikum v tom, na rozdíl od cizího jazyka, kterému jsme se učili ve školních hodinách, že se pohybuje na úrovni mateřského jazyka, bývá sice osvojený později, ale i přesto přirozeně, v cizojazyčném prostředí, nikoli akademickou výukou (Hartl, 2004).

Značně stručněji se k popisu bilingvismu staví francouzský psycholog Norbert Sillamy (2001, pp. 26), který ve svém Psychologickém slovníku uvádí, že bilingvismus je pouhým „*užíváním dvou jazyků*“. Trochu specifičtěji se k bilingvismu vyjadřuje Bialystok (2001), když píše, že ti, kdo jsou schopni být funkční ve dvou jazycích dle daných potřeb, jsou bilingvní. Virginia Valian (2015) uvádí, že bilingvismus by měl být chápán jako znalost jakéhokoliv počtu jazyků, kromě jednoho.

Internetový portál „The bilingual advantage“ publikovaný bilingvní učitelkou Jessicou Blin poukazuje na obtížnost jednotné definice bilingvismu. Zmiňuje se o množství bilingvních, ale i vícejazyčných, osob, kdy každý z nich má jiné charakteristiky - liší se v jazycích, které ovládají, v jejich frekvenci užívání, v době získání druhého jazyka (L2) a v neposlední řadě i v kvalitě užívaných řečí. Z toho důvodu je podle ní obtížné vyprodukovat jedinou, dokonale vystihující definici všech uživatelů dvou a více jazyků.

Stejně tak dochází i k nejasnostem ohledně dopadu bilingvní výchovy na aktuální, ale i pozdější, vývoj dítěte a na budoucí zařazení bilingvního jedince do sociálních a vzdělávacích situací. Sillamy (2001, pp. 26) uvádí, že „*v předškolním věku se dítě bez potíží učí řeči, kterou slyší ve svém okolí*“. Uvádí však také postoj autora E. Pichona, který se domnívá, že „*bilingvismus může narušit řídicí funkce řeči tím, že dítě je podrobeno vlivu dvou kultur, dvou rozdílných způsobů myšlení, dvou systémů vztahů mezi slovy a pojmy, které se přesně nepřekrývají. Jiné studie potom zase naopak ukazují, že bilingvní děti mají intelektuální převahu nad monolingvními*“ (Bhatnagar, Eisenstein, & Wagner, 1980 in Sillamy, 2001, pp. 27).

Také například kanadští výzkumníci Elizabeth Peal a Wallace Lambert (Peale, & Lambert, 1962 in Hakuta, 1986) se k bilingvismu vyjadřují: „*mladým, kteří získali široké zkušenosti ve dvou kulturách, byla dána výhoda, kterou si monolingvní neužívají*“. V kontrastu

s tím George Thompson (Thompson, 1952 in Hakuta, 1986) ve své učebnici dětské psychologie píše, že „není pochyb o tom, že dítě vychované v bilingvním prostředí je handicapováno v jeho jazykovém růstu“.

Kristina R. Olson a Sara Guirgis (2014) pojímající bilingvismus jako schopnost „být plynulý ve dvou jazycích“ se vyjadřují k výhodám a nevýhodám bilingvismu nezaujatě. Dávají příklad studií kanadské doktorky Ellen Bialystok, která předkládá důkazy jak bilingvních výhod, tak i nevýhod, v závislosti na zkoumané oblasti.

4.1 Bilingvní výhoda

Barac et al. (2014) uvádí, že studie kognitivních zvláštností bilingvismu mají relativně dlouhou historii datující se přibližně do počátků 20. století.

Počátek tohoto trendu reflektuje intuitivní předpoklad, že dvojjazyčnost musí mít své dopady - v lepším případě bylo ovládnání dvou jazyků považováno za vyčerpávající úkol, jenž může přesahovat kognitivní zdroje dětí a tím potenciálně vést k intelektuálním poškozením (Barac et al., 2014). V horších případech (zejména jen o pár desítek let dříve), byla dvojjazyčnost hodnocena jako nedostatek schopnosti mluvit v angličtině, jak uvádí Hakuta (1986). Barac et al. (2014) dále podotýká, že většina raných studií bilingvismu, až na pár výjimek, které byly globálně ignorovány, referují o vynikajících výkonech monolingvních dětí v porovnání s bilingvními v úkolech měřících inteligenční kvocienty, verbální inteligenci nebo aritmetické a čtenářské výkony.

Jednou z takových studií je studie z roku 1923 (Saer, 1923 in Barac et al., 2014), ve které bylo porovnáno přes tisíc výsledků ze Stanford-Binetovy škály inteligence anglicky monolingvních a anglicko-welshsky bilingvních. Celkové výsledky prokazovaly nižší inteligenční skóry bilingvních z venkovských poměrů s tím, že performační mezery mezi skupinami se přímo úměrně zvětšovaly s rostoucím věkem. To autor interpretoval jako „mentální zmatení“. Pozdější analýzy (Darcy, 1953, Peal, & Lambert, 1962 in Barac et al., 2014) ukázaly metodologické nedostatky studie, jež byly skryty v nedostačujícím definování proměnných jako je věk, socioekonomický status nebo pohlaví; dále v administraci testu, který byl předložen pouze v jednom jazyce a v neposlední řadě nebyla pro dobrý základ výzkumu předložena ani jednoznačná definice bilingvismu.

Pomineme-li metodologické chyby studie Saera (1923 in Barac et al., 2014), existuje další řada studií, která poukazuje na nedostatky bilingvních. Například Ellen Bialystok, Fergus I. M. Craik a Gigi Luk (2012) zastávají tvrzení, že globálně slabší výkony bilingvní podávají v úkolech zaměřených na verbální schopnosti.

To je potvrzováno použitím Bostonského pojmenovacího testu (*Boston naming test*), který je nástrojem vyhledávání konfontačních slov (Gollan et al. 2007, Bialystok, Craik, & Luk, 2007, Ivanova, & Costa, 2008). Nižší úspěšnost a přesnost bilingvních je zapříčiněna zhoršeným lexikálním zpracováním, které se odráží v nižší slovní zásobě a ve slabších spojích mezi lexikálními reprezentacemi a otevřeným slovním pojmenováním, jak navrhuje Gollan et al. (2005).

Další systematické deficity bilingvních odkrývají studie měřící verbální fluenci (Portocarrero, Burright, & Donovanick, 2007, Bialystok, Craik, & Luk, 2008). Jedná se o běžné neuropsychologické měřítko lexikálního vyhledávání, kde jsou participanti požádáni, aby vyprodukovali co největší počet slov za určitý časový úsek korespondující s daným fonologickým nebo sémantickým pravidlem.

4.1.1 Bilingvní výhoda a exekutivní funkce bilingvních

Jak píše Bialystok, Craik a Luk (2007), uvedené bilingvní nevýhody by měly být přesněji interpretovány jako důsledky nižší slovní zásoby než slabé kontroly lexikálního zpracování. Komponenty exekutivních funkcí jsou testovány nejčastěji pomocí Flankerova, Simonova a Stroopova testu. Jedná se o důležitá experimentální paradigmatata ve studii kognitivní kontroly a mechanismu konfliktního monitorování (Yu et al., 2015).

Bialystok, Craik a Luk (2012) později i na základě dalších studií (Bialystok, & Majumder, 1998, Goetz, 2003, Bialystok et al., 2008, Costa et al., 2008, Martin-Rhee, & Bialystok, 2008, Kovács, 2009, Yang et al., 2011, Rubio-Fernández, & Glucksberg, 2012) shrnují, že bilingvní překonávají monolingvní jedince v úkolech, jež obsahují konfliktní, nebo distraktující, informaci, ale v úkolech, které tato specifika neobsahují, se mezi skupinami rozdíl neobjevuje. Lepší přesnost bilingvních v úkolech, kde se střídají konguentní a inkonguentní případy, byla za inkongruentních podmínek popsána také ve studii Kałamała et al. (2017).

Například i studie Onga et al. (2017) potvrzuje, že bilingvní jsou značně účinnější ve zpracování stimulů při implikaci kontrolních pozornostních procesů během zpracování Flankerova konfliktního testu. Ong et al. (2017) pojímají pozornost jako klíčový faktor

bilingvní výhody a dodávají, že právě některé vývojové aspekty bilingvismu mohou zlepšit schopnost zorientování a zaměření pozornosti, zejména nachází-li se distraktující informace.

Stejných výsledků dosáhla i studie Abutalebiho et al. (2014), ze které Ong et al. (2017) vycházeli. Mimo jiné bylo v této studii využito i neurovizuální metody magnetické rezonance (MRI), kde pozorovali, že bilingvismus je spojen se snížením šedé hmoty mozkové v *anterior cingulate cortex*. Navrhují, že tato oblast stojí za benefity bilingvismu a kognitivní rezervou, která by mohla ochraňovat před kognitivním úpadkem v důsledku stárnutí. Snížený, případně o pár let zpomalený, kognitivní úpadek bilingvních potvrzují i další studie (Ellen Bialystok et al., 2004, 2007, Craik, Bialystok, & Freedman, 2010, Alladi et al., 2013). Skepticky se ovšem k těmto údajům staví například Lawton, Gasquoine a Weimer (2015), kteří ve své studii pozorovali, že proporce monolingvních a bilingvních, diagnostikovaných Alzheimerovou chorobou nebo vaskulární demencí, nebyly signifikantně odlišné, a tak shrnují, že kognitivní rezerva je hypotetický konstrukt, který zahrnuje několik proměnných jako je úroveň vzdělání, pracovní výsledky a zařazení, účast na intelektuálně stimulujících aktivitách a fyzickém cvičení. Alladi et al. (2013) ovšem dochází k tomu, že k bilingvní výhodě v rámci neurovaskulárních nemocí dochází nezávisle na kultuře a prostředí. Ong et al. (2017), mimo jiné, přichází s požadavkem potřeby dalších studií zaměřených zejména na pozornostní výhody bilingvních.

Již zmíněná Ellen Bialystok s Michelle M. Martin (2004) dále ve studii pozornosti a inhibiční kontroly požádaly účastníky, aby rozřídili karty podle jedné dimenze – později je pro třídění určena jiná dimenze. To přináší konflikt, při kterém zkoumaní musí věnovat pozornost pouze jedné relevantní dimenzi a předešlou musí ignorovat. Bilingvní probandi výrazně výkonově předčili monolingvní. Tím Bialystok a Martin (2004) potvrzují bilingvní výhodu při úkolu konceptualizace podle určitého pravidla, a tedy i exekutivních funkcí.

Timmer, Grundy a Bialystok (2017) to v praxi vysvětlují tím, že bilingvní jsou obecně schopni zacílit pozornost k jazyku, v kontextu právě používanému. Aby právě toho dosáhli, nezbytností kontrolního systému je vyselektovat cílený jazyk bez rušivých vlivů necíleného jazyka (Green, 1998 in Timmer, Grundy, & Bialystok, 2017). Bialystok (2017) uvádí, že tyto pozornostní a kontrolní procesy jsou potenciálními základy bilingvní výhody v rámci exekutivních funkcí.

Toto tvrzení lze podpořit i výsledky v subtestu „*letter fluency*“ ve studii Bialystok, Craik a Luka (2007). Autoři vysvětlují, že zmíněný úkol vyžaduje frontální exekutivní zpracování,

což je oblast, ve které bilingvní vykazují pozitivní změny. Pokud je tedy úkol zaměřen na kontrolu nebo na nějakou další komponentu exekutivních funkcí, bilingvní by měli dosahovat lepších výsledků ve srovnání s monolingvními (Bialystok, Craik, & Luk, 2007). Stejných výsledků v testu „*letter fluency*“ dosahuje i o rok později vytvořená studie (Luo, Luk, & Bialystok, 2008). Zároveň ve stejné studii poukazují na důležitost konkrétního vymezení bilingvismu pro danou studii. Důvodem byl fakt, že se objevovaly rozdíly i mezi bilingvními skupinami, jež se L2 naučily v raném věku a těmi, kteří se s L2 setkali ve věku pozdějším. To svou studií verbální fluence potvrzují i Portocarrero, Burright a Donovick (2007).

4.2 Neuroanatomické zvláštnosti bilingvismu

V souvislosti s tím se Xiaojin Liu et al. (2017) odvolávají na dopady bilingvismu na neurální organizaci z hlediska neuroplasticity. Skrze metodu funkční magnetické rezonance (fMRI) zjistili, že raně bilingvní měli značně vyšší koeficient shlukování a silnější intramodulární funkční konektivitu ve srovnání s pozdně bilingvními. Podle autorů tyto výsledky prokazují, že rozdílné zkušenosti s L2 mají vliv na topologické vlastnosti jazykových sítí i v případech, kdy pozdně bilingvní dosahují vysoké proficience L2.

Tvrzení, že je neurální plasticita druhého jazyka ovlivněna ranou jazykovou zkušeností, podporují ve své publikaci také Daniela Perani a Jubin Abutalebi (2005). Dále vyjadřují, že současné teorie tvrdí, že zpracování L2 získaného v pozdějším věku závisí, v kontrastu s L1, na jiných kognitivních mechanismech a cerebrálních strukturách (Ullman, 2001 in Perani, & Abutalebi, 2005). Například znalosti gramatiky L2 jsou spíše mechanismem deklarativním, než implicitním jako je tomu u L1. V kontrastu s tím jsou lexikální znalosti reprezentovány v deklarativním paměťovém systému pro obě formy jazyka - L1 i L2. Protože deklarativní a implicitní znalosti jsou zprostředkované odlišnými neurálními systémy (okruh levé bazální ganglie a levé temporální jazykové oblasti), Ullmanova hypotéza tvrdí, že získání L2 v dospělosti nezávisí na stejných mechanismech jako zpracování jazyka mateřského (Ullman, 2001).

Existují ovšem studie, které jsou v rozporu s tímto tvrzením (Musso et al. 2003, Tettamanti et al. 2003, Wartenburger et al., 2003, Briellmann et al., 2004, Sakai et al., 2004). Předkládají důkazy z neurovizuálních studií, kde mozkové struktury obvykle spojované s gramatickým zpracováním, během úkolů testujících gramatické znalosti bilingvních, byly zapojené na stejné úrovni během řešení úkolu v L1 i L2. Odlišná aktivace L2 byla evidentní

pouze u bilingvních s jeho nízkou profiencí nebo s pozdější zkušeností s L2. V souvislosti s tím Perani a Abutalebi (2005) dále odkazují na autory, kteří popisují biologicky založené kritické období na němž by získání jazyka mohlo být závislé (Lenneberg, 1967, Johnson, & Newport, 1989 in Perani, & Abutalebi, 2005).

Podle Greenovy hypotézy (*convergence hypothesis*) všechny kvalitativní rozdíly mezi L1 a L2 mizí se zvyšující se profiencí ve druhém jazyce (Green, 2003 in Perani, & Abutalebi, 2005). Jeho hypotéza tedy soudí, že získání L2 vyvstává v kontextu již specifického systému, a že L2 tedy postupně obdrží konvergentní neurální reprezentace v rámci reprezentací L1. To dokazují neurovizuální studie, které referují o podobné aktivaci L1 a L2 v levé hemisféře, je-li profiencí L2 srovnatelná s úrovní L1 (Chee, Tan, & Thiel, 1999, Klein et al. 1999). K bilingvním s nízkou profiencí v L2 je vázána dodatečná mozková aktivita převážně ve frontálních oblastech (De Bleser et al. 2003, Briellman et al. 2004), které, v řadě neurovizuálních studií bilingvních, vykazují signifikantní změny ve funkční organizaci nebo v objemu bílé hmoty mozkové (Mechelli et al. 2004, Mårtensson et al. 2012, Schlegel, Rudelson, & Tse, 2012, Stein et al. 2012, Olsen et al. 2015, Arredondo et al. 2017).

Také Ramírez et al. (2017) pozorovali, že odpovědi na deviantní stimuly byly v mozku bilingvních batolat lokalizovány zejména do oblastí prefrontálního a orbitofrontálního kortexu. Jak uvádí Lijuan Zou et al. (2012), bilingvní potřebují právě tyto efektivní neurální mechanismy frontálního kortexu k selekci a kontrole jejich jazyků pro úspěšnou komunikaci.

4.2.1 Kognitivní evokované potenciály bilingvních

S neuroanatomickým výzkumem a neurovizuálními studii bilingvních dopadů souvisí také výzkum kognitivních evokovaných potenciálů. Kognitivní evokované potenciály (ERP) jsou mozkové odpovědi, jež jsou přímým výsledkem specifických motorických, kognitivních nebo senzorických událostí (bližší popis viz kapitola 5.3). V souvislosti s těmito elektrofyziologickými odpověďmi se Kałamała et al. (2017) odvolávají na předešlé studie, které popisují čtyři hlavní ERP komponenty vystupující jako neurální indicie účinnosti exekutivních funkcí nejčastěji používané ve výzkumech bilingvních. Dvě z nich (N2 a P3b) jsou senzitivní na kongruentní manipulace nebo jsou popisovány i při *switching task*, jak dodávají Timmer, Grundy a Bialystok (2017).

N2 je frontocentrální negativita objevující se 200 – 350 ms po stimulu (Kałamała et al., 2017). Folstein a Van Petten (2008) ji umisťují zejména do oblasti *anterior cingulate cortex*

(ACC). Tato oblast by měla být, dále i s *medial a lateral prefrontal cortex (MPFC, LPFC)*, zapojena při kognitivní kontrole a konfliktním monitorování (Yu et al., 2015), jak předkládají předchozí studie (MacDonald et al., 2000, Milham et al., 2002, Milham, Banich, & Barad, 2003, Harrison et al., 2005). To je potvrzeno dalším tvrzením Folsteina a Van Pettena (2008) když argumentují, že komponenta N2 nikdy nemůže být interpretována v izolaci, protože má několikanásobné funkční koreláty a bývá právě registrována i v ostatních frontálních a parietálních oblastech.

Přítomnost N2 byla u bilingvních odhalena pro *switching task* (Moulden et al., 1998, Rushworth et al., 2002, Periañez, & Barceló, 2009 in Timmer, Grundy, & Bialystok, 2017) a Folstein a Van Petten (2008) ve svém review uvádí, že několik předešlých experimentů odhalilo vztah ERP komponenty N2 také k *mismatch detekci* a k reakcím vůči deviantním stimulům.

V rámci Flankerova testu větší N2 amplituda pro inkongruentní pokusy bývá hodnocena jako inhibice nesprávných odpovědí vyvolaných inkongruentním Flankerovým stimulem (Folstein, & Van Petten, 2008 in Kałamała et al., 2017). Kałamała et al. (2017) upozorňuje na nesrovnalosti modulace komponenty N2 bilingvní zkušeností, které přináší předešlé studie. Zatímco některé popisují u bilingvních větší amplitudu komponenty N2 (Barac, Moreno, & Bialystok, 2016, Fernandez et al., 2013 in Kałamała et al., 2017), jiné přináší důkazy o menších amplitudách (Kousaie, & Phillips, 2012, Zhang et al., 2015 in Kałamała et al., 2017).

Další ERP komponenta senzitivní na kongruentní manipulace, kterou popisují Kałamała et al. (2017), se nazývá P3b. Je popisována jako hraniční pozitivita s centroparietální distribucí objevující se 200 – 500 ms po úkolu a při kombinaci s Flankerovým testem v experimentální skupině bilingvních byla naměřena její větší amplituda. To bylo interpretováno jako lepší účinnost exekutivních funkcí (Dong, & Zhong, 2017). Její větší pozitivita u experimentální skupiny za kongruentních podmínek, ve vztahu k inkongruentním podmínkám, byla potvrzena i ve studii Kałamała et al. (2017).

O P3b se dá také mluvit jako o subkomponentě komponenty P3, která je definována jako amplitudová změna skrze středové elektrody – Fz, Cz, Pz (Johnson, 1993 in Polich, 2007) - a Bareš (2011) její standardní registraci spojuje s využitím „odball paradigmatu“, kde je vyšetřovanému subjektu prezentován pár podnětů, „*přičemž jeden je vzácnější (terčový) a druhý častý (standardní)*“. Její hlavní subkomponentou je *mismatch negativity (MMN)*, jejíž rozdíly v amplitudách byly mezi monolingvními a bilingvními skupinami pozorovány ve studiích Shafer, Yu, & Datta (2011) nebo Ramírez et al. (2016).

Odchylky MMN bilingvních ve své studii zachycují také Adrian García-Sierra, Nairan Ramírez-Esparza a Patricia K. Kuhl (2016), kteří na základě předchozích studií (Weikum et al., 2007, Byers-Heinlein et al., 2010, Shafer, Yu, & Datta, 2011, Sebastián-Gallés et al., 2012, Gervain, & Werker, 2013, Krizman et al., 2014 in García-Sierra, Ramírez-Esparza, & Kuhl, 2016) uvádějí, že bilingvní zkušenost indikuje vyšší percepční senzitivitu a také dokládají výsledky své studie, kde bilingvní vykazovali pozitivní MMN (pMMN) v kontrastu s monolingvními, kde byla zřejmá negativní MMN (nMMN).

Pozdější dvě komponenty, které bývají také nejčastěji zkoumané v souvislosti s bilingvismem, jsou podle Kałamała et al. (2017) senzitivní na přesnost odpovědí. Jedná se o *Error-related negativity* a Pe komponentu.

Komponenta *Error-related negativity* (ERN) je frontocentrální negativní komponenta začínající při *incorrect response* a dosahuje 100 ms poté. Stejně jako N2 je komponenta ERN zachycována v rámci *anterior cingulate cortex* (Gehring et al., 2012, Grundy et al., 2017 in Kałamała et al. 2017), a tak ji Grundy (2017, in Kałamała et al., 2017) hodnotí jako oblast, která reflektuje rozdílnou funkční aktivaci kortexu bilingvních. Tím ACC dále ovlivňuje komponenty N2 a ERN v rámci kognitivního dopadu bilingvismu. Tento dopad byl experimentálně prokázán (Kousaie, & Phillis, 2012, Morales et al., 2015, Kałamała et al., 2017) sníženou ERN v experimentální skupině bilingvních, což autoři vysvětlovali (Kousaie, & Phillips, 2012, Morales et al., 2015 in Kałamała et al., 2017) tím, že dvojjazyčně mluvící mají větší trénovanost v detekci chyb (*error detection*) a to tedy zlepšuje jejich exekutivní funkce.

ERN komponenta bývá následována pozitivní výchylkou, která nese název *error positivity* (*Pe*), je distribuována centroparietálně a dosahuje 200-500 ms po nesprávné odpovědi. Pe komponenta by měla být odrazem participantova uvědomění si chybné odpovědi (Nieuwenhuis et al., 2001, Endrass, Reuter, & Kathmann, 2007 in Kałamała et al., 2017), a tedy její vyšší amplituda je asociována s lepší schopností sebehodnocení vlastního kognitivního výkonu.

5 ELEKTROENCEFALOGRAF

Elektroencefalograf (EEG) je neurozobrazovacím zařízením, nahrávajícím elektrickou aktivitu mozku (Fuller, & Manford, 2010). Kulišťák (2003) mluví o elektroencefalografii jako o elektrofyziologickém postupu, který zachycuje bioelektrické potenciály vznikající při činnosti mozku. Obsáhleji se k popisu elektroencefalografie staví Michel (2009), když uvádí, že EEG reflektuje okamžitou aktivitu hmoty neurálních sítí z širokého rozsahu mozkových systémů, a tím tedy poskytuje přímé, integrativní a neinvazivní okénko do fungování lidského mozku (Michel, Koenig, Brandeis, Gianotti, & Wackermann, 2009).

EEG se užívá v klinickém prostředí pro určení neurologických, případně psychiatrických, diagnóz. Díky správnému sledování mozkové aktivity vznikající při činnosti mozku, jež je vyobrazována elektroencefalogramem, můžeme sledovat specifickou mozkovou aktivitu (a její abnormality) pro epilepsii, encefalitidu, mozkové změny v důsledku rapidně se zhoršující demence a také specifické odchylky u lidí trpících depresemi, atd. (Fuller, & Manford, 2010).

Kromě klinického prostředí, metodu EEG využívá také výzkumná oblast. Jak bylo již uvedeno, jedná se o neinvazivní metodu, díky které můžeme sledovat živou tkáň bez významných vedlejších účinků a přímých zásahů do živé tkáně a tím přispět nejnovějšími poznatky do oblasti kognitivní psychologie, neuropsychologie, psychiatrie, robotiky a kybernetiky.

EEG jako neurozobrazovací metoda bývá komplementaritou k dalším zobrazovacím technikám, jako je počítačová tomografie (CT), pozitronová emisní tomografie (PET) magnetická rezonance (RI) nebo funkční magnetická rezonance (fMRI) a nemělo by být užíváno k vyhledávání strukturální patologie (Fuller, & Manford, 2010).

5.1 Historie

5.1.1 Objev proudu živých tkání

Biolog a fyzik Luigi Galvani přišel v 18.století s objevem, jež představoval základ pro pozdější vývoj bioelektromagnetiky. Během pitvy žáby došlo k elektrickému výboji, kdy vzniklá jiskra putující po skalpelu, který byl k pitvě používán, způsobila zášub nohy mrtvé

žáby. To Galvaniho podnítilo k vypracování jeho slavného experimentu (Bellis, 2017), ve kterém spojil svaly mrtvé žáby k dlouhému kovovému drátu, jež nastavil směrem k nebi během bouřky. To mělo za následek svození elektrického proudu do mrtvého těla zvířete (viz příloha 4). Skrze tento a další experimenty Galvani dokázal to, že mrtvá svalová tkáň může odpovídat na externí elektrické stimuly, a že svalové a nervové buňky mají vnitřní elektrickou sílu zodpovědnou za svalové kontrakce živých organismů.

V jeho opozici stál Alessandro Volta, který prosazoval, že zdroj živočišné elektřiny není vlastní svalovým tkáním a nervovým vláknům sám o sobě. Přikláněl se k verzi, že sledovaná energie byla jasným výsledkem reakce kovů a chemikálií. Tvrdil, že každá buňka má svůj potenciál a tedy přímý proud elektřiny je produktem chemických reakcí. Tento jev Volta nazval *galvanismem*.

Dále Galvani také věřil, že nervy jsou izolovány nevodivým povlakem (dnes známe jako myelin), a že elektrické impulsy skrze ně cestují ke svalovým buňkám přes malé mezery – to předjímá struktury, které dnes známe jako iontové kanály. Tím byly naprosto vyvráceny předchozí raně neurovědecké teorie, opírající se o vysvětlení svalových kontrakcí prostřednictvím proudícího vzduchu nebo tekutiny uvnitř těla.

5.1.2 Vývoj elektroencefalografu

Další významná jména, která napomohla k jasnějšímu porozumění elektřině, proudu a potenciálům, patřila fyzikům Michaelu Faradayovi a George Ohmovi. Předložili důležitou práci o povaze potenciálů a proudu, o chování vodičů a nevodičů, zaměřili se také na interakce mezi proudem a magnetickým polem a na užití cívek a kondenzátoru v obvodu střídavého proudu. Raná elektrická pozorování byla provedena užitím statických elektrometrů (elektroskopů). Tato zařízení byla schopna detekovat hrubé změny přímého proudu nervových potenciálů a ty nejvýraznější elektrokardiografické signály (předchůdce EKG). Emil Du Bois-Reymond (1818 – 1896) zkonstruoval galvanometr s více než 4,000 otočkami. Ten zvyšoval senzitivitu elektrometrů. Také vynalezl nepolarizovatelné elektrody z jílu, které byly užívány ještě několik let později při prvním EEG měření u člověka (Collura, 1993).

V této době již nebylo důležité pouze vědět, že určitý typ proudu k živým tkáním vztah má, ale podstatná byla i jeho vizualizace. K té bylo využito doplnění přístroje jehlou, jež byla systematicky odkloňována magnetickou silou tvořenou proudem v nahrávací cívce.

Richard Caton (1842 – 1926), podle Collura (1993) první „elektroencefalograf“, byl schopný nahrát elektrickou aktivitu vyoperovaných mozků králíků a opic užitím zrcadlového galvanometru (*mirror galvanometer*). Použitím Bois-Reymondových nepolarizovatelných elektrod se vyhnul rušivému vlivu artefaktů.

Collura (1993) dále ve své publikaci uvádí, že Caton během svých studií prohlásil: „*Elektrické proudy šedé hmoty mozkové se objevují v závislosti na jejich funkci.*“ Dále poznamenává, „*vjemy procházející skrze smysly ovlivňují právě zmíněné a námi sledované elektrické proudy ... jsou významně ovlivněny stimulací protější sítnice světlem*“. Pozoroval variace proudu asociované se spánkem, bděním, anestézií nebo smrtí a stejně tak byl schopný zaznamenat smyslové reakce na předložené podněty (reakce asociované s prezentováním jídla zkoumanému). Tím položil i počátky pro funkční mapování mozku. I přes to, že za otce elektroencefalografie Tudor (2005) a například Farnsworth (2016) považují Hanse Bergera, Collura (1993) za objevitele elektroencefalografu označuje právě Richarda Catona.

Prvním vědcem, který začal systematicky zkoumat mozkové vlny na lidských subjektech, byl Hans Berger (1873 - 1941). Svým detailním zkoumáním a měřením elektrických potenciálů na jedincích, jež byli často po neurologických zákrocích, byl krok po kroku schopen přesněji popisovat elektrickou aktivitu jednotlivých částí mozku. Zároveň dominantou jeho práce byly experimenty s elektrodami, jež zaměňoval za různé typy kovů, doplňoval je o kusy látek, lebku pokrýval, či dokonce elektrody k lebce lepil lepicími páskami a tím tak měřil jejich odpor při reakcích s živou tkání. Těmito pokusy se snažil podchytit nejvhodnější komponenty pro elektroencefalografické měření.

V konci z jedné svých studií Berger vyprodukoval normativní hodnoty z 1,133 EEG nahrávek od 76 probandů pro alfa (Bergerovy) vlny a vlny beta. V příloze 5 jsou vyobrazeny Bergerovy autentické nahrávky, kdy první křivka je nahrána pomocí Edelmannova strunového galvanometru a druhá je ve stejných podmínkách měřena Siemensovým dvoucívkovým oscilografem. Z uvedených elektroencefalogramů můžeme rozpoznat markantní proměnu v kvalitě a detailnosti měření (Collura, 1993).

J. F. Toennies (1902 – 1970) pro zaznamenávání cerebrálních potenciálů sestrojil první inkoustový oscilograf, který nazval neurografem (*neurograph*) a vývojem „*cathode followers*“ k nahrávání z elektrod vysokého odporu otevírá dveře pro mikroelektrodové nahrávání. Jeho vrstevníci E. D. Adrian (1889 – 1977) a Bryan Matthews (1906 – 1986) v 30. letech 20. století vytvořili tříkanálový systém, v němž každý kanál obsahoval zesilovač. Tím byli schopni

nahrávat současně a na sobě nezávisle z různých mozkových oblastí různými elektrodami (Collura, 1993).

5.1.3 Současný vývoj elektroencefalografie

Další vývoj EEG do současné moderní podoby byl podpořen rozvojem počítačové techniky přibližně od 50. let 20. století. V té době začalo být analogové EEG nahrazováno EEG digitálním. Ernst Rodin (1994) analogové EEG hodnotí jako vhodný základ nemocnic a klinik, kde není problém s následným uložením inkoustových nahrávek. Nepopírá ovšem výhodnost digitálního EEG zejména pro vědecké práce, kde výrazně usnadňuje sdílení získaných dat. Dále uvádí, že digitální nahrávky nám spíše můžou, kromě jasnějšího obrazu vln, nabídnout lepší časové rozložení, a to až do 5 milisekund (Rodin, 1994). Podle Zdeňka Vojtěcha (2005) přináší využití digitální akvizice elektroencefalografického signálu snadnější processing a analýzu dat. Zároveň jako velký klad hodnotí právě výše zmíněnou možnost sdílení dat.

V současné době jsme, kromě samotného pozorování a popisování mozkových vln, schopni pomocí EEG regulovat elektrickou aktivitu mozku pomocí biofeedbacku a tím se pokoušet o neinvazivní léčbu migrén, chronických bolestí, inkontinence nebo vysokého tlaku. Touto metodou můžeme ovlivňovat také průběh ADHD, astmatu, epilepsie, atd. (Kiefer, 2016). Kulišťák (2003) EEG-biofeedback popisuje jako metodu tréninku správné mozkové aktivity se zpětnovazebním principem .

Ben Taub (2017) se například také zamýšlí nad možností nabourání se do vlastního mozku s cílem dostat se do stavu, jehož za normálních okolností jedinci dosahují pomocí drog. Uvádí, že pokud bychom byli schopni vhodné regulace mozkových vln, vytrénované za pomoci EEG biofeedbacku, mohli bychom si vybírat z „menu“, které nám mozek nabízí.

Elektroencefalograf dnes využívá také nejpoblárnější neinvazivní „*Brain Robot Interaction*“ (BRI) technologie v souvislosti s „*Brain Computer Interface*“ (BCI). Principem BRI systému je rozpoznání lidských mentálních aktivit dekodováním mozkových vln získaných pomocí EEG zařízení a následné porovnání s ostatními BCI aplikacemi – jako je například slovní hláskovač. Tím je poskytnuta příležitost komunikovat uživatelům, kteří toho za normálních okolností nejsou schopni (Mao, 2017). Práce Rosaria Sorbella (2017) ilustruje architekturu humanoida pro pacienty s amyotroficko laterální sklerózou (ALS), který zvládá rozpoznat mentální stav uživatele podle faktoru Bf z EEG biofeedbacku.

5.2 Zařízení a funkce elektroencefalografu

Natáčení EEG umožňuje existence a vlastnosti elektrického náboje, které jsou fyzikálním podkladem elektroencefalografie. Na elektrony a protony se váže elektrický náboj. Pro to, aby mohl obvodem proudit konstantní elektrický proud, je důležité, aby byl tento obvod uzavřený. Elektrické obvody jsou v elektroencefalografické praxi složeny a do nich jsou zařazeny a různým způsobem propojené součásti, mající charakter rezistorů, induktorů, zdrojů a kapacitorů (Vojtěch, 2005, pp.). Elektroencefalografický obvod se konkrétně skládá ze samotného měřeného subjektu, elektrod, hlavice EEG přístroje a vlastního EEG aparátu.

5.2.1 Rozložení elektrod

Vojtěch (2005) konstatuje, že elektrody slouží k nezkrácenému přenosu změn elektrických potenciálů od místa svého uložení ke vstupu EEG přístroje. K tomu, aby záznam EEG byl kvalitní je potřeba mít elektrody vyrobené z vhodného materiálu, jež je dobrým vodičem – zde Vojtěch (2005) uvádí, že tomuto požadavku vyhovují kovové elektrody potažené zlatem, platinou nebo chloridem stříbrným. Perfektní kontakt elektrod se skalpem zajišťuje elastická elektrodová čepice a dále vodivý gel, jež je umístěn do otvorů pro elektrody. Tento gel má charakter elektrolytu, což je roztok, ve kterém „*jsou některé molekuly rozštěpeny na ionty*“ (Vojtěch, 2005, pp.).

Lopez-Gordo, Sanchez-Morillo a Pelayo Valle (2014) ve svém review ovšem poukazují na kontraproduktivnost vodivých gelů a past. Kromě nepohodlnosti produktů pro měřeného probanda (pacienta) z hlediska jejich lepivosti a špinění, se zamýšlejí také nad kvalitou získaného signálu skrze vodivé produkty, jež mohou způsobovat výkyvy v proudu a odporu. Studie C. T. Lina et al. (2011) uvádí, že požadovaný odpor elektrod byl narušen již během prvních 5 hodin od prvního nagelování. Shrnují, že metoda „vlhkých elektrod (*wet electrodes*)“ není vhodná pro dlouhodobá měření v kuse.

Elektroencefalografický signál může být měřen až 256-kanálovým EEG pro ty nejpokročilejší výzkumy. V naší studii evokované potenciály (ERP) měříme pomocí 64-kanálového EEG (viz příloha 6). Jedná se o 64 skalpových elektrod tvořících kovové misky většinou o průměru 4-10 mm. K nim je zapojen izolovaný vodič, který spojuje vstup EEG přístroje s elektrodami. Elektrody jsou rozmístěny podle mezinárodního systému 10-20.

Protože hlava není symetrická, víceméně přesné umístění elektrod nám zajišťuje elektrodová čepice s předpřipravenými otvory pro elektrody.

Zkratky elektrod jsou označením pro jejich předozadní lokalizaci. Zkratka Fp signalizuje umístění frontopolární ve frontální oblasti mozku, F umístění frontální. Zkratka C označuje elektrody umístěné podél centrální rýhy, P elektrody v oblasti parietální, T temporální a O okcipitální. Přidružená čísla značí hemisféru - lichá čísla náleží levé hemisféře a sudá pravé. Značka Z označuje nepárové nebo-li vertexové elektrody nacházející se na vrcholu klenby lebeční.

5.2.2 Základní frekvence EEG

Vojtěch (2005) popisuje různé aspekty pro popis EEG křivky. Uvádí frekvenci, kterou se rozumí počet vln (v Hz), dále amplitudu značící vertikální rozměr vzorce (v μV), nadále bývá rozlišován tvar, distribuce, šíření, symetrie, synchronie, rytmicita, periodicita, perzistence a reaktivita. Jedná se o deskriptory EEG vzorců, díky nimž jsme schopni křivku popsat a odlišit normální a abnormální potenciálové změny oscilací mezi elektrodami.

Tyto oscilace naměřené elektroencefalografem reflektují dendritickou elektrickou aktivitu seskupení neuronů. Když jsou stovky neuronů aktivně synchronizované, malá a slabá elektrická pole produkovaná individuálními neurony se seskupí a stanou se dostatečně silnými k tomu, aby mohla cestovat skrze mozkovou tkáň, mok, lebku a kůži a dále do obvodu elektroencefalografu přes elektrody. Získané rytmy jsou seskupeny do skupin, které jsou definovány logarytmicky zvyšovanými centrálními frekvencemi. Tyto skupiny zahrnují delta aktivitu (2 – 4 Hz), aktivitu theta (4 – 8 Hz), alfa (8 – 12 Hz) pro pomalé rytmy a beta (15 – 30 Hz), nižší gamma aktivitu (30 – 80 Hz) a vyšší gamma aktivitu (80 – 150 Hz) pro rytmy rychlé (Cohen, 2014).

První, kdo popsal *delta aktivitu* (viz příloha 7), byl Grey Walter. Jedná se o speciální pomalé vlny původně korespondované s patologickými potenciály způsobené cerebrálním tumorem. Časem začaly být spojované se spánkem a anestezií (Michel, 2009). V dospělém věku bývají detekovány při non-REM spánku, případně v hluboké relaxaci. Jako dominantní frekvence pouze u dětí do šesti měsíců.

Normální *theta aktivita* s amplitudou 15 μV vyskytující se při paměťových úkolech, smyslovém zpracování a volní kontrole pohybů by neměla být zaměňována s patologickými

theta vlnami, popisovanými jako zpomalující alfa aktivita, vyznačující se během snížení průtoku krve mozkiem nebo při metabolické encefalopatii. Theta vlny byly popsány v kortikálním limbickém systému (Michel, 2009). Vojtěch (2005) uvádí, že příměs theta vln můžeme nacházet frontocentrálně. Při usínání se jejich amplituda může zvětšovat. Můžou se dále objevovat u mladých lidí při emocích, častěji bývají zachyceny u žen. Vysoké amplitudy theta jsou spojovány s poruchami učení (ADD, ADHD), nedostatkem kyslíku v krvi, anxiitou a depresí.

Okcipitální *alfa vlny* (viz příloha 8) se obvykle objevují během snížené vizuální pozornosti. Ovšem jsou i záznamy o jejím zvýšení při pozornostních úkolech (Michel, 2009). Je distribuována zejména „*nad zadními oblastmi hlavy s maximem amplitudy okcipitálně či okcipitoparietálně*“ (Vojtěch, 2005, pp.). Nejpravidelnější frekvenci alfa Faber (1997) umísťuje temporoparietookcipitálně. Střední amplitudou alfa aktivity je 20 – 80 μV . Nachází se hlavně u osob v relaxované bdělosti. Její frekvence během natáčení mohou kolísat. Nemusí být ani přítomna po celou dobu natáčení, nebo se vyskytovat pouze intermitentně – často pozorujeme u osob ve zvýšené psychické tenzi. Vojtěch (2005) dále uvádí, že ani její úplná absence není abnormitou. U jedinců s vysokou frontální alfa aktivitou se objevuje ADD, ADHD, případně poškození mozku, deprese, nebo je ve stavu denního snění. Vysoká posteriorní alfa může signalizovat insomnii či anxiету.

Beta aktivita (viz příloha 9) s amplitudou pod 20 μV , častěji však klesá až pod 10 μV . Její amplituda je obvykle symetrická. Stern a Engel (2005) uvádí, že distribuce beta aktivity závisí na věku, ale její hrubší asymetrii v dospělém věku, kdy by měla být plně usazena, posuzují jako abnormální. Detekována může být nad všemi oblastmi skalpu, nicméně nejčastější je podle Vojtěcha (2005) nad oblastmi frontálními až frontocentrálními. Má rychlé oscilace spojené s plným bděním a paradoxním (REM) spánkem (Michel, 2009), dále s udržováním pozornosti, se zaměřením na externí prostředí a s myšlením. Její vysoké amplitudy mohou souviset s poruchami spánku nebo obsedantně kompulzivní poruchou.

Gamma aktivita má velice nízké amplitudy, bývá tedy často obtížně detekovatelná. Její přítomnost je spojována s transcendentními zážitky.

5.2.3 Artefakty

Každý EEG obraz, jež není záznamem elektrické činnosti mozku, nazýváme jako artefakt (Vojtěch, 2005). Jedná se o nežádoucí chyby záznamu způsobené několika možnými faktory různého původu.

Stern a Engel (2005) popisují srdeční artefakty pojící se k srdeční aktivitě. Jsou význačné periodicitou výskytu danou frekvencí srdeční akce (pokud není přítomna arytmie). Časté jsou v elektrodových svodech z uší (Vojtěch, 2005). Stern a Engel (2005) uvádí, že nejnápadnější jsou u osob s krátkým krkem, což potvrzuje ve své publikaci i Vojtěch (2005) a dodává, že jde zvláště o oběžní hypertoniky. Pulsové artefakty vznikají z blízkého umístění elektrody k tepně.

Další artefakty vznikající ze strany pacienta mohou být galvanické kožní artefakty, vznikající změnami elektrodového odporu a kožního potenciálu při pocení (Vojtěch, 2005). Dále se vyskytují artefakty svalové vznikající při pohybu. Častými jsou oční artefakty zachycované frontálními elektrodami. Typické jsou i artefakty orofaryngeálních struktur a jazyka.

Chyby měření ovlivněné externím zařízením mohou být způsobeny elektrodovými artefakty. Pro jejich redukci je důležitá kontrola dotyku elektrody se skalpem (správné dávkování vodivých gelů a past), celková impedance a kontrola samotného headboxu. Interferenční artefakty mohou být generovány síťovým napětím (brum) a záznamem elektrické interference z okolí EEG přístroje (Vojtěch, 2005).

5.3 Kognitivní evokované potenciály

Evokované potenciály (*event.-related potentials - ERP*) jsou odpovědi nízkého napětí na specifické události nebo stimuly v mozkových strukturách (Blackwood, & Muir, 1990 in Sur, & Sinha, 2009). Jedná se o elektroencefalografické změny uzamčené v čase ve spojení se sensorickými, motorickými nebo kognitivními událostmi. ERP poskytují bezpečný a neinvazivní přístup ke studiu psychofyziologických korelátů mentálních procesů (Sur, & Sinha, 2009). Samotné evokované potenciály Kulišťák (2003) popisuje jako „*sensorické dráhy z periferie do korového centra*“.

Tyto rané evokované potenciály dosahují 100 milisekund po prvním stimulu. Jsou označovány jako senzorické nebo exogenní. Závisí zejména na fyzických parametrech stimulu (Sur, & Sinha, 2009). Oproti tomu kognitivní evokované potenciály jsou projevy složitějších kognitivních jevů a mentálních procesů jako je výběrová pozornost, časné zpracování, detekce signálu, zapamatování nebo sémantické hodnocení. Jsou generovány v pozdějších částech a reflektují způsob, jakým subjekt stimul hodnotí. Bývají nazývány jako kognitivní nebo endogenní (Sur, & Sinha, 2009).

Vlna P50; senzorické zarámčování - je rozhodující pro jedincovu schopnost selektivně se věnovat významnému podnětu a ignorovat redundantní, repetitivní nebo triviální informace; ochraňuje mozek od informačního přesytení. (Light, & Braff, 2003 in Sur, & Sinha, 2009).

Vlna N100 (N1); dosahuje 90 - 200 milisekund po podnětu; objevuje se ve chvíli prezentování nečekaného stimulu. Jedná se o proces výběrové pozornosti. Maximální amplituda je lokalizována v Cz (Sur, & Sinha, 2009).

Vlna P200 (P2); jedná se o pozitivní komponentu dosahující 100 - 250 milisekund. Sur a Sinha (2009) uvádí, že současné důkazy navrhuji, že komponenty N1/P2 mohou reflektovat vyhledávání podnětu (*sensation-seeking behavior*). Jinde je P2 hodnocena jako časné zpracování podnětu (Polich, 1995 in Kulišťák, 2003).

Vlna N200 (N2); negativní komponenta vrcholící 200 milisekund po podnětu. Má komponentu (Sur, & Sinha, 2009):

Mismatch negativity (MMN): vyvoláno diskriminační změnou v repetitivním pozadí auditivní stimulace (kódování stimulu rozdílu nebo změny). Vrcholí kolem 100 – 250 milisekund po stimulu.

Vlna N300 (N3); vyhledávání sémantického souladu a očekávání z kontextu (Sur, & Sinha, 2009).

Vlna P300 (P3, late positive component); hlavní komponenta ve výzkumu ERP; při auditivních stimulech je její latenční rozsah 250 - 400 milisekund pro dospělého subjekt (Sur, & Sinha, 2009). Latence 400 - 550 milisekund je pozorována při zrakových podnětech (Bareš, 2011). „*Volní a mimovolní detekce sporadického podnětu generuje na skalpu elektrickou odpověď s pozitivní komponentou s maximem odpovědi v centroparietální krajině*“ (Bareš, 2011). Polich (1995) in Kulišťák (2003) ji popisuje jako komponentu důležitou pro zapamatování nového.

Vlna N400 (N4); objevuje se 300 - 600 milisekund po stimulu; jedná se o negativní komponentu spojovanou se sémantickým nesouladem (Sur, & Sinha, 2009) nebo sémantickým hodnocením (Polich, 1995, in Kulišťák, 2003).

Vlna P600; pojena s jazykovým zpracováním (Sur, & Sinha, 2009).

Dále je shodně popisována Barešem (2011) a Sur a Sinha (2009) kontingentní negativní variace (*contingent negative variation - CNV*) a přípravný motorický potenciál (*movement related cortical potential*).

II. Praktická část

6 EXPERIMENT

Pro design experimentu jsme se nechali inspirovat švédským výzkumem autorů S. Wiens, M. Szychowska, R. Eklund a M. E. Nilsson (2017). V původním výzkumu bylo cílem sledovat efekty rozdílného akustického tlaku na trvání mismatch negativity ve spojení s vizuální zátěží při plnění úkolu detekce písmene. My jsme tento experiment adaptovali na bilingvní verzi, ve které pro nás bylo podstatné sledovat inhibiční kontrolu v rámci působení zvukových distraktorů při zpracovávání kognitivního úkolu detekce písmene.

6.1 Design experimentu

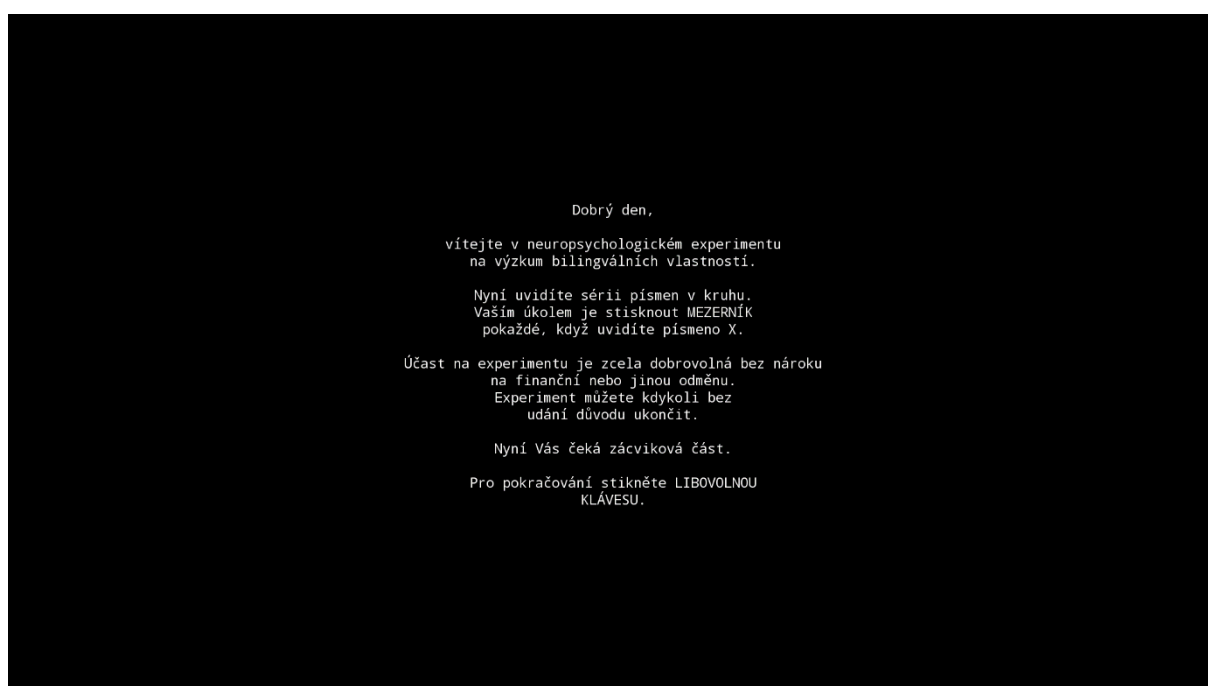
Kognitivní task detekce písmene byl spouštěn v programu OpenSesame. Byl naprogramován tak, aby se participantům zobrazoval kruh s průměrem 3,38 stupňů s šesti písmeny z výběru H, K, M, N, V, W, Z a X o velikosti vizuálního úhlu 0,53 x 0,53 stupňů. Tyto prvky byly umístěny na 2., 4., 6., 8., 10. a 12. hodinu. Stimul byl prezentován 100 ms a bylo vytvořeno 2500 náhodných kombinací, ve kterých měl participant za úkol stisknout mezerník, uvidí-li po zobrazení stimulu v kruhu písmen písmeno X. To bylo prezentováno ve 20% z celého trvání experimentu, tedy v 500 případech. Odpověďové i neodpověďové případy byly doplněny o distraktor prezentovaný v délce 30 ms ve formě komplexního tónu s frekvencí 500 Hz o akustickém tlaku přibližně 76 dB. Distraktor byl prezentován do sluchátek. Celkem byly vytvořeny čtyři prezentované kombinace, čili eventy (viz tabulka 1)

Číslo eventu	Počet	Popis	Vysvětlivka
Event 1	1602	Standard bez distraktoru	V eventu nebylo prezentováno písmeno X, neobjevil se distraktor
Event 2	398	Standard s distraktorem	V eventu nebylo prezentováno písmeno X, objevil se distraktor
Event 3	297	Deviant bez distraktoru	V eventu bylo prezentováno písmeno X, neobjevil se distraktor
Event 4	203	Deviant s distraktorem	V eventu bylo prezentováno písmeno X, objevil se distraktor

Tabulka 1 Přehled prezentovaných eventů

6.2 Průběh experimentu

Před experimentem byl proband seznámen s cílem studie, byly zodpovězeny veškeré jeho dotazy a byl mu poskytnut k podepsání měřící protokol EEG studie (viz příloha 12), ve kterém mu byla zaručena anonymnost osobních dat a zároveň podpisem získal právo z účasti kdykoliv odstoupit. Po dokončení příprav k EEG měření byl participant usazen do měřícího boxu, byla zkontrolována kvalita snímané mozkové aktivity a dále mu byly dány neutrální slovní instrukce k plnění experimentálního úkolu. Kromě toho získal instrukce, které byly prezentovány na monitoru před započítím tasku (viz obrázek 1).



Obrázek 1 Instrukce experimentu

V případě, že participant všemu porozuměl, neměl více otázek a byl připraven s úkolem začít, stiskl libovolnou klávesu. Tím započala zácvková část s deseti úkoly. V průběhu zácviku byl proband kontrolován, zda skutečně zadání porozuměl, je mu vše pohodlné a nemá více otázek. Pakliže bylo všechno v pořádku, experiment mohl začít – proband byl v měřícím boxu u počítače ponechán o samotě a experimentální část úkolu byla započata opět stiskem libovolné klávesy. Experiment celkem trval přibližně 70 minut a byl rozdělen do dvou polovin, které oddělovala libovolně dlouhá přestávka. Během té participant dostal občerstvení a prostor pro krátký odpočinek. Po skončení experimentu byl dán prostor pro vyjádření pocitů z účasti a případným dalším dotazům.

7 VÝZKUMNÉ CÍLE A HYPOTÉZY

Výzkumným cílem bylo ověřit hypotézy založené na výsledcích předešlých výzkumů bilingvní výhody, kterými jsme se zabývali v kapitole 4. Výzkumy obecně podporovaly tvrzení, že bilingvní jedinci, tedy jedinci, kteří získali druhý jazyk v raném dětství, prokazovali zlepšené exekutivní funkce. Pozitivně byla hodnocena zejména inhibiční kontrola (Bialystok, & Majumder, 1998, Goetz, 2003, Bialystok et al., 2008, Costa et al., 2008, Martin-Rhee, & Bialystok, 2008, Kovács, 2009, Yang et al., 2011, Rubio-Fernández, & Glucksberg, 2012, Ong et al., 2017).

V neurovizuálních studiích byly opakovaně potvrzovány také neurální anatomické a funkční změny v oblastech frontálních laloků (Perani, & Abutalebi, 2005, Zou et al., 2012, Abutalebi et al., 2014, Ramírez et al., 2017, Xiaojin Liu et al., 2017).

Výzkumným cílem bylo prostřednictvím elektroencefalogramu potvrdit změny kognitivních evokovaných potenciálů (ERP) na elektrodách levé hemisféry frontálního laloku, zejména potom změny na elektrodách v blízkosti Broccovy oblasti a dále na vertexových elektrodách. Jedná se o elektrody FC5, FC3, CP5, C5, Fz a Cz.

H1₀: V ERP nebyly zaznamenány statisticky signifikantní rozdíly mezi bilingvní a monolingvní skupinou

H1₁: V ERP byly zaznamenány statisticky signifikantní rozdíly mezi bilingvní a monolingvní skupinou

V behaviorálních datech jsme u bilingvních očekávali obecně menší chybovost. Konkrétněji potom menší chybovost u eventů, které obsahovaly distraktory – tedy event 2 a 4. Největší meziskupinová chybovost byla očekávána v eventu 4. Dále bylo očekáváno, že průměrný reakční čas bude nižší u bilingvní skupiny.

H2₀: U bilingvní skupiny nebyla zaznamenána statisticky signifikantní nižší úroveň chybovosti v úkolu detekce písmene

H2₁: U bilingvní skupiny byla zaznamenána statisticky signifikantní nižší úroveň chybovosti v úkolu detekce písmene

H3₀: U bilingvní skupiny nebyla zaznamenána statisticky signifikantní nižší úroveň chybovosti u eventu 2 v úkolu detekce písmene

H3₁: U bilingvní skupiny byla zaznamenána statisticky signifikantní nižší úroveň chybovosti u eventu 2 v úkolu detekce písmene

H4₀: U bilingvní skupiny nebyla zaznamenána statisticky signifikantní nižší úroveň chybovosti u eventu 4 v úkolu detekce písmene

H4₁: U bilingvní skupiny byla zaznamenána statisticky signifikantní nižší úroveň chybovosti u eventu 4 v úkolu detekce písmene

H5₀: Největší meziskupinová chybovost nebyla zaznamenána u eventu 4

H5₁: Největší meziskupinová chybovost byla zaznamenána u eventu 4

H6₀: Nebyl zaznamenán nižší průměrný reakční čas bilingvní skupiny na stimul

H6₁: Byl zaznamenán nižší průměrný reakční čas bilingvní skupiny na stimul

8 VÝZKUMNÝ SOUBOR

Výzkumný soubor pro experiment byl vybrán nenáhodným záměrným nepravděpodobnostním výběrem na základě dobrovolnosti. Cílová experimentální skupina byla oslovována prostřednictvím tematického plakátu (viz příloha 13), který byl zveřejněn na sociálních sítích (Facebook, Instagram) a dalších internetových portálech pro to určených. V momentě, kdy jsme skrze první kontakty získali přístup do cílové komunity, byl zvolen postup lavinového výběru na základě dostupnosti.

Signifikantní počet participantů do kontrolní skupiny byl nabrán též metodou lavinového výběru, která byla příležitostně doplněna o dobrovolný sebevýběr. Dobrovolníci odpovídali na inzerát zveřejněný na sociální síti univerzity, případně nás kontaktovali soukromě v rámci povědomí našeho experimentu na katedře.

8.1 Experimentální skupina

Cílovou experimentální skupinou byli raně vietnamsko-česky bilingvní dobrovolníci, kteří podle jejich výpovědí vietnamštinu i češtinu využívají téměř dennodenně. Pro zachování vývojové koherentnosti skupiny bylo vymezeno věkové období 18 – 30 let. Všichni, kteří se na inzerát ozvali a o účast měli zájem, byli pozváni do neuropsychologické laboratoře na Katedře pedagogiky a psychologie PF JU k osobní schůzce a samotnému měření. Dalšímu specifitějšímu výběru nebyli před měřením podrobeni.

Z analyzovaných dat byli ovšem vyřazeni ti participanté, u kterých bylo během rozhovoru zjištěno, že jsou pozdně bilingvní. Podmínka rané bilingvnosti pro nás byla zásadní z hlediska neurální organizace (Perani, & Abutalebi 2005, Xiaojin Liu et al., 2017) a dále byly vyřazeny elektroencefalografické záznamy nekvalitní z důvodu špatně zapojených referenčních elektrod.

Jméno	Pohlaví	Věk	Lateralita	L2	EEG	B data	Poznámka
MMN_1	M	21	L	od narození	ne	ne	Špatné RE + špatné zadání tasku
MMN_2	Ž	18	P	od narození	ne	ano	Špatné RE

MMN_3	M	20	P	od narození	ano	ano	
MMN_4	M	23	P	od narození	ano	ano	
MMN_5	M	24	P	od narození	ano	ano	
MMN_6	M	19	P	od narození	ano	ano	
MMN_7	M	19	L	od narození	ano	ano	
MMN_8	M	18	L	od narození	ano	ano	
MMN_9	Ž	21	P	od narození	ano	ano	
MMN_10	M	23	P	od narození	ano	ano	
MMN_11	Ž	25	P	od narození	ano	ano	
MMN_12	M	23	P	od narození	ano	ano	
MMN_13	Ž	21	P	od narození	ano	ano	
MMN_14	Ž	25	P	od narození	ano	ano	
MMN_15	Ž	28	P	od 14 let	ne	ne	Pozdně bilingvní
MMN_16	Ž	20	P	od narození	ano	ano	

Tabulka 2 Experimentální skupina

Pro první i druhou verzi EEG analýzy (viz kapitola 10.1) bylo využito 13 bilingvních participantů průměrného věku 21,62 let, kteří odpovídali požadavkům cílové skupiny, a jejich elektroencefalogram byl v požadované kvalitě. Pro analýzu behaviorálních dat bylo využito 14 subjektů v průměrném věku 21,35 let.

8.2 Kontrolní skupina

Pro kontrolní skupinu byli vybíráni dobrovolníci zejména z našeho okolí. Cílem bylo vyrovnání skupiny experimentální. Požadavky, jež byly na kontrolní skupinu kladeny, byl věk mezi 18 – 30 lety a jejich monolingvnost.

Jméno	Pohlaví	Věk	Lateralita	EEG	B data	Poznámka
MMN_17	M	23	P	ne	ano	Nebylo možné nahrát do studie MATLAB
MMN_18	M	24	P	ano	ano	
MMN_19	Ž	21	P	ano	ano	
MMN_20	M	22	P	ano	ano	
MMN_21	M	20	L	ano	ano	
MMN_22	M	23	P	ano	ano	
MMN_23	Ž	21	P	ano	ano	
MMN_24	Ž	22	P	ano	ano	
MMN_25	M	25	P	ano	ano	
MMN_26	Ž	20	P	ne	ano	Nebylo možné nahrát do studie MATLAB
MMN_27	M	23	P	ano	ano	
MMN_28	Ž	22	P	ne	ano	Velká přítomnost artefaktů a síťového napětí v záznamu
MMN_29	Ž	22	P	ano	ano	
MMN_30	Ž	23	P	ano	ano	
MMN_40	M	21	P	ano	ano	
MMN_41	M	22	P	ano	ano	
MMN_42	M	22	P	ano	ano	
MMN_43	M	23	P	ano	ano	
MMN_44					pilotáž	
MMN_45					pilotáž	

Tabulka 3 Kontrolní skupina

Pro druhou EEG analýzu bylo využito z první skupiny naměřených 9 monolingvních participantů průměrného věku 22,3 let. Dva záznamy byly vyřazeny z důvodu nekompatibility s ostatními záznamy ve studii MATLAB.

V první EEG analýze jsme využili kohortu devíti výše zmíněných a šesti dalších naměřených monolingvních participantů průměrného věku 22,26 let. Jeden záznam byl vyřazen z důvodu nadměrné přítomnosti artefaktů a síťového napětí 50 Hz (viz kapitola 9.1.2) Do behaviorální analýzy byli zahrnuti všichni monolingvní participanté průměrného věku 21 let.

9 ZPRACOVÁNÍ DAT

Získaná data z celého experimentu byla ve dvou formách. První formou byly elektroencefalografické nahrávky mozkové aktivity při plnění kognitivní hry detekce písmene. Druhá část dat byla v excelovém formátu CSV (*comma-separated values*), jež byla záznamem behaviorálních dat.

9.1 EEG data

Elektroencefalografická data byla nahrána 64-kanálovým systémem BioSemi ActiveTwo. Jednalo se přibližně o 80 minutové nahrávky mozkové aktivity BDF formátu, které před samotnou analýzou musely projít jednotným způsobem zpracování. Následný processing dat byl proveden ve vysoko výkonnostním programovacím prostředí MATLAB prostřednictvím toolboxu „eeglab“ (Wallisch et al., 2014).

9.1.1 Preprocessing

První zpracování datasetů vyžaduje preprocessingové techniky pro předpoklad přesné, účinné a smysluplné analýzy naměřených dat. V rámci našeho preprocessingu jsme využili nástrojů downsampling, basic filter, channel locations a re-reference.

Downsampling

Downsampling je proces, který umožňuje redukovat vzorkovací frekvenci signálu a tedy i výslednou velikost datasetu. Běžná vzorkovací frekvence dat BioSemi je 2048 Hz. Tato frekvence byla v rámci našeho datového zpracování snížena na 256 Hz, jež zaručila technicky méně náročnou práci s datasety.

Filtrace

V dalším kroku zpracování datasetů bylo využito filtrovací techniky, která umožňuje vyrovnat vysokofrekvenční fluktuace nebo odstranit specifické periodické frekvence záznamu tím, že data převede do intervalu navolených hodnot. Výchyly mimo uvedené hodnoty by v záznamu působily jako artefakty. Využili jsme *basic FIR filter* v rozsahu 0,5 – 100 Hz.

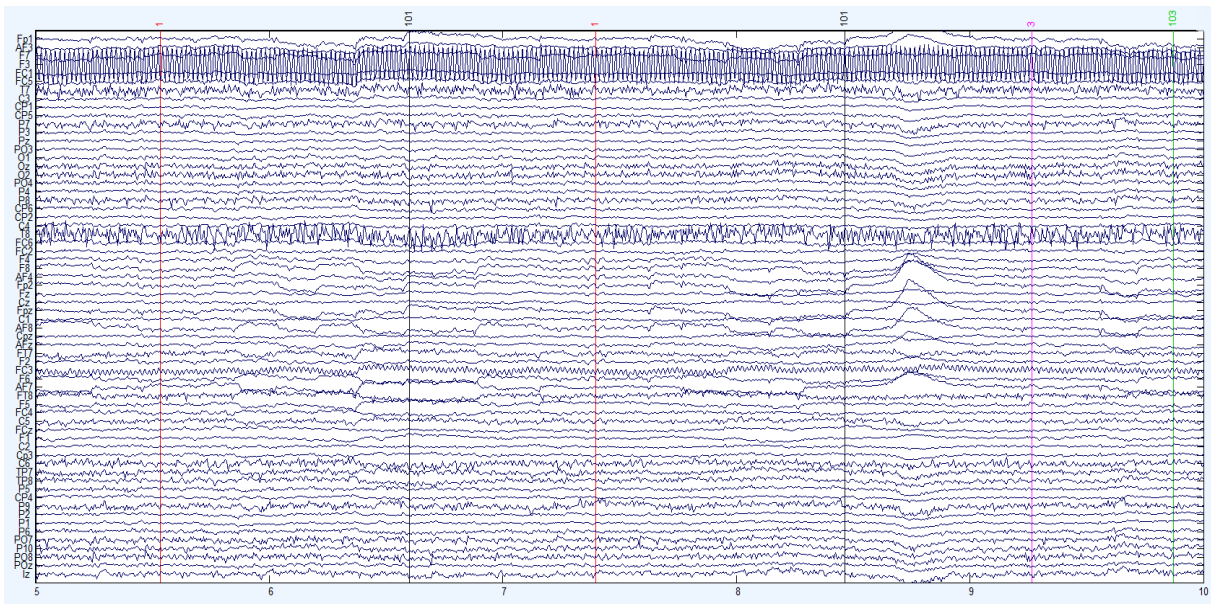
Channel locations a re-referencování

K tomu, aby dataset byl schopen zobrazit EEG mapy skalpu, musí obsahovat specifické informace o lokalizaci jednotlivých kanálů. Pro tento případ bylo využito nástroje *channel locations*. Následně byl dataset re-referencován. První referencování celého počtu elektrod je provedeno automaticky na základě výpočtu napětí elektrod referenčních.

Nicméně systémy s aktivními referenčními elektrodami, jako je právě námi používaný BioSemi ActiveTwo, data mohou nahrávat „*reference free*“. Je tedy nutné v dalším kroku preprocessingu data re-referencovat post hoc.

9.1.2 Vyřazení elektrod a manuální čištění

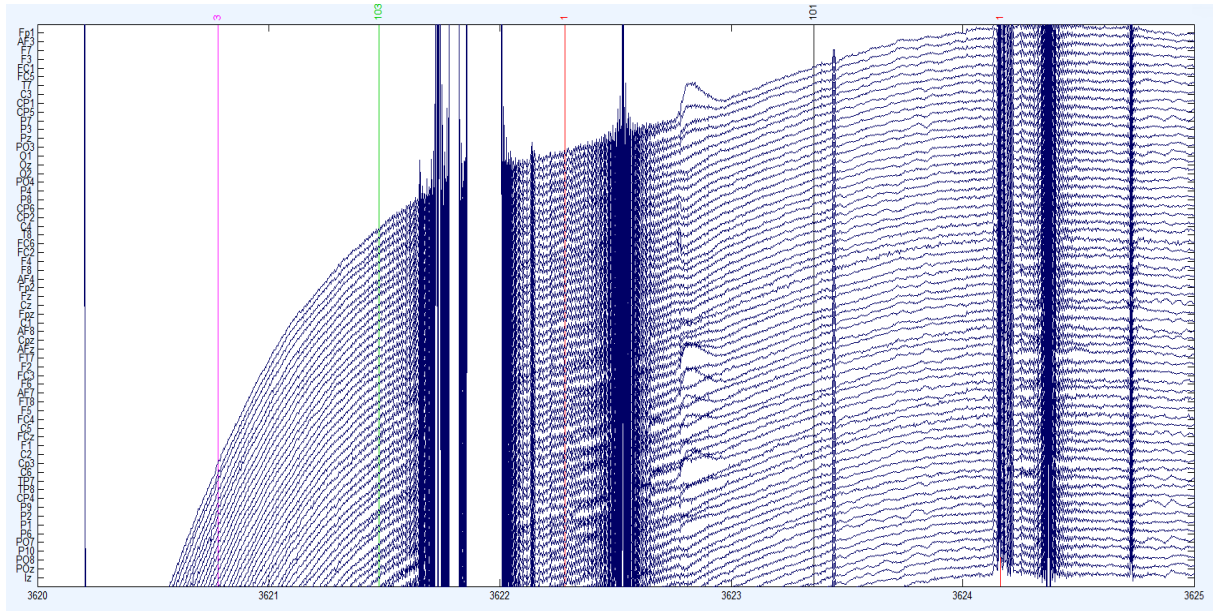
S hotovým preprocessingem bylo následně možné záznamy zkontrolovat po vizuální stránce. První aspekt pro kontrolu byla funkčnost elektrod. V případě, že některé z elektrod vykazovaly nedostatečně kvalitní signál, ať už z důvodu mechanické nefunkčnosti či špatného nageťování (viz obrázek 2), bylo potřeba elektrody ze záznamu vyřadit. Maximálně možný počet vyloučených elektrod jsme si stanovili na 7 z 64 elektrod, což odpovídá přibližně 11% z plného počtu.



Obrázek 2 Nefunkční elektrody F3, T8 a FC3

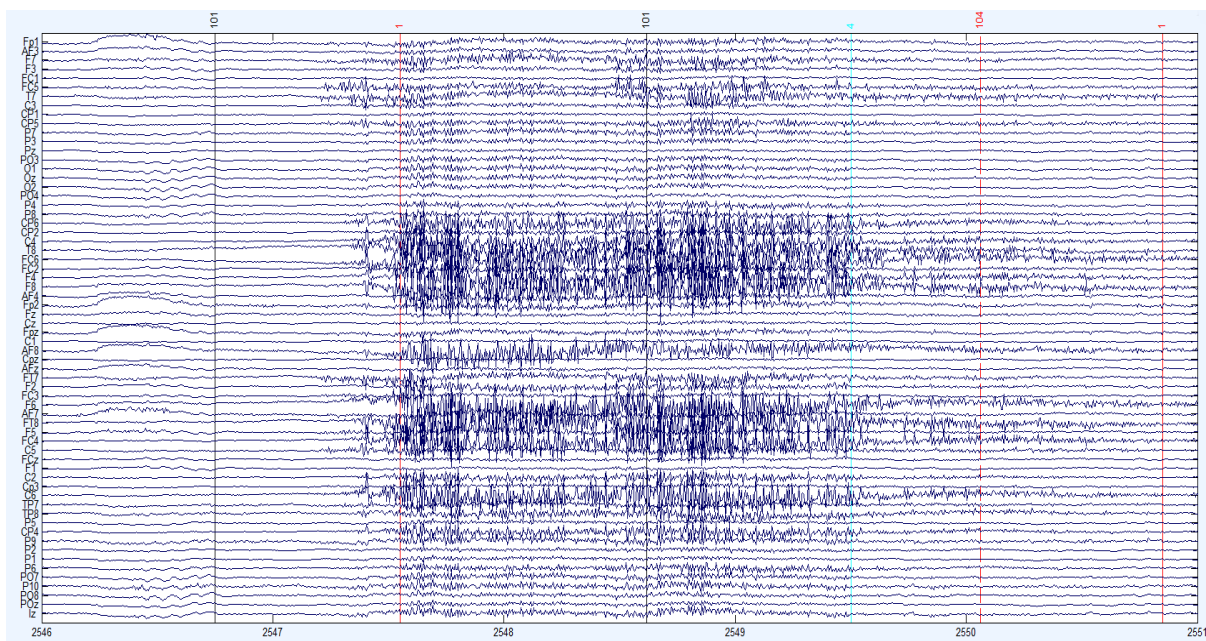
Během manuálního čištění celého záznamu, jsme z nahrávky extrahovali veškeré nežádoucí artefakty. Z mechanických artefaktů jsme nejčastěji odstraňovali artefakty

způsobené výpadky referenčních elektrod (viz obrázek 3). Kvůli těmto výpadkům byly první dva záznamy z analýzy zcela vyřazeny. Jako kvalitní, analýzy hodný, záznam byl stanoven takový záznam, ze kterého jsme manuálně neodstranili více, než 25% dat. Konečná délka záznamu byla 4,200 sekund. Do analýzy tedy nebyl použit takový záznam, který po vyčištění měl méně, než 3,150 sekund.



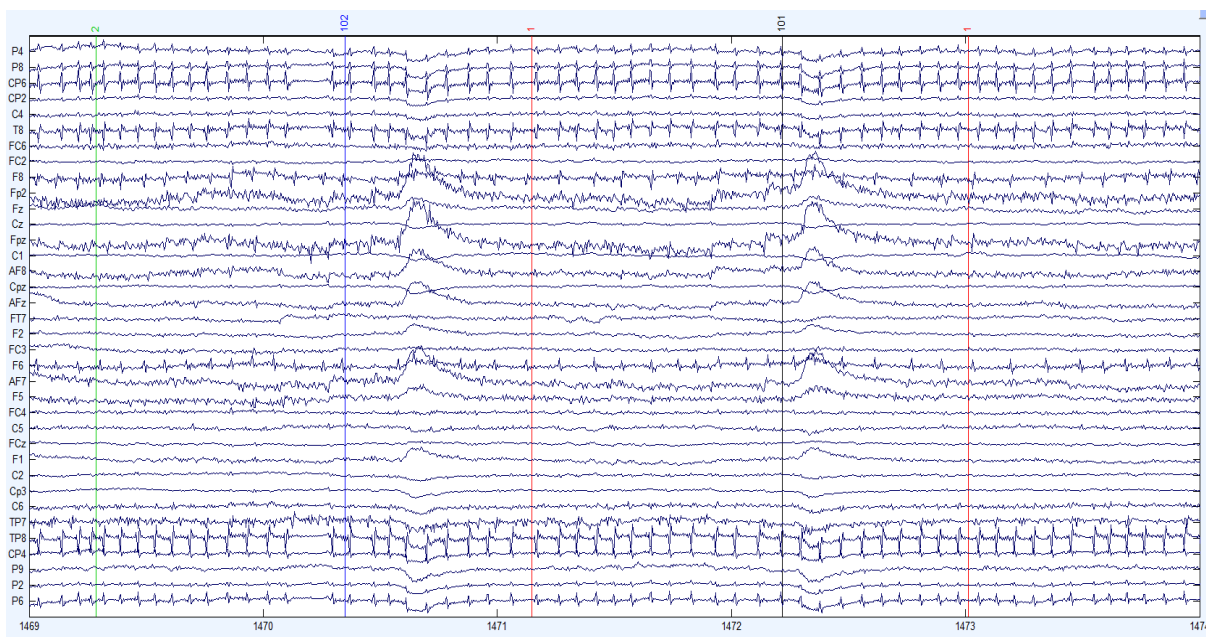
Obrázek 3 Výpadky referenčních elektrod

Další mechanické artefakty, které se objevovaly, byly přeskoky elektrod (viz obrázek 4), či části záznamů, které zachytily rušivé síťové napětí 50 Hz (viz obrázek 5).

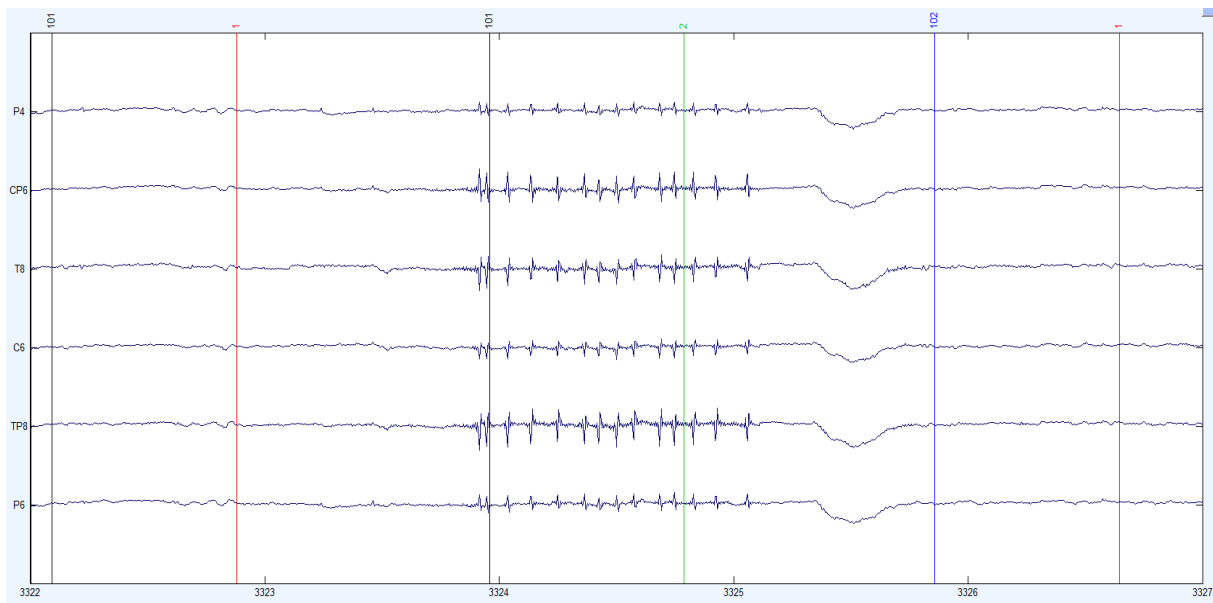


Obrázek 6 Pohybový artefakt

Často byly v záznamech zachycovány také srdeční artefakty. Objevovaly se opakovaně na elektrodách P4, CP6, T8, C6, TP8 a P6 v nezávislosti na participantovi (viz obrázek 7 a 8).

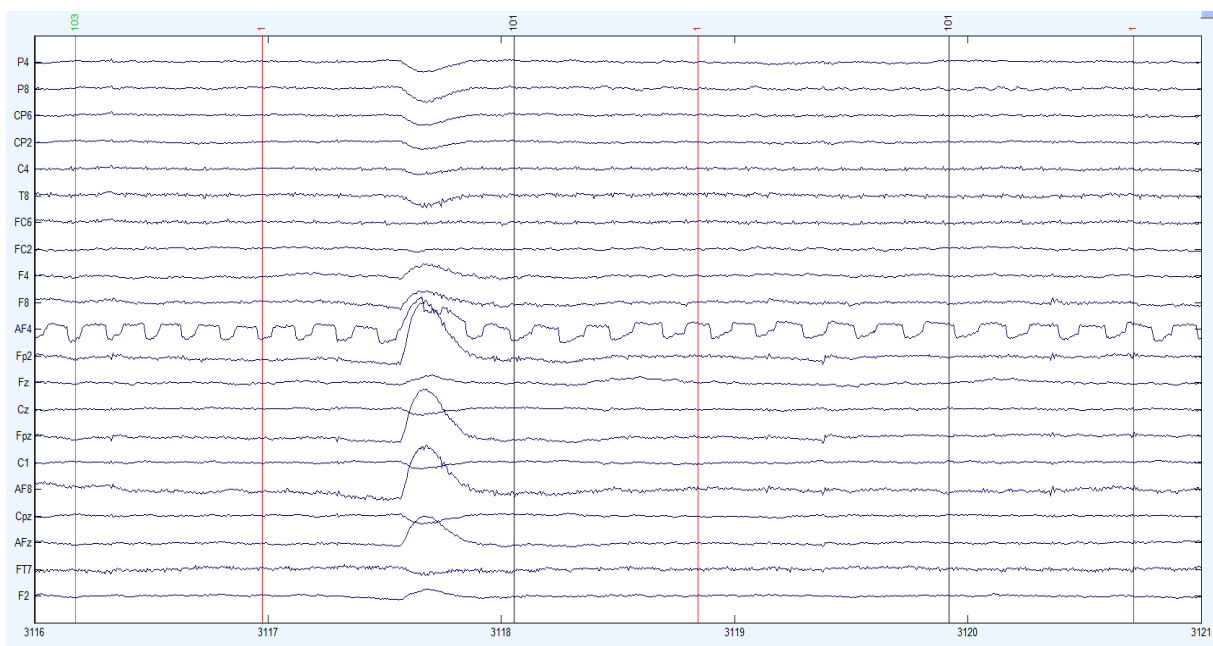


Obrázek 7 Srdeční artefakty



Obrázek 8 Srdeční artefakty na elektrodách P4, CP6, T8, C6, TP8 a P6

U jednoho z participantů byl také opakovaně zachycován pulsový artefakt na frontální elektrodě AF4 (viz obrázek 9).



Obrázek 9 Pulsový artefakt AF4

9.1.3 Další úpravy záznamu

Po manuálním čištění jsme na datasety aplikovali NOTCH filter v intervalu 45-50 Hz, který data zbavil síťového rušení. Konečnou úpravou datasetů bylo využití MATLAB plug-inu

ASR, který signál jednotlivých datasetů zprůměroval a zbavil ho nadbytečných artefaktů a šumu.

9.1.4 Epochování a vytváření eventů

Experimentální task (viz kapitola 6) obsahoval jednotlivé epochy, což jsou časové úseky ohraničující reakci na stimul. Ty byly v datasetech vyznačeny barevnými markery doplněnými o číslice jednotlivých eventů a pro jejich samostatnou analýzu bylo nutné data naepochovat. Záznamy jsme epochovali na časový úsek -0,5 sekundy před eventem a 1 sekunda po eventu. Dále byly z dat extrahovány eventy 1, 2, 3 a 4 důležité pro analýzu.

9.1.5 Vytváření designu studie

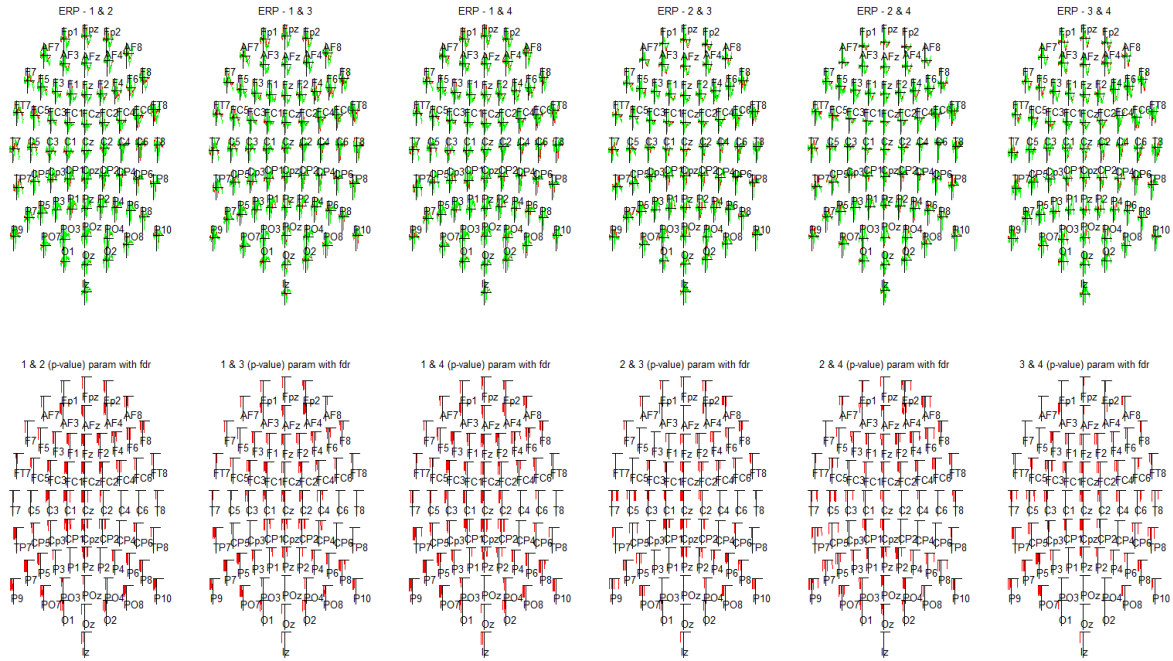
V posledním kroku práce s datasety byla vytvořena MATLAB výzkumná studie. Do studie byly nahrány jednotlivé datasety s extrahovanými eventy a označeny položkou *group*, kde byla data dělena na skupinu monolingvních a bilingvních. Dále byla vyplněna položka *condition*, tedy podmínka, která označovala typ eventu. Jako poslední bylo vyplněno jméno účastníka. To působilo jako grupovací prvek předešlých položek (viz obrázek 10).

Z výzkumných studií byly vytvořeny evokované potenciály, které jsme následně interpretovali na základě informací získaných z předešlých výzkumů (viz kapitola 11).

9.2 Behaviorální data

Druhou formou získaných dat byla behaviorální data zaznamenávaná do textového souboru formátu CSV v programu Excel. Tato data zapsala podrobný popis vzhledu eventu a reakci účastníka na něj. Před statistickou analýzou dat v programu Statistica bylo nutné data konvertovat do formátu .xlsx.

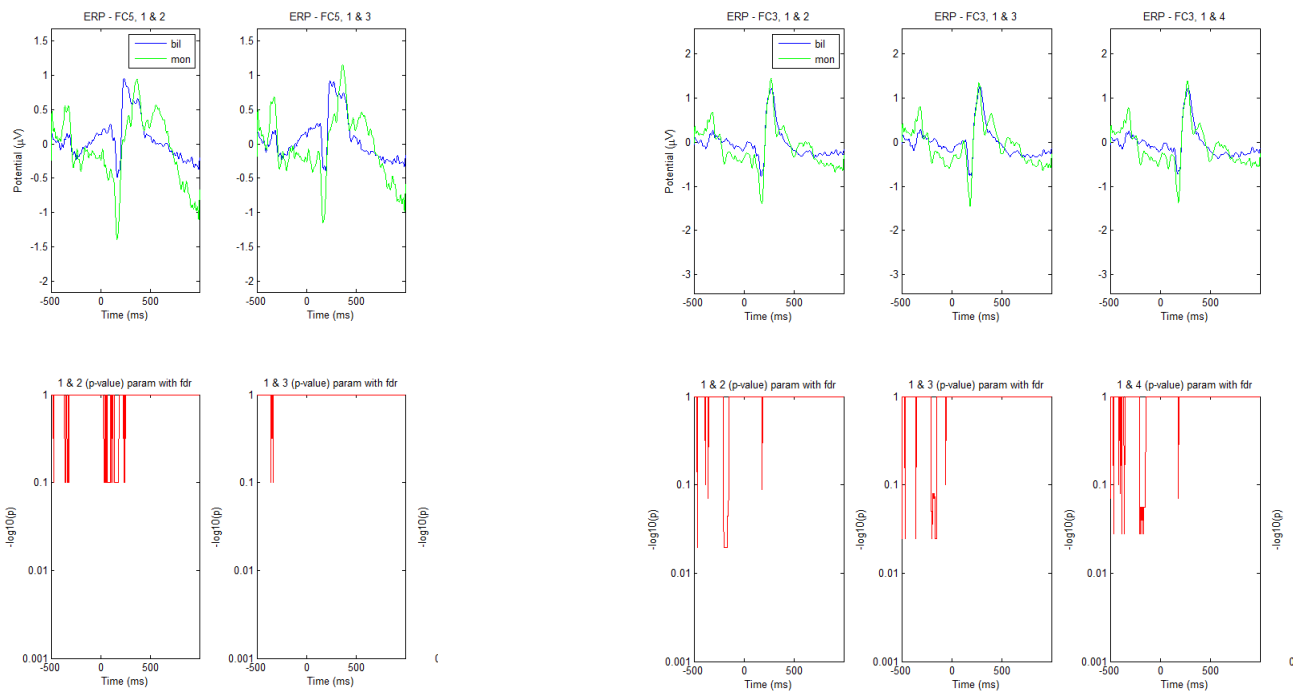
Data, která nás z tohoto záznamu zajímala byla chybovost odpovědí, tedy eventy 201, 202, 203 a 204. Chybovost jsme porovnávali primárně mezi skupinou bilingvních a monolingvních účastníků. Zaměřili jsme se také na analýzu chybovosti v rámci jednotlivých eventů, čímž jsme zjišťovali, zda byl některý z eventů statisticky chybovější než ostatní. Dále jsme analyzovali průměrný reakční čas odpovědi na stimul. Ten byl porovnáván mezi skupinou bilingvních a monolingvních.



Obrázek 11 Zobrazení skalpu s FDR korekcí z jedné skupiny naměřených bilingvních a monolingvních probandů

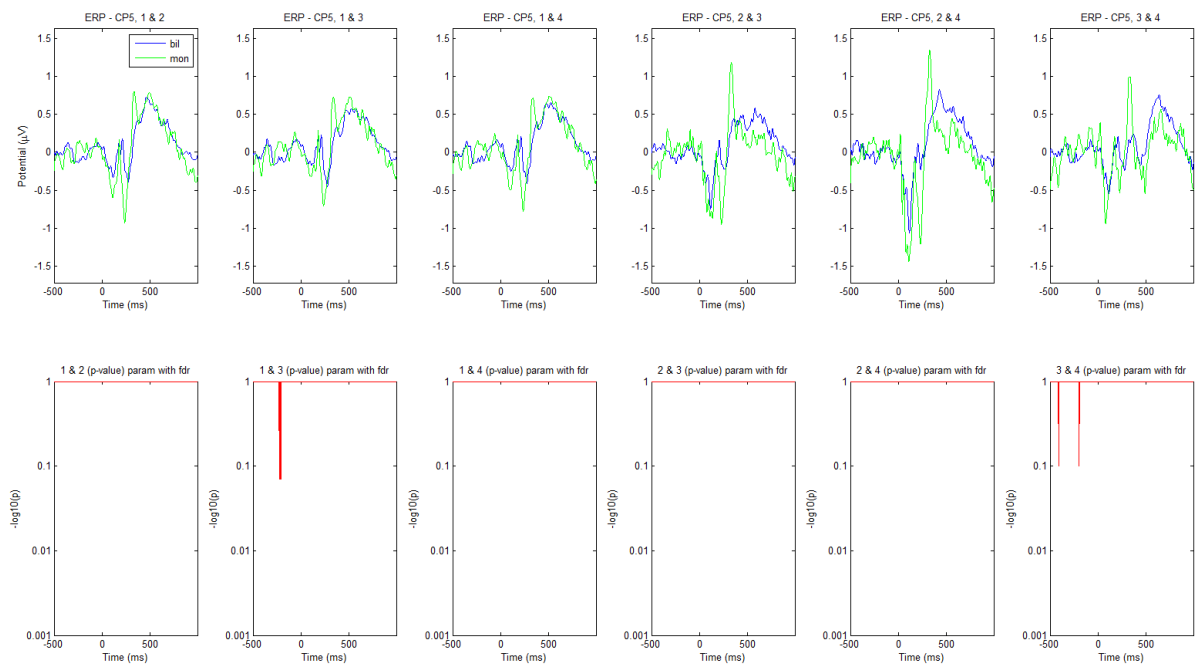
Zobrazený skalp a statistická analýza EEG dat ukazuje, že se bilingvní skupina od monolingvní statisticky lišila zejména ve vertexových elektrodách a spíše v levé hemisféře mozku, kde jsou uloženy základní lingvistické oblasti. Lze tedy předpokládat, že právě v těchto oblastech se budou mezi bilingvní a monolingvní skupinou objevovat rozdíly. Alternativní hypotéza 1 tedy byla potvrzena. V evokovaných potenciálech mezi skupinou bilingvních a monolingvních byly zaznamenány statisticky signifikantní rozdíly.

Dále se podíváme na jednotlivé elektrody, u kterých jsme změny na základě předešlých studií předpokládali. Uvedené grafy znázorňují evokované potenciály v kombinacích různých eventů při porovnání bilingvního a monolingvního souboru dat. Statistická analýza byla zpracována pomocí FDR korekce.

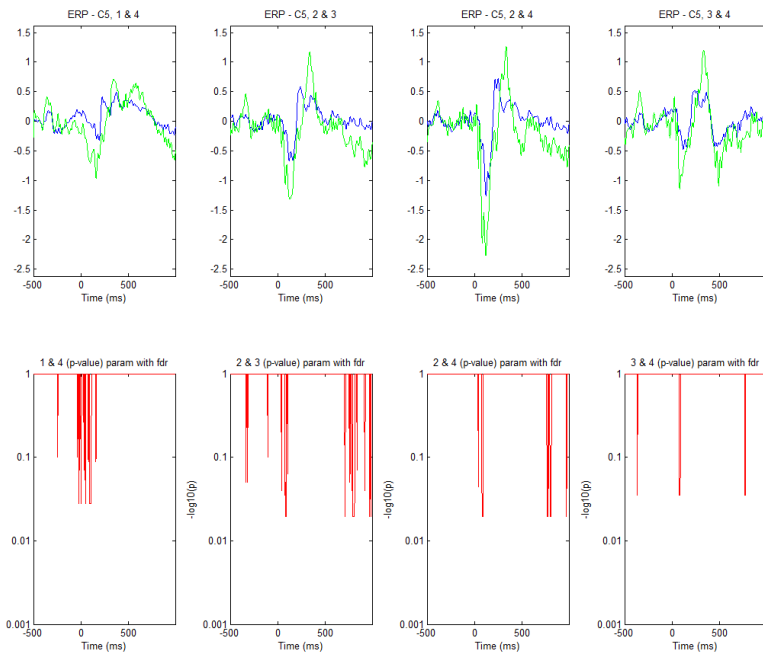


Graf 1 Elektroda FC5

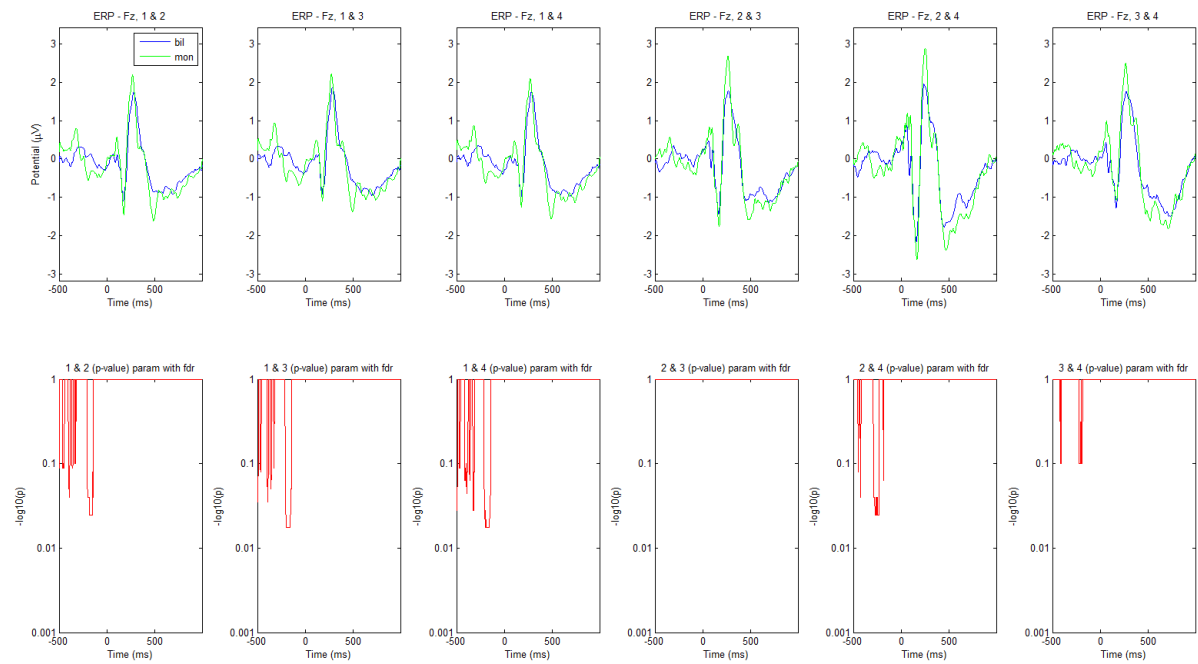
Graf 2 Elektroda FC3



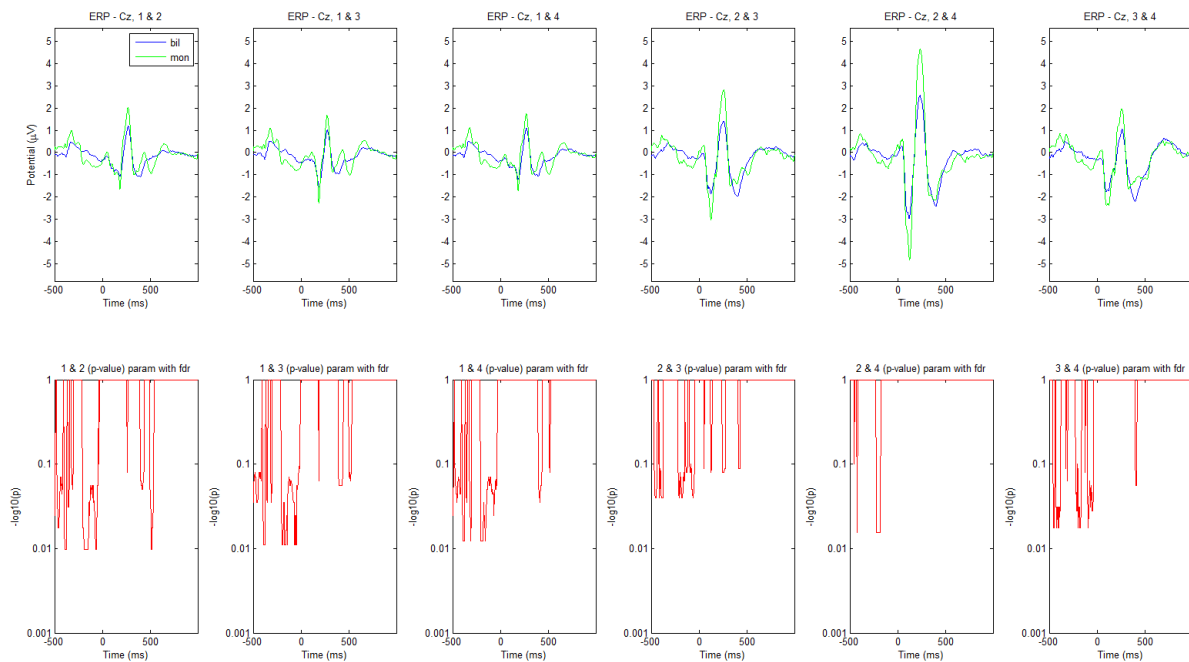
Graf 3 Elektroda CP5



Graf 4 Elektroda C5



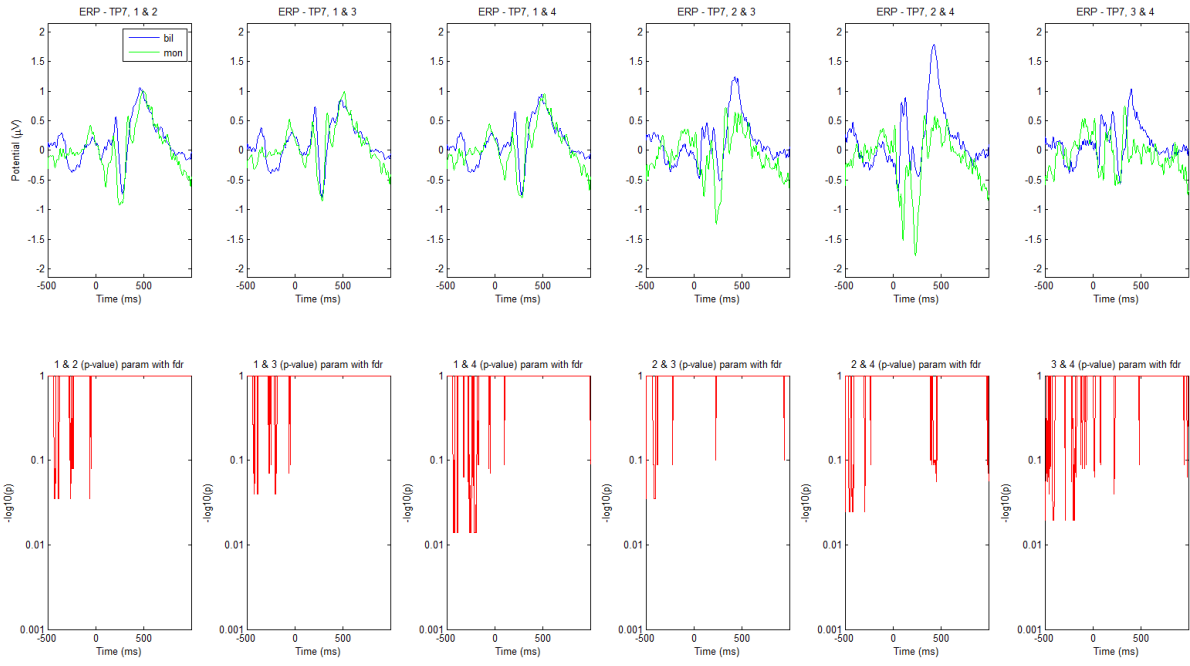
Graf 5 Elektroda Fz



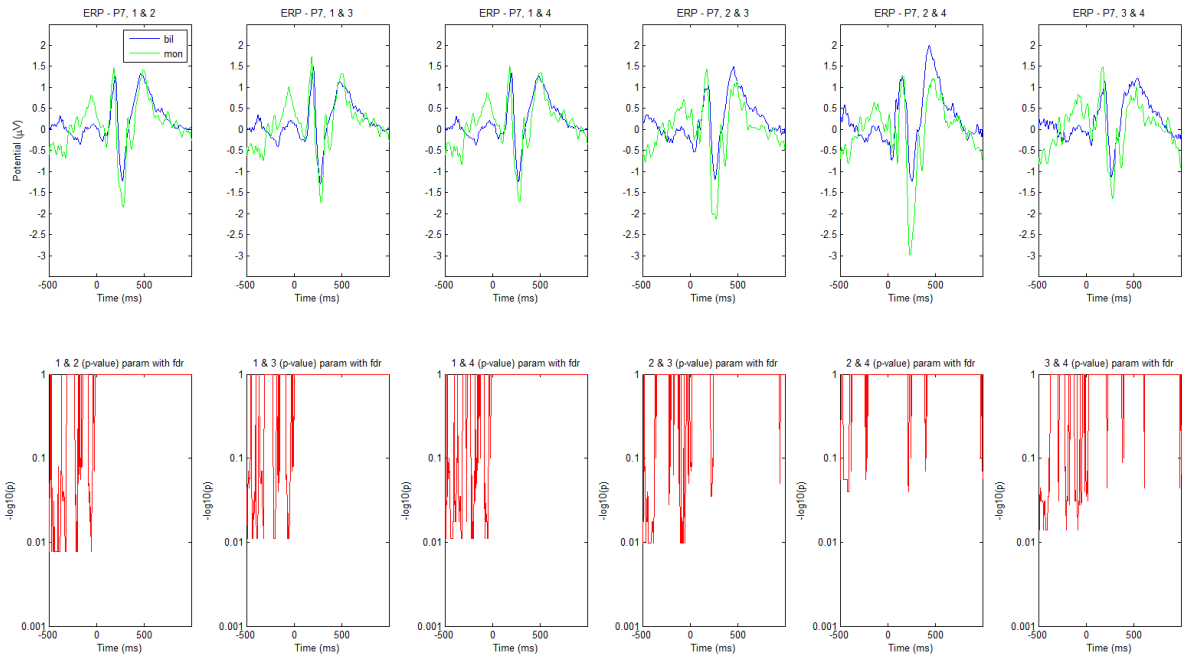
Graf 6 Elektroda Cz

Obecně byly statisticky signifikantní změny zaznamenávány zejména v prvních 300 ms. Zaznamenaná komponenta P200 je popisována jako komponenta vyhledávání podnětu, případně jako jeho časné zpracování. N2 komponenta je zachycována při konfliktním zpracovávání. Další statisticky rozdílná komponenta P300, zásadní pro výzkum bilingvních, je zaznamenávána při auditivních stimulech. Z uvedených křivek lze vypožorovat, že potenciál bilingvních globálně dosahoval menších potenciálových hodnot. Podobných výsledků dosahují u analýzy N2 i výzkumy Kousaie, & Phillips, 2012, Zhang et al., 2015 (in Kałamała et al., 2017) a bývá zde hodnocena jako inhibice nesprávných odpovědí.

Dále byly statisticky signifikantní změny zaznamenávány na elektrodách TP7 a P7. Ovšem s jejich interpretací v rámci bilingvních změn je třeba opatrnosti. Jedná se o okrajové elektrody, které byly během nahrávání elektrofyziologického signálu mozku nejméně přesné a zaznamenávaly velký počet artefaktů. To souviselo s nedostatečným doléháním čepice ve spodních temporálních oblastech.



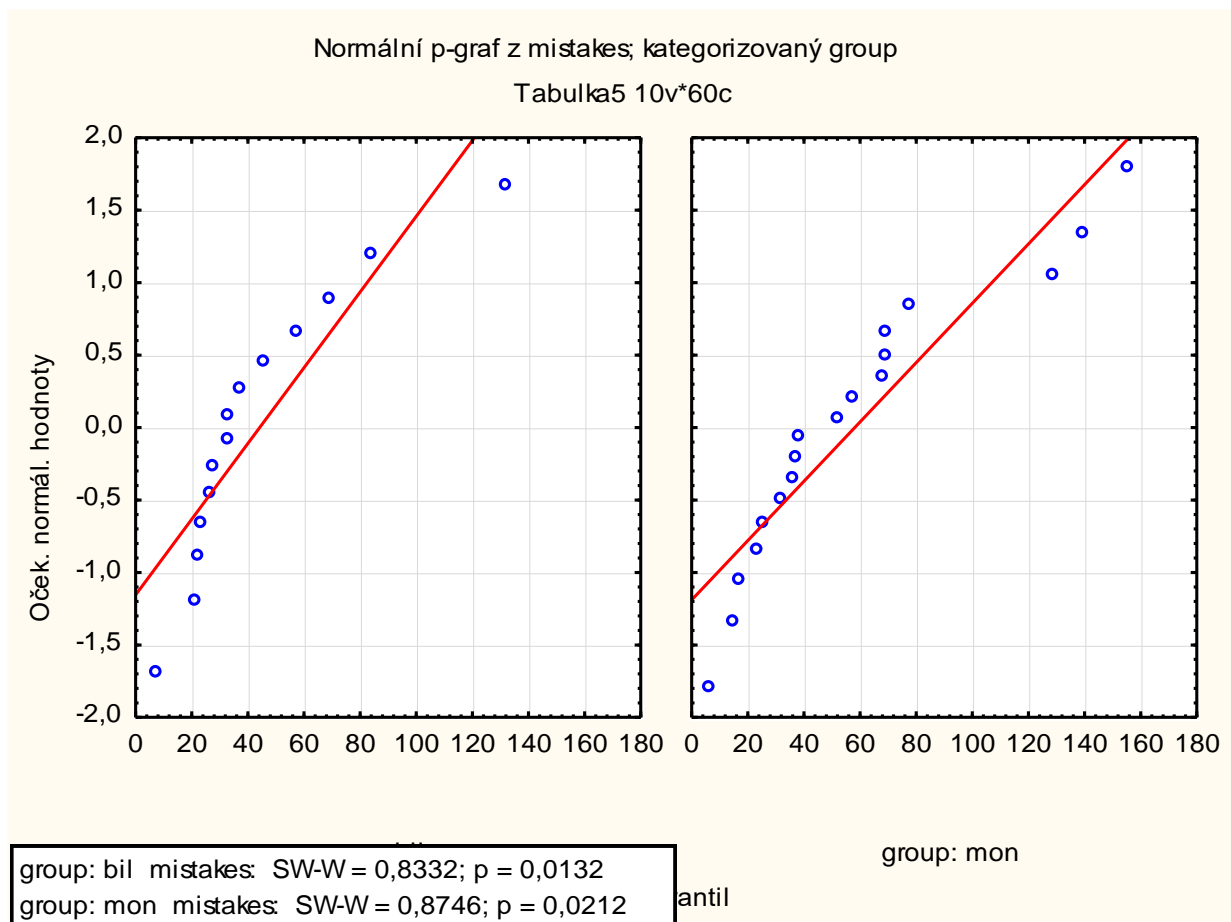
Graf 7 Elektroda TP7



Graf 8 Elektroda P7

10.2 Behaviorální data

Ke statistické analýze behaviorálních dat jsme celkem využili 35,000 eventů od bilingvní skupiny a 45,000 eventů monolingvní skupiny. U bilingvní skupiny bylo celkem zaznamenáno 619 chyb, u monolingvní skupiny se objevilo 807 chyb. U vzorku nebyla prokázána normalita, byl tedy využit neparametrický Mann-Whitneyův test. Předpokládali jsme, že falzifikací nulových hypotéz bude potvrzen předpoklad bilingvní kognitivní výhody.



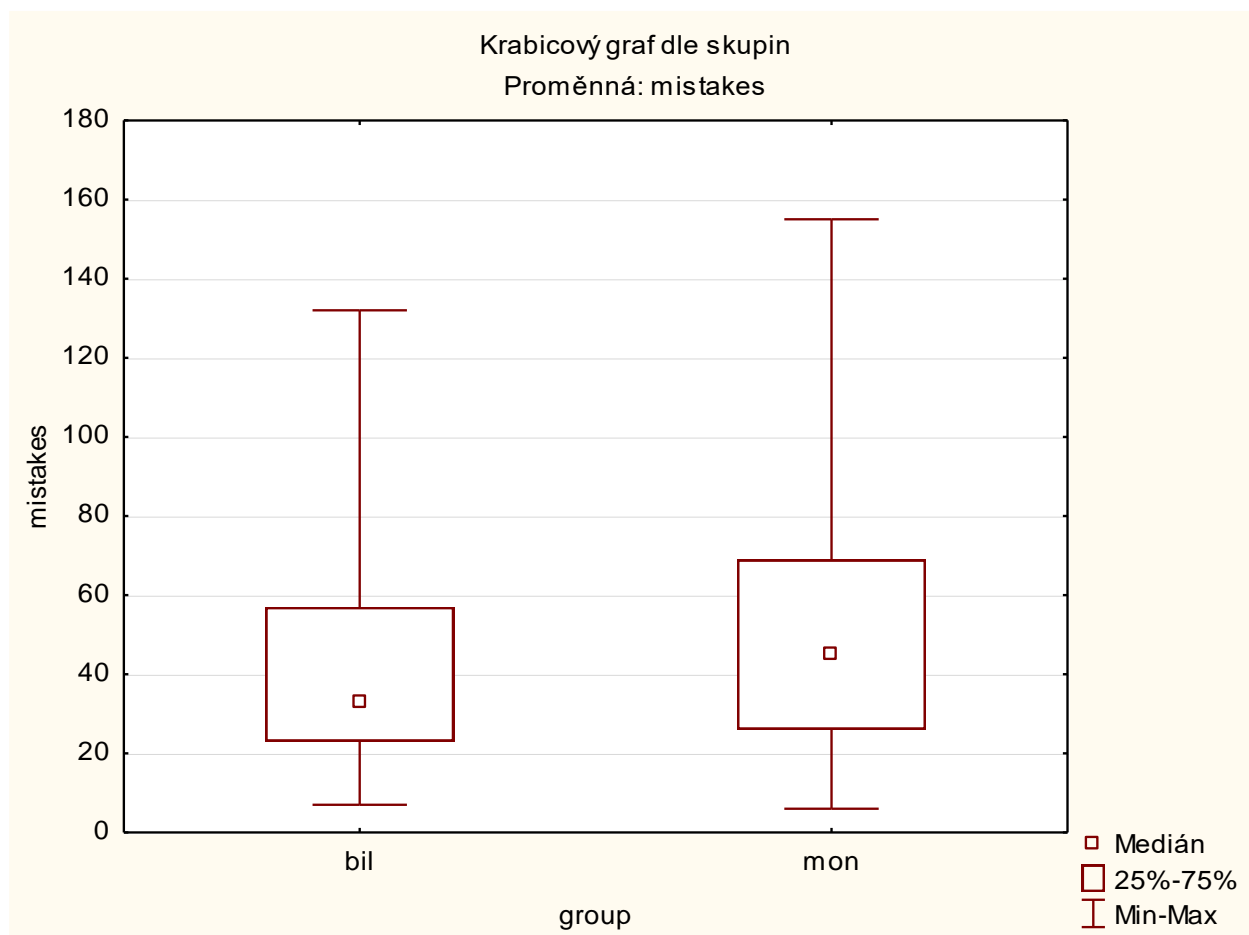
Graf 9 Normalita rozdělení vzorku

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka5)						
	Dle proměn. group						
	Označené testy jsou významné na hladině p <,05000						
	Sčt poř. bil	Sčt poř. mon	U	Z	p-hodn.	Z upravené	p-hodn.
mistakes	208,5000	319,5000	103,5000	-0,835711	0,403318	-0,836324	0,402973

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka5)		
	Dle proměn. group Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$		
	N platn. bil	N platn. mon	2*1str. přesné p
mistakes	14	18	0,398011

Tabulka 4 Testování hypotézy 2

P-hodnota u testování hypotéz 2 byla větší než hranice 0,05. Tím je alternativní hypotéza 2 falzifikována a potvrzena hypotéza nulová, ze které vyplývá, že mezi bilingvní a monolingvní skupinou není statisticky signifikantní rozdíl v chybovosti.



Graf 10 Meziskupinový rozdíl v chybovosti

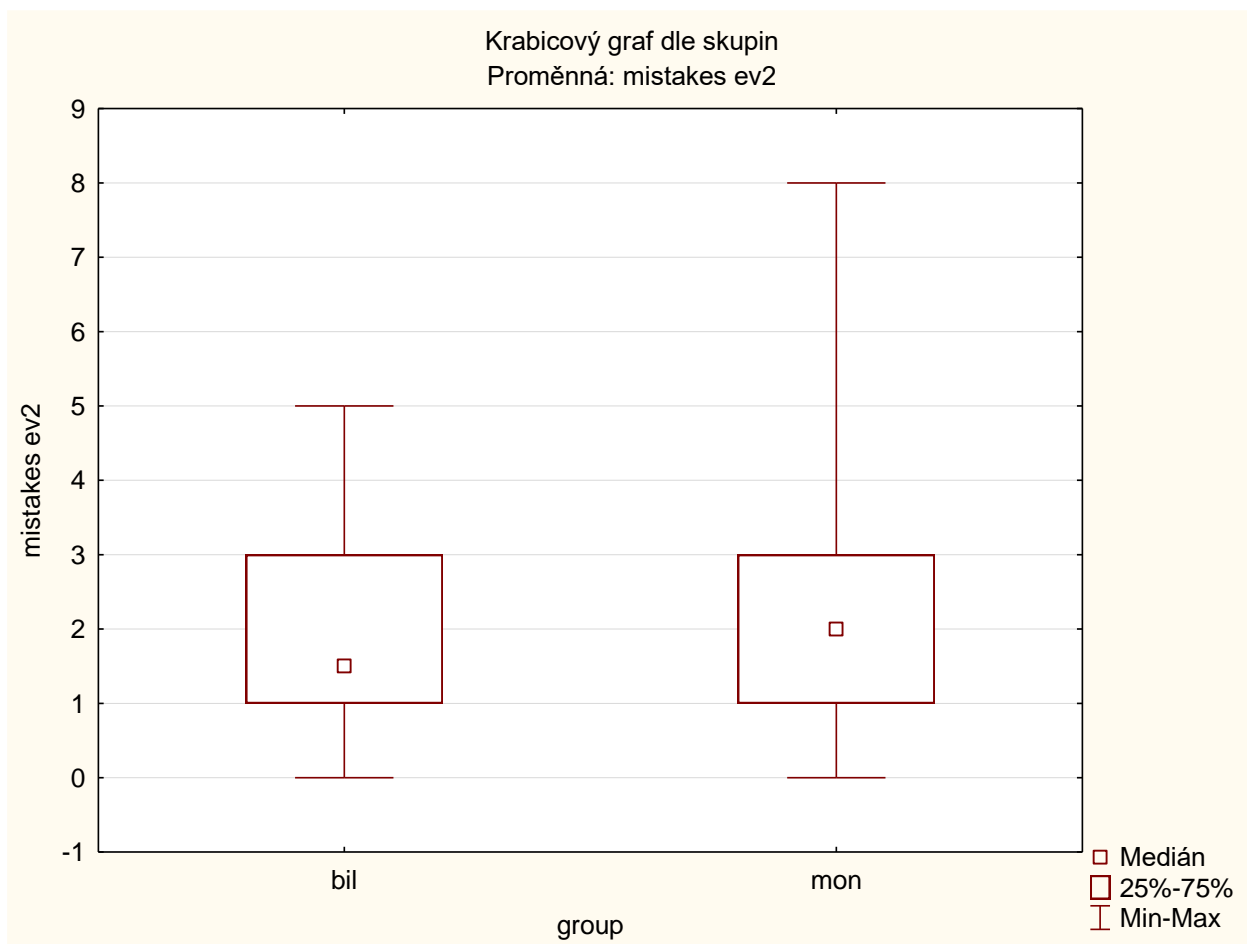
Dále jsme se zaměřili na analýzu chybovosti u eventu 2, který u bilingvní skupiny celkem obsahoval 5,572 eventů s 27 chybami. U monolingvní skupiny statistický soubor obsahoval 7,164 eventů a 47 chyb.

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka5)						
	Dle proměn. group Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$						
	Sčt poř. bil	Sčt poř. mon	U	Z	p-hodn.	Z upravené	p-hodn.
mistakes ev2	219,5000	308,5000	114,5000	-0,417855	0,676053	-0,432660	0,665262

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka5)		
	Dle proměn. group Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$		
	N platn. bil	N platn. mon	2*1str. přesné p
mistakes ev2	14	18	0,666557

Tabulka 5 Testování hypotézy 3

P-hodnota hranici 0,05 nepřesáhla ani v tomto případě. V důsledku toho je alternativní hypotéza 3 opět zamítnuta a potvrzena nulová, která nám říká, že mezi bilingvní a monolingvní skupinou neexistuje statisticky signifikantní rozdíl v chybovosti v eventu 2.



Graf 11 Rozdíl v chybovosti u eventu 2

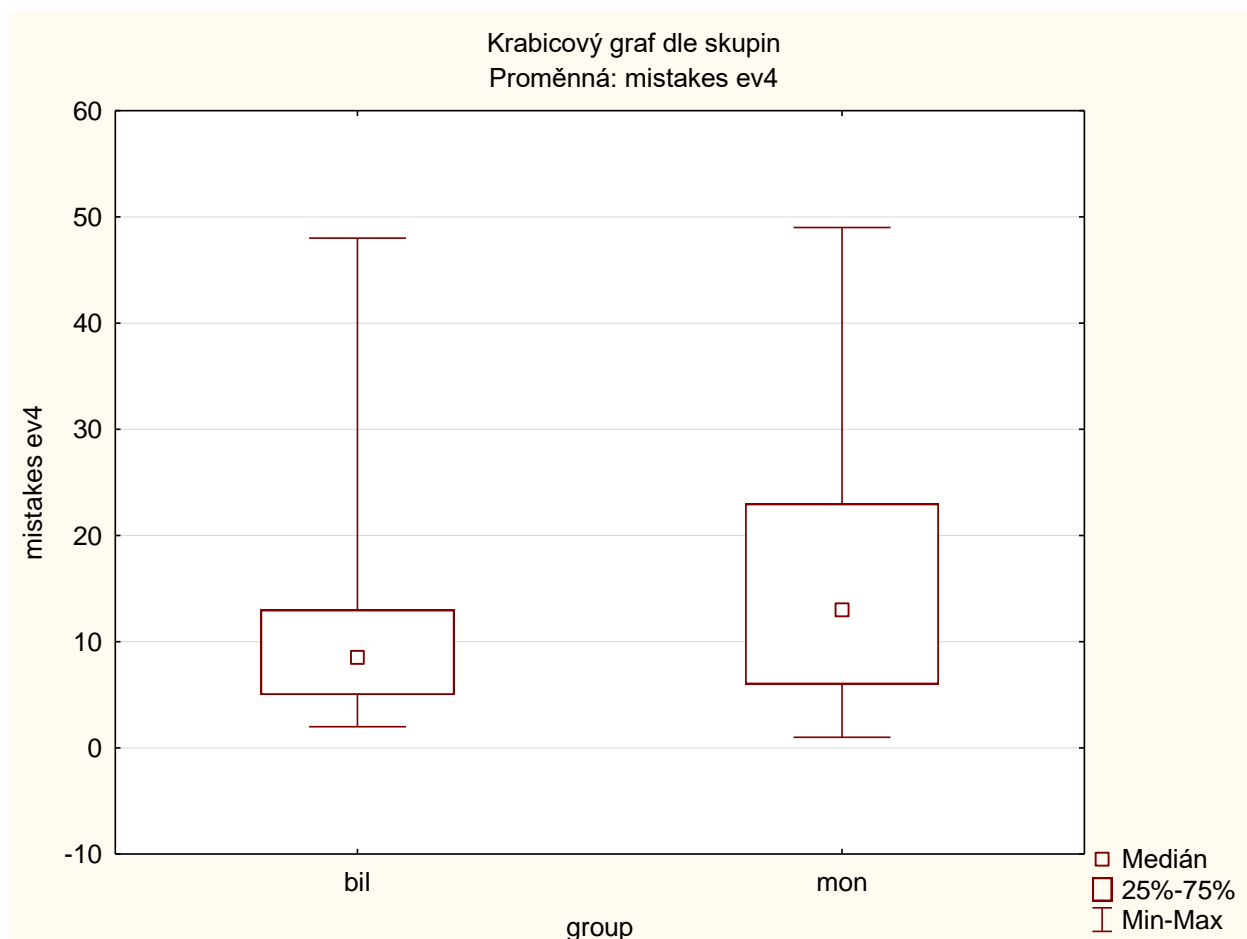
U eventu 4 bylo celkem zaznamenáno 2,842 eventů u bilingvní skupiny a 3,654 u skupiny monolingvní. Bilingvní skupina měla v tomto eventu celkem 166 chyb a monolingvní skupina 309 chyb.

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka5)						
	Dle proměn. group						
	Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$						
	Sčt poř. bil	Sčt poř. mon	U	Z	p-hodn.	Z upravené	p-hodn.
mistakes ev4	203,5000	324,5000	98,50000	-1,02565	0,305060	-1,02734	0,304261

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka5)		
	Dle proměn. group Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$		
	N platn. bil	N platn. mon	2*1str. přesné p
mistakes ev4	14	18	0,300770

Tabulka 6 Testování hypotézy 4

P-hodnota nepřesáhla hranici 0,05, alternativní hypotéza 4 je tedy zamítnuta. Potvrzená nulová hypotéza nám říká, že neexistuje statisticky signifikantní rozdíl v chybovosti mezi skupinou bilingvních a monolingvních u deviantního eventu 4 s distraktorem.

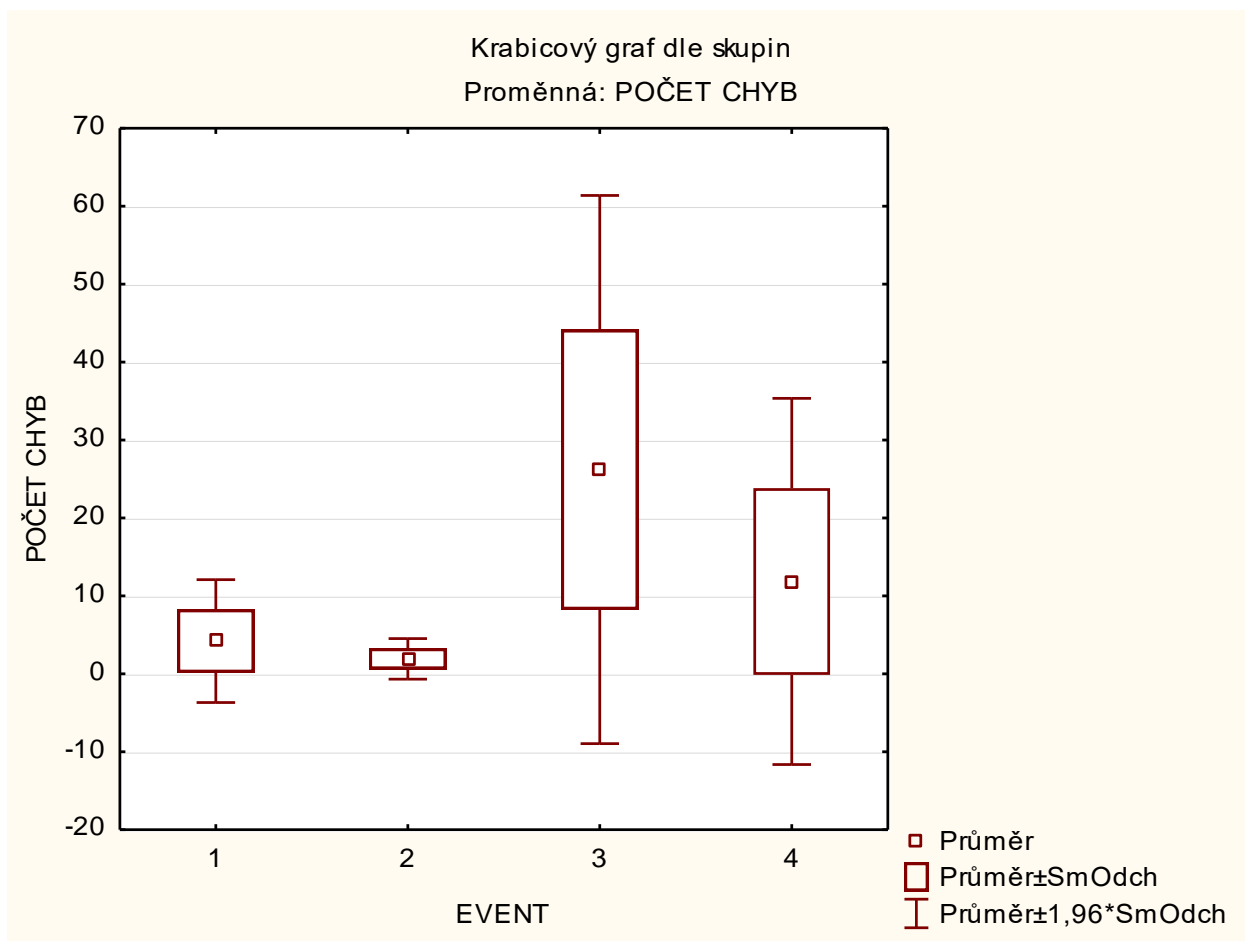


Graf 12 Rozdíl v chybovosti u eventu 4

Dále jsme očekávali, že největší meziskupinová chybovost bude u eventu 4, kde se objevuje deviant s distraktorem. V tomto typu eventu je třeba inhibovat zvukový distraktor a zároveň se soustředit na deviantní stimul.

Závislá: POČET CHYB	Vícenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); POČET CHYB (Tabulka5) Nezávislá (grupovací) proměnná : EVENT Kruskal-Wallisův test: $H(3, N=56) = 34,39166$ $p = ,0000$			
	1 R:20,821	2 R:12,679	3 R:45,893	4 R:34,607
1		1,000000	0,000286	0,151978
2	1,000000		0,000000	0,002248
3	0,000286	0,000000		0,402796
4	0,151978	0,002248	0,402796	

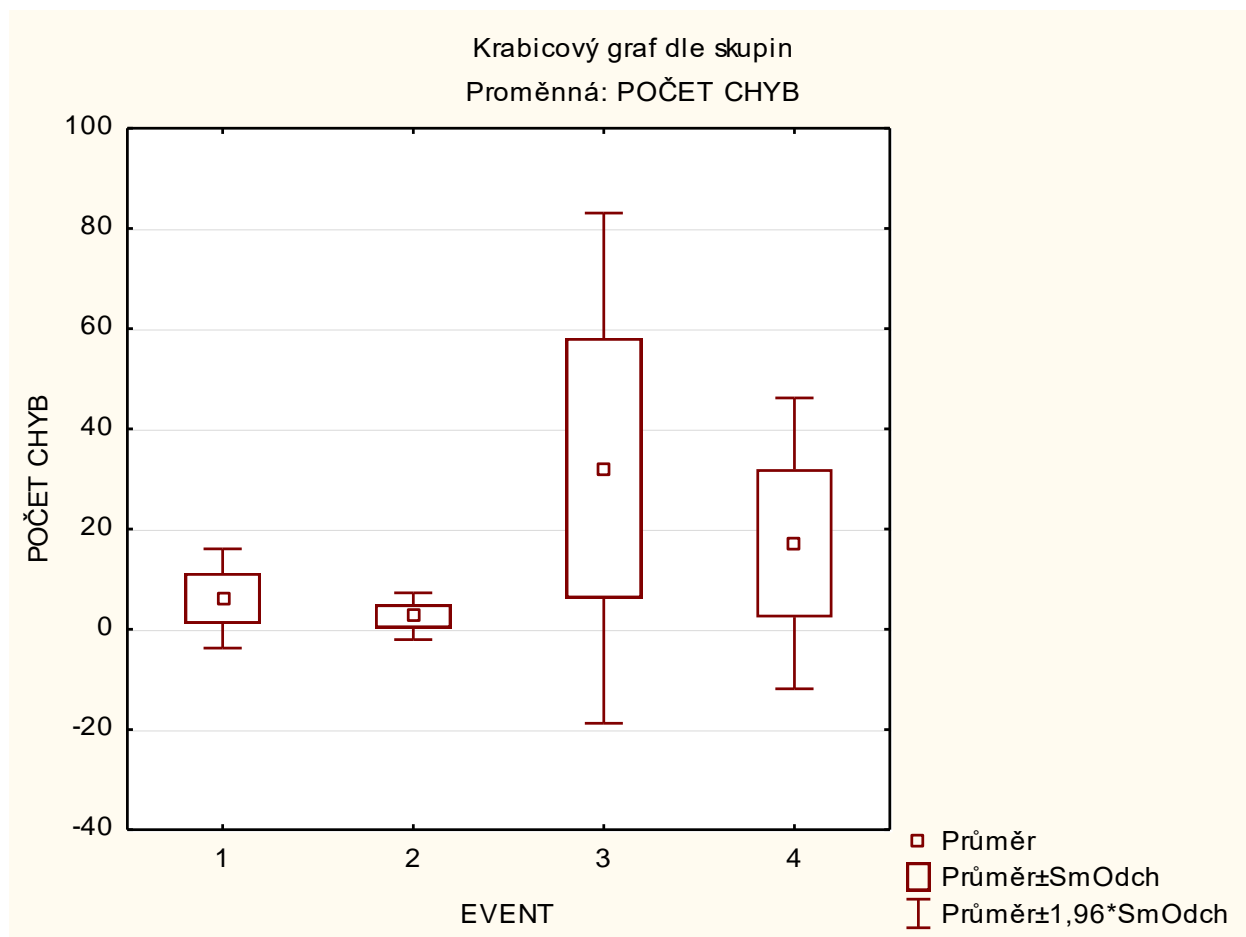
Tabulka 7 Testování hypotézy 5



Graf 13 Průměrná chybovost u jednotlivých eventů

Závislá: POČET CHYB	Vícenásobné porovnání p hodnot (oboustr.); POČET CHYB (Tabulka5) Nezávislá (grupovací) proměnná : EVENT Kruskal-Wallisův test: $H(3, N=72) = 36,06367$ $p = ,0000$			
	1 R:29,611	2 R:16,389	3 R:55,333	4 R:44,667
1		0,348279	0,001361	0,185499
2	0,348279		0,000000	0,000303
3	0,001361	0,000000		0,757558
4	0,185499	0,000303	0,757558	

Tabulka 8 Testování hypotézy 5



Graf 14 Průměrná chybovost u jednotlivých eventů

Ani hypotéza 5 ovšem nebyla potvrzena. Podle uvedených grafů se největší míra chybovosti objevovala u eventu 3, kde se objevoval pouze distraktor bez deviantního stimulu. Zdá se tedy, že komplexní tón, který měl původně působit jako distraktor, v úkolech zaujímal roli spíše vodítka pro příchod deviantního stimulu.

Poslední hypotéza testovala průměrný reakční čas odpovědi na stimul. Předpokládali jsme, že bilingvní budou v reakci na stimul rychlejší, než skupina monolingvních.

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka5)						
	Dle proměn. group						
	Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$						
	Sčt poř. bil	Sčt poř. mon	U	Z	p-hodn.	Z upravené	p-hodn.
at	237,0000	324,0000	117,0000	-0,632714	0,526921	-0,632714	0,526921

Proměnná	Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (Tabulka5)		
	Dle proměn. group Označené testy jsou významné na hladině $p < ,05000$		
	N platn. bil	N platn. mon	2*1 str. přesné p
at	15	18	0,531967

Tabulka 9 Testování hypotézy 6

Na základě p-hodnoty, která je vyšší než hraniční hodnota 0,05, docházíme k závěru, že i alternativní hypotéza 6 je falzifikována a potvrzena hypotéza nulová. Z té vyplývá, že mezi skupinou bilingvních a monolingvních nebyl zaznamenán statisticky rychlejší průměrný reakční čas.



Graf 15 Průměrný reakční čas

Podle další statistické analýzy nebyly nalezeny statisticky signifikantní rozdíly ani ve zbylých eventech 1 a 2.

Analýzou behaviorálních dat nebylo potvrzeno, že by se mezi naměřenými soubory objevovala statisticky signifikantní kognitivní výhoda bilingvních. Podle grafů a počtů chyb se sice objevuje inklinace k lepším výsledkům bilingvních, statisticky ale není možné toto tvrzení potvrdit.

11 DISKUSE

Získané výsledky z behaviorálních dat chybovosti, co do počtu naznačují existenci rozdílu mezi bilingvní a monolingvní skupinou ve prospěch bilingvního vzorku. Je ovšem třeba brát v potaz nízkou četnost souboru. Bilingvní soubor při behaviorální analýze měl o 4 subjekty méně, a tak je pravděpodobné, že by se stoupajícím počtem subjektů stoupala i chybovost. Nehledě na to, že ani statistickou analýzou nebyla statisticky signifikantní rozdílnost v kognitivní výhodě mezi soubory potvrzena.

Při analýze chybovosti eventů s distraktorem bylo dále zjištěno, že distraktor, který byl původně míněn jako aspekt pro rozptýlení pozornosti při deviantním stimulu u eventu 4, působil spíše jako vodítko pro příchod podnětu. Sice na chybovost svůj vliv měl, ale i přesto bychom pro příští experimentální měření doporučovali změnu komplexního tónu takovým způsobem, aby hypotéza 5 mohla být potvrzena a distraktor plnil roli rušivého podnětu. Ke zvážení by byla vhodná délka trvání tónu, jeho frekvence a čas započetí.

Zajímavý aspekt ovšem přišel při porovnávání naměřených subjektů mou kolegyní. Její jednotlivé subjekty měly obecně lepší výsledky, než subjekty z mnou naměřené skupiny. Při podrobnější analýze jsme došly k závěru, že se jednalo o intervenující proměnnou motivačního působení experimentátora. Ve skupině s lepšími výsledky experimentátor působil více motivačně, než druhý, který zadal pouhé instrukce, jak úkol plnit. Pravděpodobně se zde projevilo zatížení výskedků experimentátorem. Nicméně je třeba brát opět v potaz, že porovnáváme nevyrovnané soubory. Motivace, jako intervenující proměnná, působila i ze strany participanta. Shodli jsme se na tom, že pokud participant přišel z vlastního popudu a zájmu, jeho výsledky se také prokázaly býti lepšími. Ovšem k tomu, aby toto tvrzení bylo pojímáno jako relevantně potvrzený závěr, je třeba další statistické analýzy. Nicméně pro další výzkum bychom doporučili sjednocení počtu informací a instrukcí, které participant v rámci účasti získá. Zároveň bychom kladli důraz na účast maximálně dobrovolnou.

Nejvíce rušivých proměnných působilo při elektroencefalografickém měření. Jako podstatný faktor je doba, ve které bylo měření provedeno. Z časových důvodů nebylo možné všechny participanty měřit ve stejnou denní dobu. S dobou měření se tedy značně měnila i výkonnost participanta. Velice také záleželo na jeho aktuálním rozpoložení a technických aspektech měření. Některé záznamy byly poškozeny z technických důvodů, kterým bylo těžké

zabránit. Jednalo se o chyby přístroje a jeho artefakty, artefakty síťového napětí či mechanicky poškozené elektrody (zj. elektroda P5, která byla z většiny záznamů vyřazena).

Při analýze evokovaných potenciálů byly statisticky signifikantní rozdíly nalezeny v očekávaných lingvistických oblastech. Ovšem i zde je třeba podotknout, že analýza byla prováděna na početně nevyrovnaném a relativně nízkém vzorku. V další analýze bychom kladli požadavek na rozšíření testované skupiny a na pečlivější stanovení kvót souboru. Dále, z hlediska snahy o co největší využitelný vzorek do výsledné analýzy, jsme byli spíše benevolentní, co se artefaktů týče. Artefakty, které nutně nevyžadovaly manuální vyčištění a neznamenal pro dataset příliš velké zkreslení, jsme nechávali zprůměrovat plug-inem ASR. V příští analýze bychom tedy dále doporučovali striktnější a jednodušší zpracování získaných datasetů.

Výsledky EEG analýzy naznačují změny v neurální organizaci bilingvních subjektů, nicméně je třeba dalších výzkumů se striktnější kontrolou intervenujících proměnných.

12 ZÁVĚR

Bakalářská práce s názvem „*Vietnamsko-česky bilingvní adolescenti na EEG – efekt bilingvnosti na kognitivní výhodu*“ podává ucelený souhrn mechanismů, které mají co dočinění s reorganizací neurálních aspektů mozku v souvislosti s bilingvností.

Na problematiku psycholingvistiky je pohlíženo z neuropsychologického pohledu a cílem teoretické části bylo popsat kořeny lidského chování a jeho adaptaci v rámci prostředí. Teoretická část se zaměřila na neuropsychologický výzkum evokovaných potenciálů a případných změn ve specifických mozkových korelátech bilingvních.

I přes falzifikaci dat behaviorálních, byly u dat elektroencefalografických pozorovány určité změny v ERP zejména v oblastech lingvistických. V oblastech, kde byly změny očekávány. Podrobnější analýza bilingvních změn se nicméně dožaduje hlubšího výzkumu.

13 SOUHRN

Bakalářská práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. První kapitola teoretické části se věnovala popisu neuroplastických mechanismů. Nejprve byl princip neuroplasticity představen a následně byly podány důkazy potvrzující její existenci. Konkrétněji jsme se zaměřili na důkazy existence plasticity lingvistické, protože to byla jedna z oblastí, která nás následně zajímala v praktické části. Dále byly popsány mechanismy plasticity frontálních laloků, na které volně navazovala kapitola o anatomii frontálních laloků, jejich vývoji a funkci.

Na funkce frontálních laloků bylo pohlíženo z psychologického úhlu pohledu a byly popsány nejtypičtější nástroje, kterými frontální laok v rámci lidské psychiky disponuje. Šlo zejména o exekutivní funkce a jejich složky – inhibiční kontrola, pracovní paměť a kognitivní flexibilita.

Protože s funkcemi a topografií frontálních laloků úzce souvisí jazyk a řeč, dále navazovala kapitola věnovaná právě těmto dorozumívacím nástrojům lidského druhu. Kapitola popisuje jaké biologické, zejména potom neurální, mechanismy stojí za tvorbou řeči a jaké posloupnosti se těší jejímu vývoji.

Na to již navazovalo psycholingvistické téma bilingvismu, které je stěžejní pro celou bakalářskou práci. Bilingvismus byl popsán z pohledů různých definic a následně byly uvedeny výzkumy, které shrnují psychologické a kognitivní (ne)výhody bilingvního učení. Kapitola byla zaměřena zejména na exekutivní funkce a na výzkum evokovaných potenciálů bilingvních.

Poslední kapitola teoretické části se zabývala popisem zařízení elektroencefalografu, který byl používán při realizaci praktické části.

Praktická část byla zaměřena na testování hypotéz a jejich tvrzeních vyplývajících z předešlých výzkumů. Byly založeny na premisách o kognitivní výhodě bilingvních. Experiment byl rozdělen na dvě analyzované část – na část neurofyziologickou a část behaviorální.

V rámci neurofyziologické části byly snímány mozkové potenciály při hraní hry detekce písmene s distraktory. Nahrané datasety prošly podrobným zpracováním v programu MATLAB a následnou analýzou ERP z elektrod FC5, FC3, CP5, C5, Fz a Cz. Byly nalezeny statisticky signifikantní rozdíly mezi bilingvní a monolingvní skupinou. Objevily se zejména v prvních 300 ms po stimulu.

V behaviorální části byly zaznamenávány informace o chybovosti při řešení úkolu detekce písmene a reakční čas na stimul. Data byla zaznamenána tak, aby bylo následně možné dohledat při jakém eventu daný jedinec odpovídal. Jednalo se o eventy standardní bez distraktoru, standardní s distraktorem, deviantní bez distraktoru a deviantní s distraktorem. Zaměřili jsme se na analýzu eventů s distraktory, tedy na eventy 2 a 4, dále na analýzu celkové chybovosti a analýzu reakčních časů. Alternativní hypotézy byly formulovány ve prospěch bilingvního vzorku, nicméně byly falzifikovány. Nebyl zaznamenán statisticky signifikantní rozdíl v behaviorálních datech mezi bilingvními a monolingvními subjekty.

14 SEZNAM LITERATURY

- 1) Abutalebi, J., Guidi, L., Borsa, V., Canini, M., Della Rosa, P. A., Parris, B. A., & Weekes, B. S. (2014). Bilingualism provides a neural reserve for aging populations. *Neuropsychologia*, 69(2015), 201-210.
- 2) Alladi, S., Bak, T. H., Duggirala, V., Surampudi, B., Shailaja, M., Shukla, A. K., Chaudhuri, J. R. & Kaul, S. (2013). Bilingualism delays age at onset of dementia, independent of education and immigration status. *Neurology*, 18(22), 1938-1944.
- 3) Arredondo, M. M., Hu, X. S., Satterfield, T., & Kovelman, J. (2017). Bilingualism alters children's frontal lobe functioning for attentional control. *Developmental Science*, 20(3), 28-38.
- 4) Barac, R., Bialystok, E., Castro, D. C., & Sanchez, M. (2014). The Cognitive Development of Young Dual Language Learners: A Critical Review. *Early Childhood Research Quarterly*, (29)2014, 699-714.
- 5) Bareš, M. (2011). Kognitivní evokované potenciály. *Česká a Slovenská neurologie a neurochirurgie*, 74/107(5), 508-517. Dostupné z http://www.csmn.eu/ceska-slovenska-neurologie-clanek/kognitivni-evokovane-potencialy-36052?confirm_rules=1
- 6) Bellis, M. (2017). *Luigi Galvani and the Theory of Animal Electricity*. Dostupné z <https://www.thoughtco.com/luigi-galvani-theory-animal-electricity-1991692>
- 7) Bialystok, E. (2001). *Bilingualism in Development – Language, Literacy, and Cognition*. Cambridge: Cambridge University Press.
- 8) Bialystok, E., Craik, F. I. M., Klein, R., & Viswanathan, M. (2004). Bilingualism, aging and cognitive control: evidence from Simon task. *Psychol Aging*, 19(2), 190-303.
- 9) Bialystok, E., Craik, F. I. M., Freedman, M. (2007). Bilingualism as a protection against the onset of symptoms of dementia. *Neuropsychologia*, 45(2), 459-464.
- 10) Bialystok, E., Craik, F. I. M., & Luk, G. (2007). Lexical access in bilinguals: Effects of vocabulary size and executive control. *Journal of Neurolinguistic*, 21(2008), 522-538.
- 11) Bialystok, E., Craik, F. I. M., & Luk, G. (2008). Cognitive control and lexical access in younger and older bilinguals. *Journal of Experimental Psychology*, 34(4), 859-873.
- 12) Bialystok, E., Craik, F. I. M., & Luk, G. (2012). Bilingualism: consequences for mind and brain. *Trends in Cognitive Science*, 16(4), 240-250.
- 13) Bialystok, E., & Majumder, S. (1998). The relationship between bilingualism and the development of cognitive processes in problem-solving. *Appl. Psycholinguistic*, 19(), 69-85.
- 14) Bialystok, E., & Martin, M. M. (2004). Attention and Inhibition in Bilingual Children: Evidence From the Dimensional Change card sort task. *Developmental Science*, 7(3), 325-339.

- 15) Biscontini, T. (2015). Executive function. *Salem Press Encyclopedia*. Dostupné z <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=bc642b2b-4936-4a6a-99fc-7f887ea404ca%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbmc9Y3Mmc2l0ZT11ZHMtbGl2ZQ%3d%3d#db=ers&AN=109057013>
- 16) Blin, J. (2013). *The Bilingual Advantage*. Dostupné z <http://thebilingualadvantage.com/en/>
- 17) Bresadola, M. (1998). Medicine and science in the life of Luigi Galvani (1737 – 1798). *Brain research bulletin*, 46(5), 367-380.
- 18) Briellmann, R. S., Saling, M. M., Connell, A. B., Waites, A. B., Abbott, D. F., & Jackson, G. D. (2004). A high-field functional MRI study of quadrilingual subjects. *Brain language*, 21(1), 60-99.
- 19) Casey, B. J., Somerville, L. H., Gotlib, I. H., Ayduk, O., Franklin, N. T., Askren, M. K., Jonides, J., Berman, M. G., Wilson, N. L., Teslovich, T., Glover, G., Zayas, V., Mischel, W., & Shoda, Y. (2011). Behavioral and neural correlates of delay of gratification 40 years later. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(36), 14998-15003.
- 20) Carter, R., Aldridge, S., Page, M., & Parker, S. (2009). *The Human Brain Book*. New York: Dorling Kindersley.
- 21) Cohen, M. X. (2014). *Analyzing neural time series data: theory and practice*. Cambridge: The MIT Press.
- 22) Collura, T. F. (1993). History and evolution of electroencephalographic instruments and techniques. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 10(4), 476-504.
- 23) Costa, A., Hernández, M., Costa-Faidella, J., & Sebastián-Gallés, N. (2009). On the bilingual advantage in conflict processing: Now you see it, now you don't. *Cognition*, 113(2009), 135-149.
- 24) Craik, F. I. M., Bialystok, E., & Freedman, M. (2010). Delaying the onset of Alzheimer disease: Bilingualism as a form of cognitive reserve. *Neurology*, 75(19), 1726-1729.
- 25) De Bleser, R., Dupont, P., Postler, J., Bormans, G., Speelman, D., Mortelmans, L., & Debrock, M. (2003). The organisation of the bilingual lexicon: a PET study. *Journal of Neurolinguistics*, 16(4-5), 439-456.
- 26) Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.
- 27) Dong, Y., & Zhong, F. (2017). Interpreting experience enhances early attentional processing, conflict monitoring and interference suppression along the time course of processing. *Neuropsychologia*, 95, 193-203.
- 28) Eriksson, P. S., Perfilieva, E., Björk-Eriksson, T., Alborn, A. M., Nordborg, C., Peterson, D. A., & Gage, F. H. (1998). Neurogenesis in the adult human hippocampus. *Nature Medicine*, 4(11), 1313-1317.
- 29) Faber, J. (1997). *EEG do kapsy*. Praha: Triton.
- 30) Farnsworth, B. (2016). *Making Waves – The Past, Present, and Future of EEG Research*. Dostupné z <https://imotions.com/blog/history-of-eeeg/>

- 31) Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170.
- 32) Fuller, G., & Manford, M. (2010). *Neurology*. London: Churchill Livingstone.
- 33) Fuster, J. M. (2002). Frontal lobe and cognitive development. *Journal of Neurocytology*, 31(3-5), 373-385.
- 34) Fuster, J. M. (2015). *The Prefrontal Cortex*. Los Angeles: Elsevier.
- 35) Garcia-Sierra, A., Ramírez-Esparza, N., & Kuhl, P. K. (2016). Relationships between quantity of language input and brain responses in bilingual and monolingual infants. *International Journal of Psychophysiology*, 110, 1-17.
- 36) Gazzaniga, M. S. et al., eds. (2009). *The cognitive neurosciences, 4th edition*. Cambridge, MA: MIT Press.
- 37) Gollan, T. H., Fennema-Notestine, C., Montoya, R. I., & Jernigan, T. L. (2007). The bilingual effect on Boston Naming Test performance. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 13(2), 197-208.
- 38) Gollan, T. H., Montoya, R. I., Fennema-Notestine, C., & Morris, S. K. (2005). Bilingualism affects picture naming but not picture classification. *Memory and Cognition*, 33, 1220–1234.
- 39) Guirgis, S., & Olson, K. R. (2014). When does bilingualism help or hurt? *Psychology Today*. Dostupné z <https://www.psychologytoday.com/blog/developing-minds/201404/when-does-bilingualism-help-or-hurt>
- 40) Hakuta, K. (1986). *Mirror of Language: The Debate on Bilingualism*. New York: Basic Books.
- 41) Haldin, C., Acher, A., Kauffmann, L., Hueber, T., Cousin, E., Badin, P., Perrier, P., Fabre, D., Pérennou, D., Detante, O. et al. (2017). Speech recovery and language plasticity can be facilitated by Sensori-Motor Fusion (SMF) training in chronic non-fluent aphasia. A case report study. *Clinical Linguistics & Phonetics*, 1-27.
- 42) Harrison, B. J., Shaw, M., Yucel, M., Purcell, R., Brewer, W. J., Strother, S. C., Egan, G. F., Olver, J. S., Nathan, P. J., & Pantelis, Ch. (2005). Functional connectivity during Stroop task performance. *Neuroimage*, 24(1), 181-191.
- 43) Hartl, P. (2004). *Stručný psychologický slovník*. Praha: Portál.
- 44) Hinkley, L. B. N., Marco, E. J., Brown, E. G., Bukshpun, P., Gold, J., Hill, S., Findlay, A. M., Jeremy, R. J., Wakahiro, M. L., Barkovich, A. J., Mukherjee, P., Sherr, E. H., & Nagarajan, S. S. (2016). The contribution of the corpus callosum to language lateralization. *The Journal of Neuroscience*, 36(16), 4522-4533.
- 45) Hodel, A. S. (2018). Rapid infant prefrontal cortex development and sensitivity to early environmental development. *Developmental Review*. Dostupné z <https://doi.org/10.1016/j.dr.2018.02.003>

- 46) Holmboe, K., Pasco Fearon, R. M., Csibra, G., Tucker, L. A., & Johnson, M. H. (2008). A new infant inhibition task and its relation to frontal cortex tasks during infancy and early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 100(2), 89-114.
- 47) Chan, R. C. K., Shum, D., Touloupoulou, T., Chen, E. Y. H. (2007). Assessment of executive functions: Review of instruments and identification of critical issues. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 23(2), 201-216.
- 48) Chee, M. W. L., Tan, E. W. L., & Thiel, T. (1999). Mandarin and English single word processing studied with functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience*, 19(8), 3050-3056.
- 49) Ivanova, I., & Costa, A. (2008). Does bilingualism hamper lexical access in speech production? *Acta Psychologica*, 127(2), 277-288.
- 50) Jacques, S., & Zelazo, P. D. (2012). Language and the development of cognitive flexibility: Implications for theory of mind. *Oxford University Press*. Dostupné z <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84920412530&origin=inward&txGid=4ed36888c4d1bc2082bd18c1fa01ace5>
- 51) Johnson, J. P. (2011). *Animal Electricity, circa 1781*. Dostupné z <http://www.the-scientist.com/?articles.view/articleNo/31078/title/Animal-Electricity--circa-1781/>
- 52) Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: A review of our current understanding. *Neuropsychology Review*, 17(3), 213-233.
- 53) Kałamała, P., Drożdżowicz, A., Szewczyk, J., Marzecová, A., & Wodniecka, Z. (2017). Task strategy may contribute to performance differences between monolinguals and bilinguals in cognitive control tasks: ERP evidence. *Journal of Neurolinguistics*, 46(2018), 78-92.
- 54) Kiefer, D. (2016). *Biofeedback Therapy: Uses and Benefits*. Dostupné z <https://www.webmd.com/a-to-z-guides/biofeedback-therapy-uses-benefits#1>
- 55) Kim, P., Rigo, P., Mayes, L. C., Feldman, R., Leckman, J. F., & Swain, J. E. (2014). Neural plasticity in fathers of human infants. *Social Neuroscience*, 9(5), 522-535.
- 56) Klein, D., Milner, B., Zatorre, R. J., Zhao, V., & Nikelski, J. (1999). Cerebral organization in bilinguals: a PET study of Chinese-English verb generation. *Neuroreport*, 10(13), 2841-2846.
- 57) Knott, V. J. (2000). Quantitative EEG Methods and Measures in Human Psychopharmacological Research. *Human psychopharmacology*, (15), 479-498.
- 58) Kolb, B., Gibb, R., & Gorny, G. (2000). Cortical plasticity and the development of behavior after early frontal cortical injury. *Developmental Psychology*, 18(3), 423-444.
- 59) Kulišťák, Petr (2003). *Neuropsychologie*. Praha: Portál.
- 60) Lawton, D. M., Gasquoine, P. G., & Weimer, A. A. (2015). Age of dementia diagnosis in community dwelling bilingual and monolingual Hispanic Americans. *Cortex*, 66(5), 141-145.
- 61) Lieff, J. (2014). The fantastic array of neuroplasticity mechanisms. *Searching for the Mind*. Dostupné z <http://jonlieffmd.com/blog/the-fantastic-array-of-neuroplasticity-mechanisms>

- 62) Liu, X., Tu, L., Wang, J., Jiang, B., Gao, W., Pan, X., Li, M., Zhong, M., Zhu, Z., Niu, M., Li, Y., Zhao, L., Chen, X., Liu, Ch., Lu, Z., & Huang, R. (2017). Onset age of L2 acquisition influences language network in early and late Cantonese-Mandarin bilinguals. *Brain & Language*, *174*(2017), 16-28.
- 63) Lopez-Gordo, M. A., Sanchez-Morillo, D., & Pelayo Valle, F. (2014). Dry EEG Electrodes. *Sensors (Basel)*, *14*(7), 12847-12870.
- 64) Love, R. J., & Webb, W. G. (2009). *Mozek a řeč*. Praha: Portál.
- 65) Luigi Galvani. (2017, September 25). In *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. Dostupné z https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Luigi_Galvani&oldid=802255996
- 66) Luo, L., Luk, G., & Bialystok, E. (2008). Effect of language proficiency and executive control on verbal fluency performance in bilinguals. *Cognition*, *114*(2010), 29-41.
- 67) MacDonald, A. W., Cohen, J. D., Stenger, V. A., & Carter, D. S. (2000). Dissociating the role of the dorsolateral prefrontal and anterior cingulate cortex in cognitive control. *Science*, *288*(5472), 1835-1838.
- 68) Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (2000). Navigation-related structural change in the Hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *97*(8), 4398-4403.
- 69) Maguire, E. A., Woollett, K., & Spiers, H. J. (2006). London taxi drivers and bus drivers: A structural MRI and neuropsychological analysis. *Hippocampus*, *16*(12), 1091-1101.
- 70) Mao, X., Li, M., Li, W., Niu, L., Xian, B., Zeng, M., & Chen, G. (2017). Progress in EEG-Based Brain Robot Interaction Systems. *Computational Intelligence and Neuroscience*. Dostupné z <http://doi.org/10.1155/2017/1742862>
- 71) Martin, G. N. (1998). *Human Neuropsychology*. London: Prentice-Hall.
- 72) Matějček, Z., & Langmeier, J. (1974). *Psychická deprivace v dětství*. Praha: Avicenum.
- 73) Mårtensson, J., Eriksson, J., Bodammer, N. C., Lindgren, M., Johansson, M., Nybegr, L., & Lövdén, M. (2012). Growth of language-related brain areas after foreign language learning. *Neuroimage*, *63*(1), 240-244.
- 74) Mechelli, A., Crinion, J. T., Noppeney, U., O'Doherty, J., Ashburner, J., Frackowiack, R. S., & Price, C. J. (2004). Structural plasticity in the bilingual brain. *Nature*, *431*(7010).
- 75) Metin, O., Tufan, A. E., Cevher Binici, N., Saracli, O., Atalay, A., & Yolga Tahiroglu, A. (2017). Executive functions in frontal lobe syndrome: A case report. *Turkish Journal of Psychiatry*, *18*(2), 1-4.
- 76) Michel, Ch. M., Koenig, T., Brandeis, D., Gianotti, L. R. R., & Wackermann, J. (2009). *Electrical Neuroimaging*. Cambridge: Cambridge University Press.

- 77) Milham, M. P., Banich, M. T., & Barad, V. (2003). Competition for priority in processing increases prefrontal cortex's involvement in top-down control: an event-related fMRI study of the Stroop task. *Cognitive Brain Research*, 17(2), 212-222.
- 78) Milham, M. P., Erickson, K. I., Banich, M. T., Kramer, A. F., Webb, A., Wszalek, T., & Cohen, N. J. (2002). Attentional control in the aging brain: Insights from an fMRI study of the Stroop task. *Brain and Cognition*, 49(3), 277-296.
- 79) Musso, M., Moro, A., Glauche, V., Rijntjes, M., Reichenbach, J., Buechel, C., & Weiller, C. (2003). Broca's area and the language instinct. *Nature Neuroscience*, 6(7), 774-781.
- 80) Olsen, R. K., Pangelinan, M. M., Bogulski, C., Chakravarty, M. M., Luk, G., Grady, C. L., & Bialystok, E. (2015). The effect of lifelong bilingualism on regional grey and white matter volume. *Brain research*, 1612(2015), 128-139.
- 81) Ong, G., Sewell, D. K., Weekes, B., McKague, M., & Abutalebi, J. (2017). A diffusion model approach to analysing the bilingual advantage for the Flanker test: The role of attentional control processes. *Journal of Neurolinguistics*, 43, 28-38.
- 82) Patira, R., Ciniglia, L., Calvert, T., & Altschuler, E. L. (2017). Pure apraxia of speech due to infarct in premotor cortex. *Neurologia i Neurochirurgia Polska*, 51(6), 519-524.
- 83) Perani, D., & Abutalebi, J. (2005). The neural basis of first and second language processing. *Cognitive neuroscience*, 15(2), 202-206.
- 84) Phillips, C. (2017). Lifestyle modulators of neuroplasticity: How physical activity, mental engagement, and diet promote cognitive health during aging. *Neural plasticity*, 1-22,
- 85) Plháková, A. (2006). *Dějiny psychologie*. Praha: Grada.
- 86) Portocarrero, J. S., Burchright, R. G., & Donovan, P. J. (2007). Vocabulary and verbal fluency of bilingual and monolingual college students. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 22(3), 415-422.
- 87) Price, C. J. (2000). The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *Journal of anatomy*, 197, 335-359.
- 88) Ramírez, N. F., Ramírez, R. R., Clarke, M., Taulu, S., & Kuhl, P. K. (2017). Speech discrimination in 11-month-old bilingual and monolingual infants: a MEG study. *Developmental Science*, 20(1), 1-17.
- 89) Ramkumar, P., Dekleva, B., Cooler, S., Miller, L., & Kording, K. (2016). Premotor and motor cortices encode reward. *PLoS ONE*, 11(8), 1-13.
- 90) Rezvani, A. H. (2006). Involvement of the NMDA system in learning and memory. In Levin, E. D., & Buccafusco, J. J. (eds.). *Animal Models of Cognitive Impairment*. Boca Raton: CRC Press/Taylor & Francis. Dostupné z <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK2532/>
- 91) Riedel, G., Platt, B., & Micheau, J. (2003). Glutamate receptor function in learning and memory. *Behavioural Brain Research*, 140(1-2), 1-47.
- 92) Rodin, E. (1994). Analog or digital EEG? *Clinical electroencephalography*, (25)3, 6-7.

- 93) Roger Mills-Koonce, W., Willoughby, M. T., Zvara, B., Barnett, M., Gustafsson, H., & Cox, M. J. (2015). Mothers' and fathers' sensitivity and children's cognitive development in low-income, rural families. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 38, 1-10.
- 94) Rolls, E. T. (2004). The functions of the orbitofrontal cortex. *Brain and Cognition*, 55(1), 11-29.
- 95) Sakai, K. L., Miura, K., Narafu, N., & Muraishi, Y. (2004). Correlated functional changes of the prefrontal cortex in twins induced by classroom education of second language. *Cerebral Cortex*, 14(11), 1233-1239.
- 96) Semendeferi, K., Lu, A., Schenker, N., & Damasio, H. (2002). Humans and great apes share a large frontal cortex. *Nature Neuroscience*, 5(3), 272-276.
- 97) Shafer, V. L., Yu, Y. H., & Datta, H. (2011). The development of English vowel perception in monolingual and bilingual infants: Neurophysiological studies. *Journal of Phonetics*, 39(4), 527-545.
- 98) Schlegel, A. A., Rudelson, J. J., & Tse, P. U. (2012). White matter structure changes as adults learn a second language. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(8), 1664-1670.
- 99) Schotten, M. T., Dell'Acqua, F., Valabregue, R., & Catani, M. (2012). Monkey to human comparative anatomy of the frontal lobe association tracts. *Cortex*, 48(1), 82-96.
- 100) Sillamy, N. (2001). *Psychologický slovník*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- 101) Sorbello, R., Tramonte, S., Giardina, M., La Bella, V., Spataro, R., Allison, B., Guger, C., & Chella, A. (2017). A Human-Humanoid Interaction Through The Use of BCI for Locked-In ALS Patients Using Neurobiological Feedback Fusion. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. Dostupné z [10.1109/TNSRE.2017.2728140](https://doi.org/10.1109/TNSRE.2017.2728140)
- 102) Stein, M., Federspiel, A., Koenig, T., Wirth, M., Strik, W., Wiest, R., & Dierks, T. (2012). Structural plasticity in the language system related to increased second language proficiency. *Cortex*, 48(4), 458-465.
- 103) Stern, J. M., & Engel, J. (2005). *Atlas of EEG Patterns*. Lippincott Williams & Wilkins.
- 104) Sur, S., & Sinha, V. K. (2009). Event-related potential: An overview. *Industrial Psychiatry Journal*, 18(1), 70-73.
- 105) Szychowska, M., Eklund, R., Nilsson, M. E., & Wiens, S. (2017). Effects of sound pressure level and visual perceptual load on the auditory mismatch negativity. *Neuroscience Letters*, 640(2017), 37-41.
- 106) Ullman, M. T. (2001). A neurocognitive perspective on language: the declarative/procedural model. *Nature Reviews Neuroscience*, 2(10), 717-726.
- 107) Taub, B. (2017). *How To „Hack“ Your Brain And Get High Without Using Drugs*. Dostupné z <http://www.iflscience.com/brain/how-to-hack-your-brain-and-get-high-without-using-drugs/>
- 108) Taupin, P. (2006). Adult neurogenesis and neuroplasticity. *Restorative neurology and neuroscience*, 24(1), 9-15.

- 109) Tettamanti, M., Alkadhi, H., Moro, A., Perani, D., Kollias, S., & Weniger, D. (2002). Neural correlates for the acquisition of natural language syntax. *Neuroimage*, 17(2), 700-709.
- 110) Thompson, C. K., & Ouden, D. B. (2008). Neuroimaging and recovery of language in aphasia. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 8(6), 475-483.
- 111) Ticini, L. F. (2017). The role of the orbitofrontal cortex and dorsolateral prefrontal cortices in aesthetic preference for art. *Behavioral Sciences*, 7(2), 1-9.
- 112) Timmer, K., Grundy, J. G., & Bialystok, E. (2017). Earlier and more distributed neural networks for bilinguals than monolinguals during switching. *Neuropsychologia*, 106, 245-260.
- 113) Trojan, S., & Pokorný, J. (1998). Theoretical aspects of neuroplasticity. *Physiological Research*, 48(2), 87-97.
- 114) Tudor, M., Tudor, L., & Tudor, K. (2005). Hans Berger (1873-1941) – The history of electroencephalography. *Acta Med Croatica*, 59(4), 307-13.
- 115) Tzourio-Mazoyer, N., Perrone-Bertolotti, M., Jobard, G., Mazoyer, B., & Baciú, M. (2017). Multi-factorial modulation of hemispheric specialization and plasticity for language in healthy and pathological conditions: A review. *Cortex*, 86, 314-339.
- 116) Vojtěch, Z. (2005). *EEG v epileptologii dospělých*. Praha: Grada.
- 117) Wartenburger, I., Heekeren, H. R., Abutalebi, J., Cappa S. F., Villringer, A., & Perani, D. (2003). Early setting of grammatical processing in the bilingual brain. *Neuron*, 37(1), 159-170.
- 118) Yu, B., Wang, X., Ma, L., Li, L., & Li, H. (2015). The complex pre-execution stage of auditory cognitive control: ERPs evidence from Stroop tasks. *PLoS ONE*, 10(9), 1-22.
- 119) Zatorre, R. J., Fields, R. D., & Johansen-Berg, H. (2012). Plasticity in grey and white: neuroimaging changes in brain structure during learning. *Nature Neuroscience*, 15(4), 528-536.
- 120) Zou, L., Ding, G., Abutalebi, J., Shu, H., & Peng, D. (2012). Research report: Structural plasticity of the left caudate in bimodal bilinguals. *Cortex*, 48(9), 1197-1206.

15 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 3 Instrukce experimentu

Obrázek 4 Nefunkční elektrody F3, T8 a FC3

Obrázek 3 Výpadky referenčních elektrod

Obrázek 4 Mechanické artefakty elektrod

Obrázek 5 Síťové napětí 50 Hz

Obrázek 6 Pohybový artefakt

Obrázek 7 Srdeční artefakty

Obrázek 8 Srdeční artefakty na elektrodách P4, CP6, T8, C6, TP8 a P6

Obrázek 9 Pulsový artefakt AF4

Obrázek 10 Zobrazení skalpu s FDR korekcí u plného počtu monolingvní skupiny

Obrázek 11 Zobrazení skalpu s FDR korekcí z jedné skupiny naměřených bilingvních a monolingvních probandů

Tabulka 1 Přehled prezentovaných eventů

Tabulka 2 Experimentální skupina

Tabulka 3 Kontrolní skupina

Tabulka 4 Testování hypotézy 2

Tabulka 5 Testování hypotézy 3

Tabulka 6 Testování hypotézy 4

Tabulka 7 Testování hypotézy 5

Tabulka 8 Testování hypotézy 5

Tabulka 9 Testování hypotézy

Graf 1 Elektroda FC5

Graf 2 Elektroda FC3

Graf 3 Elektroda CP5

Graf 4 Elektroda C5

Graf 5 Elektroda Fz

Graf 6 Elektroda Cz

Graf 7 Elektroda TP7

Graf 8 Elektroda P7

Graf 9 Normalita rozdělení vzorku

Graf 10 Meziskupinový rozdíl v chybovosti

Graf 11 Rozdíl v chybovosti u eventu 2

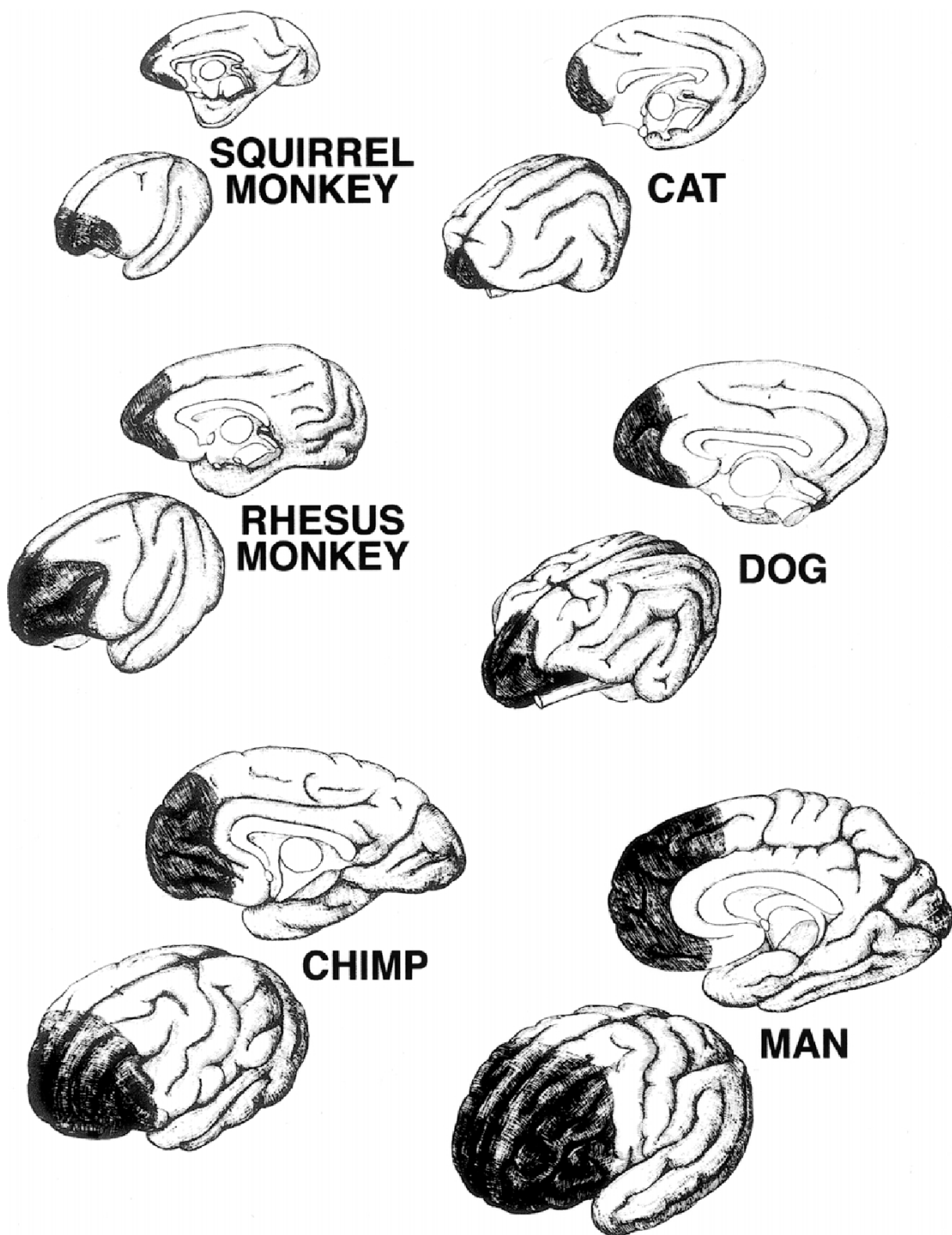
Graf 12 Rozdíl v chybovosti u eventu 4

Graf 13 Průměrná chybovost u jednotlivých eventů

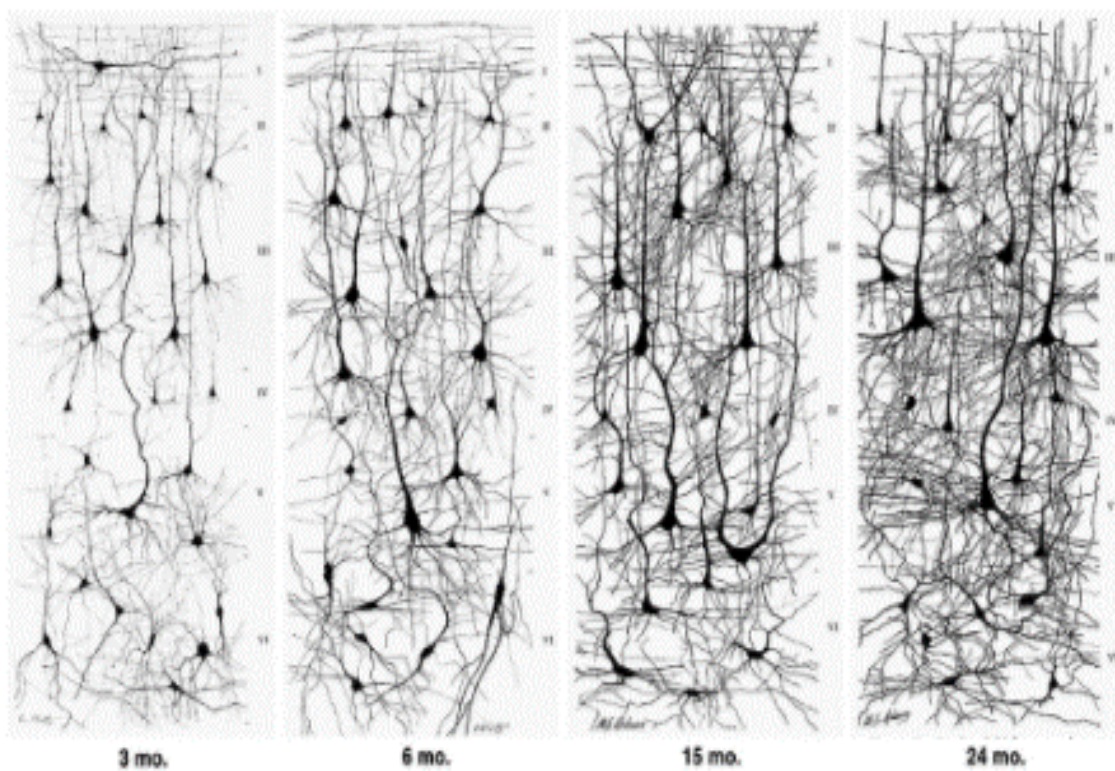
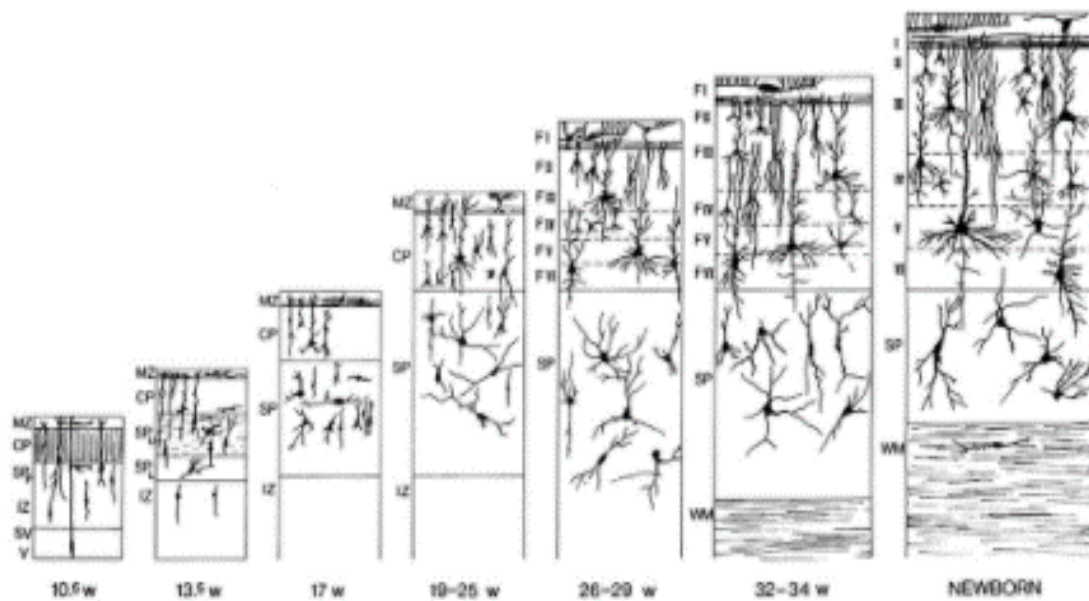
Graf 14 Průměrná chybovost u jednotlivých eventů

Graf 15 Průměrný reakční čas

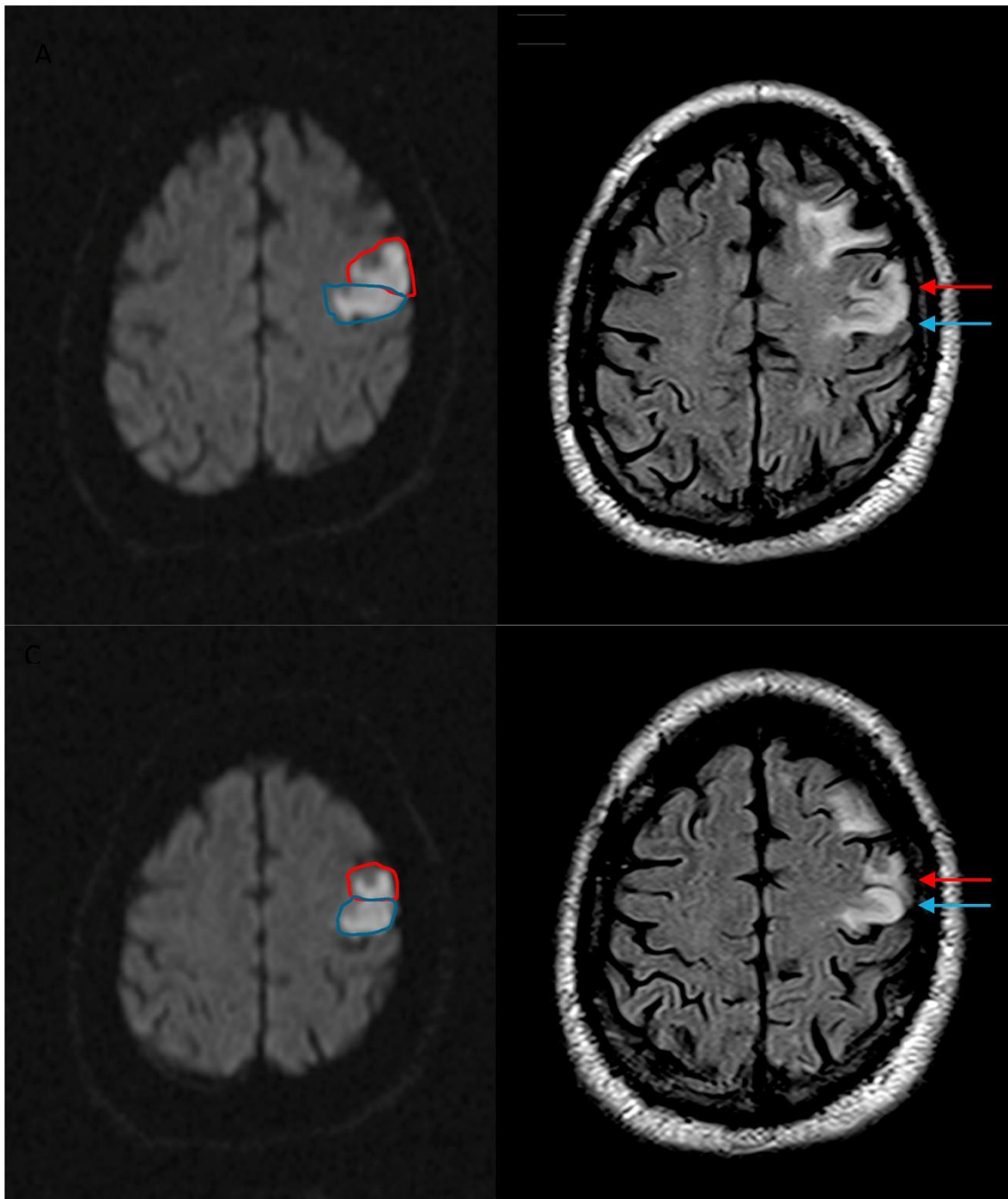
16 PŘÍLOHY



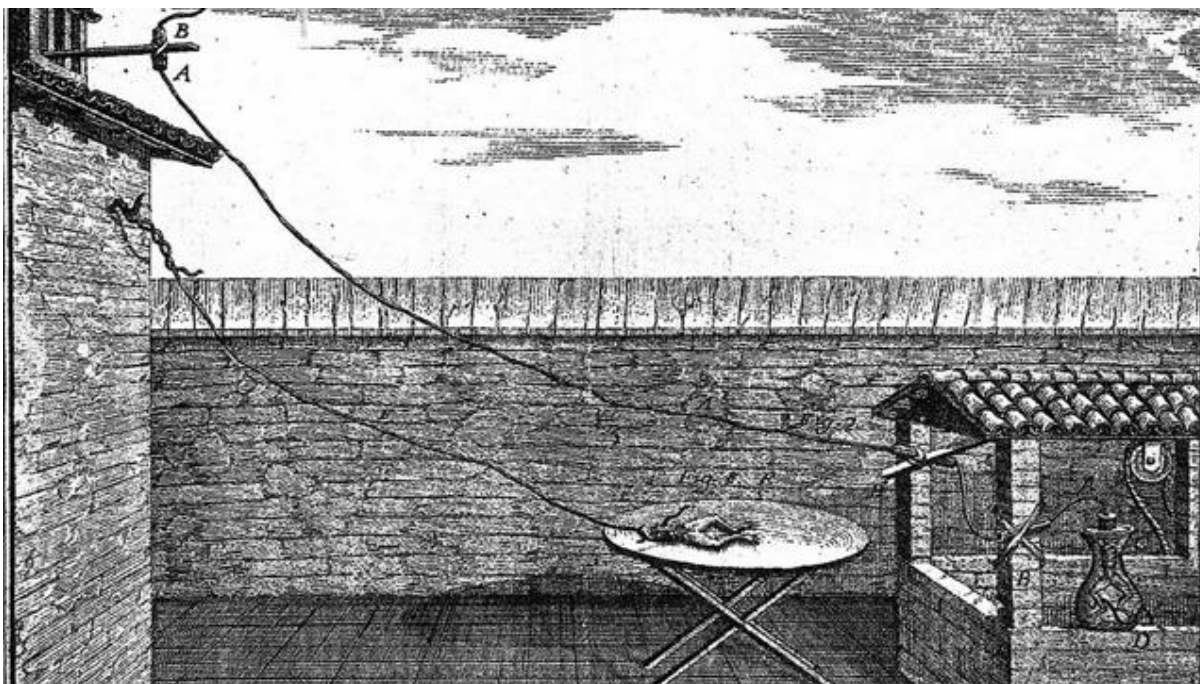
*Příloha 1 Vývoj frontálních laloků, diferenciální studie
(Fuster, 2015)*



Příloha 2 Vývoj neuronálního rozestavení lidského prefrontálního kortexu, prenatální období od 10,5 týdne do narození a 3., 6., 15. a 24 měsíc po narození (Fuster, 2015)

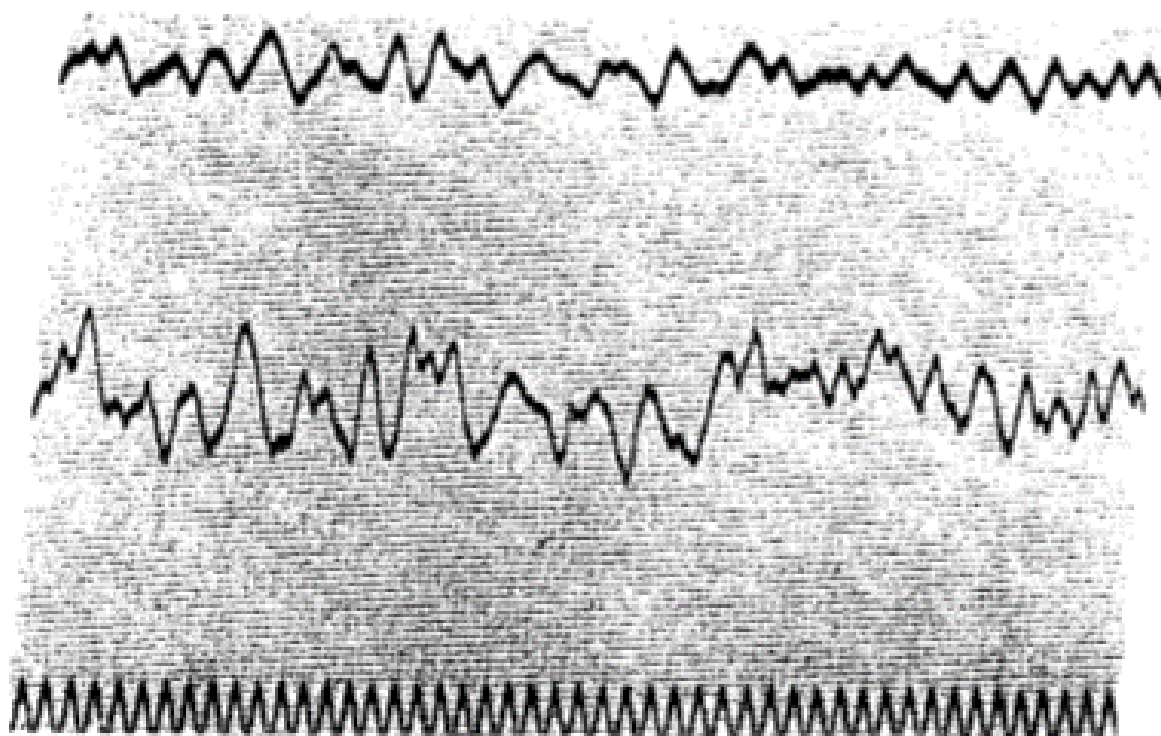


Příloha 3 MRI poškození premotorické a motorické kůry frontálního laloku po akutní mrtvici (Patira et al., 2017)



Příloha 4 Galvaniho experiment

<http://www.the-scientist.com/?articles.view/articleNo/31078/title/Animal-Electricity--circa-1781/>

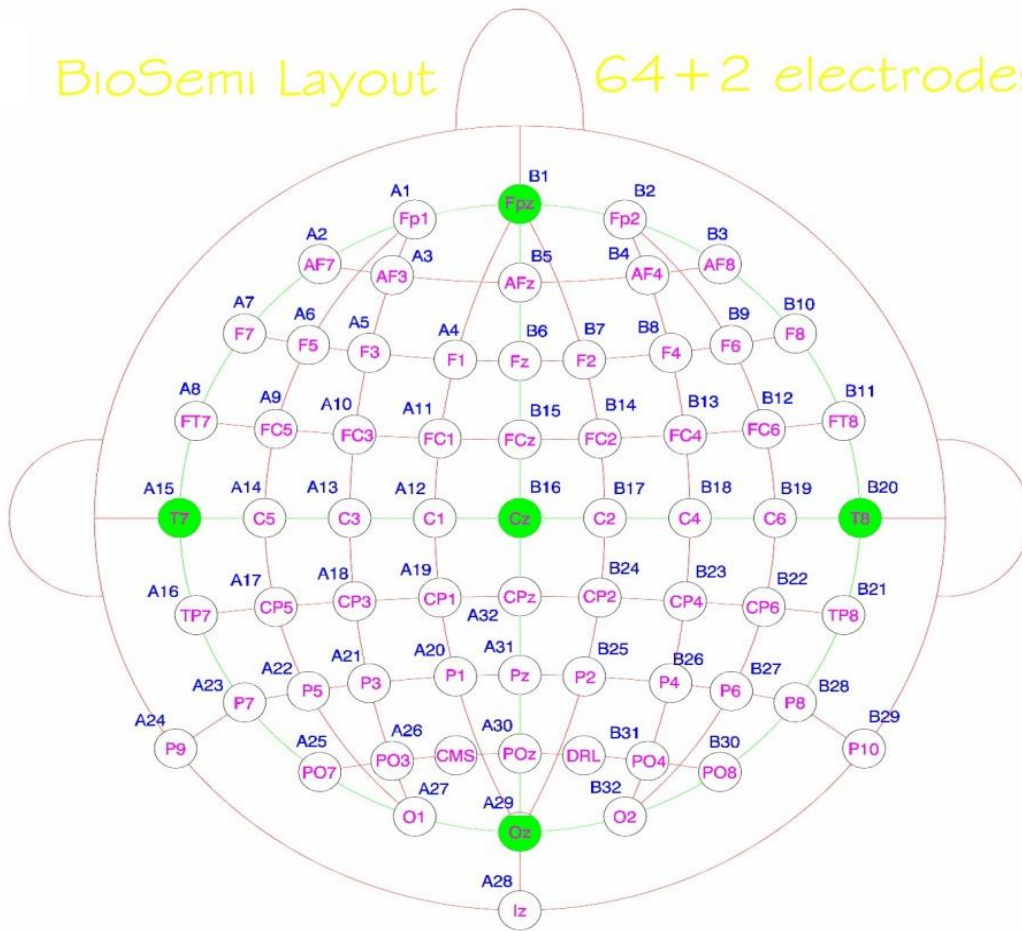


Příloha 5 Bergerovo EEG měření

(Gloor, 1969, in Collura, 1993, pp. 484)

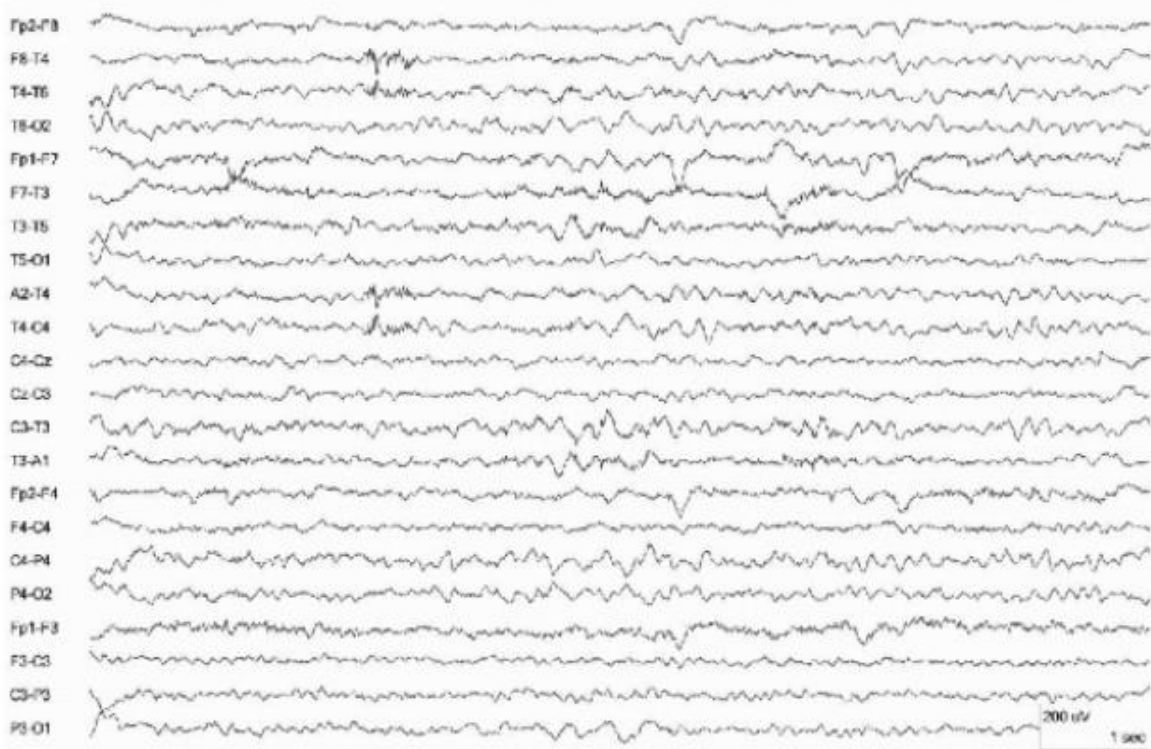
BioSemi Layout

64+2 electrodes

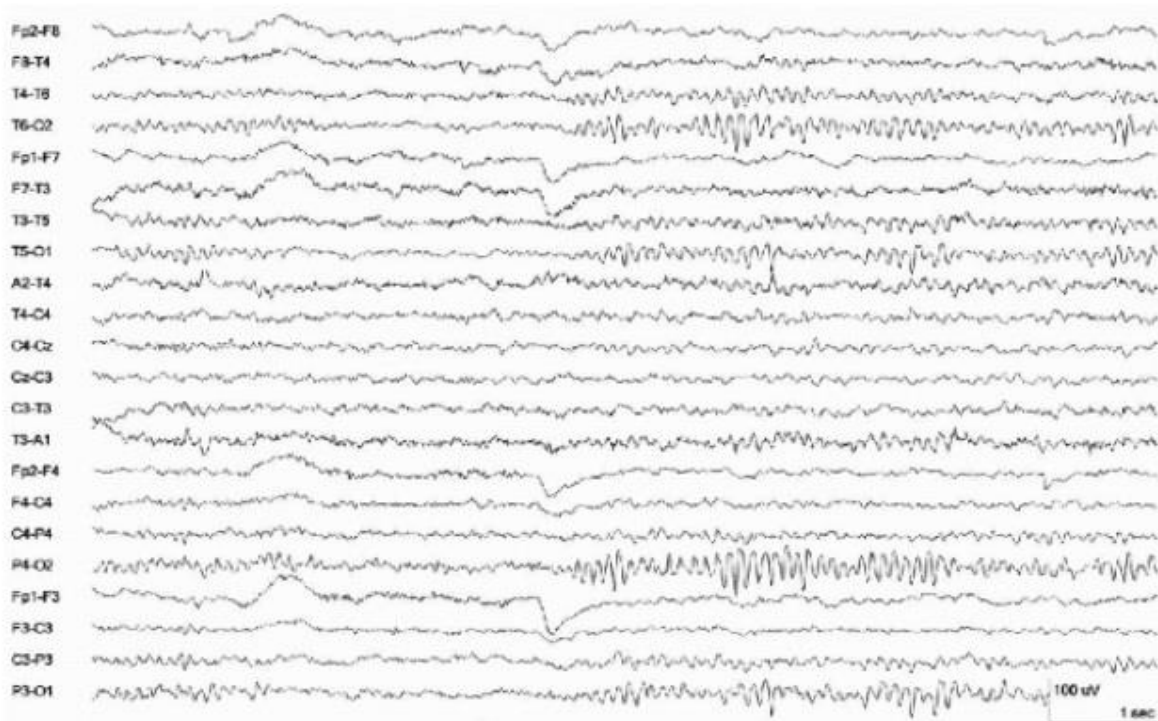


Příloha 6 64-kanálové EEG

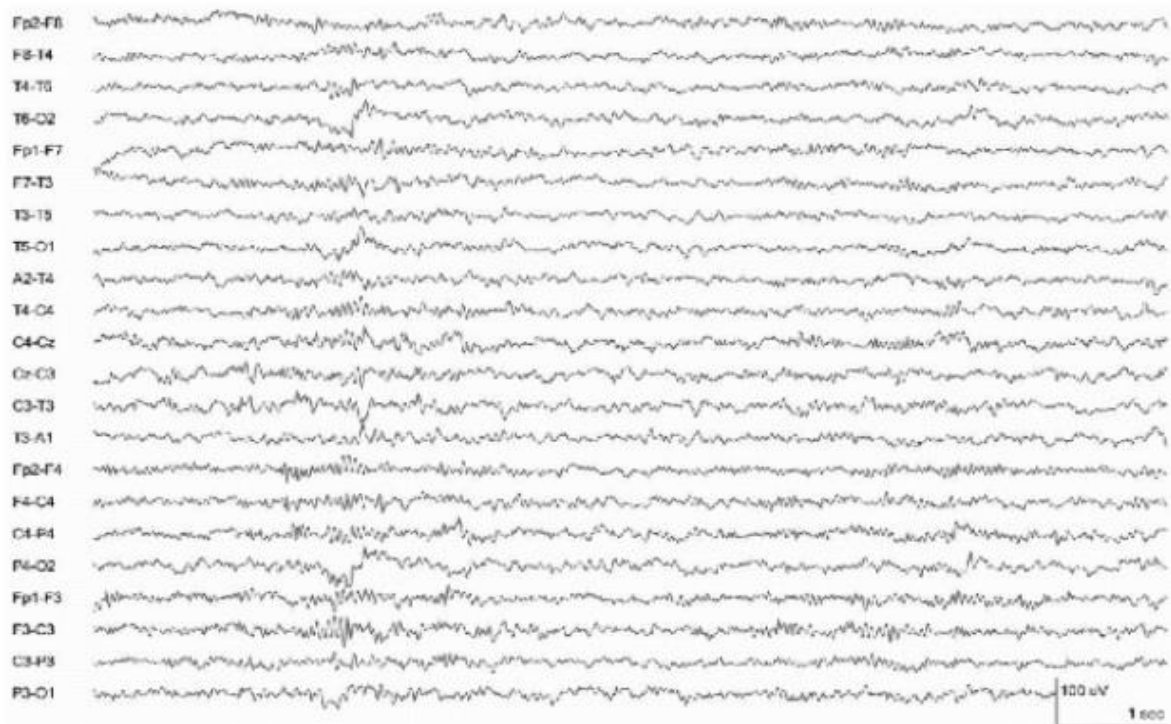
(Keren, Yuval-Greenberg, & Deouell)



Příloha 7 Delta aktivita, náleží jednoročnímu dítěti (Stern, & Engle, 2005)



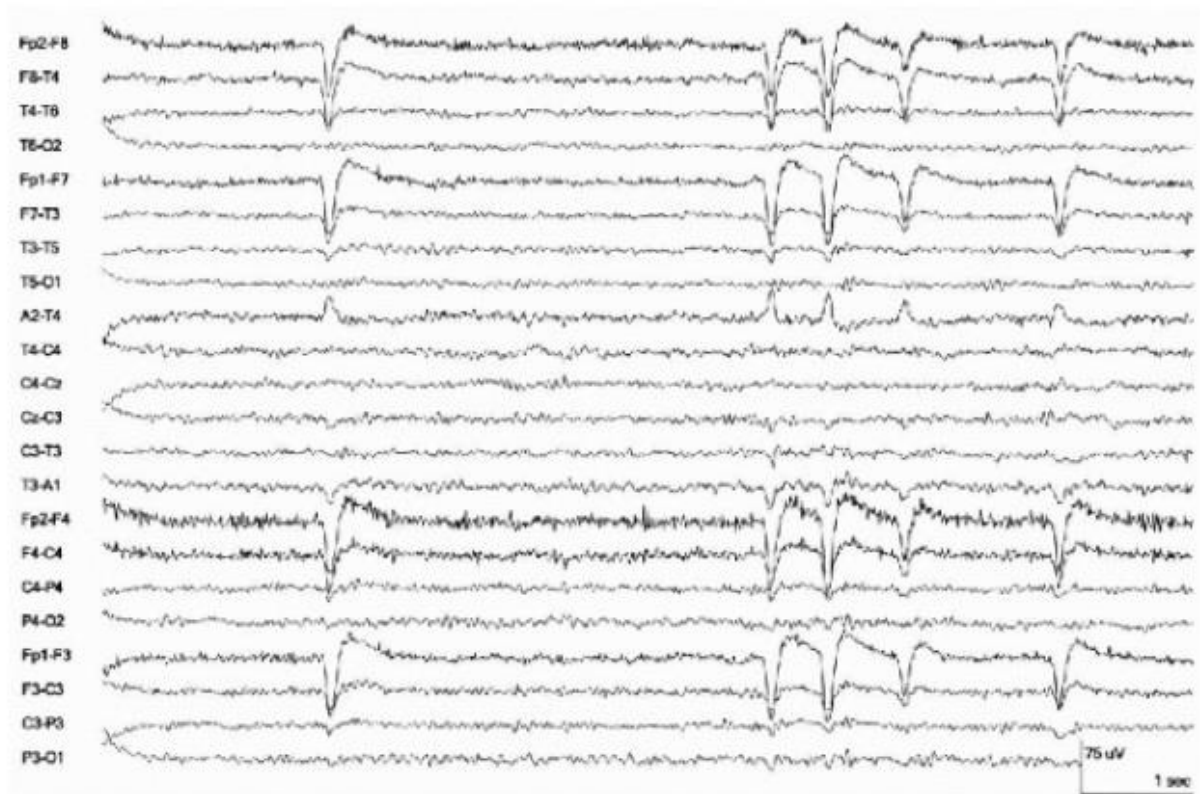
Příloha 8 Normální alfa rytmus (Stern, & Engle, 2005)



Příloha 9 Frontocentrální beta aktivita, přítomna i theta aktivita (Stern, & Engel, 2005)



Příloha 10 Srdeční artefakty (Stern, & Engel, 2005, pp.59)



Příloha 11 Oční artefakty, aktivita mrkání bývá výraznější než aktivita okolní (Stern, & Engel, 2005)



Měřicí protokol EEG studie

NEUROLAB, Neuropsychologická laboratoř KPE JU

Typ studie: EEG 32 kanálů EEG 64 kanálů Behaviorální Eye-tracker

Název studie: _____ ID: _____ EEG čepice: S / M / L

Vyplňuje participant výzkumu

Datum měření: _____ Věk: _____ Hodin spánku: _____

Pohlaví: muž žena Korekce zraku: _____ Pravák / levák: _____

Souhlasím s dobrovolnou účastí na této studii bez nároku na odměnu. Máte právo kdykoli bez udání důvodu svou účast na studii ukončit. Vaše osobní údaje slouží pouze pro zpracování dat ve studii. Tato data neposkytujeme dalším stranám a vaše záznamy jsou anonymní.

Datum: _____ Podpis: _____

Požaduji zaslat výsledky studie:

Pokud chcete zaslat výsledky studie, vyplňte svou emailovou adresu.

E-mail: _____

Vyplňuje experimentátor

Měření provedl/a: _____ Název souboru BDF: _____

Kvalita signálu: _____ Elektrody k vyloučení: _____
Největší hodnota odporu

Poznámky:

Uveďte jakékoli odchylky od standardního protokolu experimentální metody.



neuropsychologický výzkum

VIETNAMSKO-ČESKY BILINGVNÍCH



Hledáme vietnamsko-česky bilingvní dobrovolníky ve věku mezi 18 a 30 lety, kteří by rádi pomohli s novým neuropsychologickým výzkumem probíhajícím na Katedře psychologie Jihočeské Univerzity!

Pro veškeré informace se obraťte na

simkova.katerina@volny.cz

Příloha 13 Flyer pro bilingvní experiment