

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu
Katedra fyzioterapie

**Hodnocení zdrojové aktivity mozku pomocí sLORETA
zobrazení v průběhu modulované a fyzické aktivity**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

MUDr. David Pánek, Ph.D.

Vypracovala:

Bc. Johana Košťálová

Praha, 2017

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci na téma „Hodnocení zdrojové aktivity mozku pomocí sLORETA zobrazení v průběhu modulované a fyzické aktivity“ zpracovala samostatně pod vedením Mudr. Davida Pánka, Ph.D. a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....

Bc. Johana Košťálová

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:

Fakulta / katedra:

Datum vypůjčení:

Podpis:

Poděkování

Chtěla bych upřímně poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu Mudr. Davidu Pánkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, vstřícnost a trpělivost. Zároveň děkuji všem probandům, bez kterých by tato práce nemohla vzniknout. V neposlední řadě směřuji své poděkování k rodině, zejména pak k mé sestře, které děkuji za vyjádřenou podporu a pochopení.

Abstrakt

Název: Hodnocení zdrojové aktivity mozku pomocí sLORETA zobrazení v průběhu modulované a fyzické aktivity.

Cíle: Cílem práce bylo porovnat změny elektrické aktivity korových i hlubokých mozkových struktur pomocí sLORETA programu mezi klidovým stavem, aktivním pohybem a pasivním pozorováním totožného pohybu prováděného řešitelem práce a zobrazeného ve videu.

Metody: Výzkumu se zúčastnilo 12 vysokoškoláků (8 žen, 4 muži) ve věkovém rozmezí 23 až 25 let. Celý experiment se skládal z 5 částí: 1. klidové EEG vyšetření s otevřenými očima, 2. sledování videa, kde vybraný pohyb prováděla žena, 3. sledování videa, kde tento pohyb prováděl muž, 4. pozorování řešitele práce vykonávajícího stejný pohyb, 5. provedení totožného pohybu samotným probandem. Každá tato část trvala dvě minuty. Mezi jednotlivými částmi byla vždy dvouminutová pauza. Testovaným pohybem byla 1. diagonála (flekční i extenční vzorec) metody PNF pro PHK. V průběhu celého experimentu byla registrována elektrická aktivita mozku pomocí skalpového EEG. Získaný EEG signál byl následně převeden do sLORETA programu, který umožnil zobrazení výsledků v 3D Talairachově systému a současné statistické vyhodnocení za pomoci Studentova t-testu. Porovnávána byla získaná data během aktivního pohybu oproti počáteční klidové aktivitě EEG s otevřenými očima. Dále pak získaná data během provádění aktivního pohybu oproti pozorování stejného pohybu prováděného řešitelem práce. Na závěr došlo k porovnávání dat získaných během pozorování videa s ženou provádějící pohyb oproti pozorování videa s mužem provádějícím stejný pohyb.

Výsledky: Výsledky prokázaly statisticky signifikantní diferenci v aktivaci mozkových oblastí mezi EEG aktivitou v průběhu provádění pohybu a klidovou EEG aktivitou na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$ ve frekvenčním pásmu alfa-1, beta-3 a theta. Mezi aktivním pohybem a pozorováním stejného pohybu nedošlo ke statisticky signifikantní aktivaci mozkových oblastí. Stejně tak při pozorování videa se ženou a mužem provádějícími námi zvolený pohyb nebyla nalezena žádná statisticky významná diference.

Klíčová slova: EEG, frekvenční pásma, sLORETA, zrcadlové neurony, Brodmannovy arey

Abstract

Title: Brain activity assessment using sLORETA during modulated and physical activity.

Objectives: The aim of this thesis was to compare changes in the electrical activity of cortical and deep brain structures using sLORETA program between the resting state, active movement and passive observation of identical motion performed by the author of this thesis and the same one shown in the video.

Methods: In this research participated 12 university students (8 women, 4 men). Age of subjects was between 23 and 25 years. The whole experiment consisted of five parts: 1. electroencephalography in supinated lying position with opened eyes, 2. watching a video, where the selected movement was performed by a woman, 3. watching a video, where this movement was performed by a man, 4. watching the author performing the same movement, 5. performing this movement by subjects themselves. Each of this parts lasted two minutes. The tested movement was 1. diagonal (flexion and extension pattern) of PNF method for right upper extremity. During the whole experiment was registered electric activity of the brain using a scalp EEG. Obtained EEG signal was afterwards exported to sLORETA program, which enabled us to see the collected data in 3D Talairach system and also to make a statistical assessment using a Student's t-test. We compared data from active movement with data from EEG in lying position. Then there were compared data from active movement with data from observing the same movement performed by the author of this thesis. Finally we compared data collected from watching a video, where the movement is performed by a woman, with a video, where the same movement is performed by a man.

Results: The results showed statistically significant difference in activation brain areas between the EEG activity during the movement performing and resting EEG activity before movement to the level of statistical significance of $p \leq 0.01$ at the frequency zone alpha-1, beta-3 and theta. Between the active movement and observing the same movement there was no statistically significant activation of brain areas. Similarly, there was no statistically significant difference during observing a video with woman and man carrying out a chosen movement.

Keywords: EEG, frequency zones, sLORETA, mirror neurons, Brodmann's areas

Obsah

1 ÚVOD	9
2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA	10
2.1 Neurofyziologie řízení pohybu.....	10
2.1.1 Mozková kůra	10
2.1.1.1 Motorické korové oblasti.....	14
2.1.1.1.1 Primární motorická korová oblast	15
2.1.1.1.2 Premotorická korová oblast	15
2.1.1.1.3 Frontální okohybné pole	16
2.1.1.1.4 Brocovo motorické centrum řeči.....	16
2.1.1.1.5 Doplnková korová motorická oblast.....	17
2.1.2 Základní druhy neuronů	18
2.2 Zrcadlové neurony	19
2.2.1 Objev zrcadlových neuronů.....	19
2.2.2 Zrcadlové neurony u opic.....	19
2.2.3 Zrcadlové neurony u lidí	21
2.2.4 Systém a lokalizace zrcadlových neuronů.....	21
2.2.5 Funkce zrcadlových neuronů u lidí.....	23
2.2.5.1 Role zrcadlových neuronů v problematice imitace (napodobování).....	24
2.2.5.2 Role zrcadlových neuronů v problematice emocí.....	25
2.2.6 Patofyziologie poruch zrcadlového systému	26
2.2.7 Využití zrcadlových neuronů v rehabilitaci	28
2.2.7.1 Léčba fantomových bolestí.....	28
2.2.7.2 Rehabilitace pacientů po cévní mozkové příhodě.....	29
2.2.7.3 Aplikace ve sportovní rehabilitaci	31
2.2.8 Zobrazovací metody aktivity zrcadlových neuronů.....	32
2.2.8.1 Zobrazení LORETA	33
3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE, HYPOTÉZY	35
3.1 Cíle práce	35
3.2 Úkoly práce	35
3.3 Výzkumné otázky	35
3.4 Hypotézy	36

4 METODIKA PRÁCE	37
4.1 Charakteristika výzkumného souboru	37
4.2 Sběr dat	37
4.2.1 Teoretická část	37
4.2.2 Experimentální část.....	37
4.3 Průběh měření.....	38
4.4 Analýza a zpracování dat	40
4.5 Statistické vyhodnocení dat.....	41
5 VÝSLEDKY	42
5.1 Rozdíl mezi aktivním pohybem a PRE OE.....	42
5.1.1 Souhrnné výsledky aktivního pohybu ke klidovému EEG s otevřenými očima	45
5.2 Rozdíl mezi aktivním provedením pohybu a pozorováním pohybu.....	46
5.3 Rozdíl mezi pozorováním videa s ženou provádějící pohyb a videa s mužem provádějícím stejný pohyb	46
6 DISKUZE	47
6.1 Diskuze k hypotéze č. 1	47
6.2 Diskuze k hypotéze č. 2	51
6.3 Diskuze k hypotéze č. 3	52
7 ZÁVĚR	54
8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
9 PŘÍLOHY	65

1 ÚVOD

Předložená diplomová práce se zabývá problematikou zrcadlových neuronů. Objev zrcadlových neuronů je považován za jeden z nejzásadnějších na poli neurofyziologie za posledních několik desítek let. Od té doby vzniklo nespočet studií a lze tuto oblast označit za velmi rychle se rozvíjející. Díky přesahu do jiných vědních oborů, například psychologie, jsou zrcadlové neurony zkoumány z hlediska pestré škály nejrůznějších funkcí. Na základě výsledků studií byly objasněny nejrůznější otázky, na které vědci po dlouhou dobu neznali odpověď.

Tradiční představa o tom, jak probíhá tvorba nových pohybových vzorců nebo výměna informací mezi různými lidmi, je koncipována hlavně na bázi verbálního a vědomého přenosu. Dlouhou dobu neexistovala teorie, která by z neurofyziologického nebo neuropsychologického hlediska dokázala vysvětlit, jak jsme schopni porozumět chování cizích lidí, chápat záměry druhých nebo jak jsme schopni od brzkého novorozeneckého věku napodobovat chování našeho okolí neverbálním a nevědomým přenosem. Díky objevu zrcadlových neuronů a „zrcadlení“ pozorovaného pohybového chování nebo činů jsme schopni vnitřně utvářet podobné procesy stejných úkonů. Tyto neurony nám umožňují v komplexním měřítku vyhodnocovat pozorované situace a následně vnitřně vykazovat svou individuální míru porozumění.

Dá se tedy říci, že zrcadlové neurony tvoří velkou část toho, co nás činí lidmi. Díky jejich studiu jsme nyní schopni lépe pochopit některé procesy probíhající v lidském mozku. Zrcadlové neurony hrají důležitou roli v napodobování, v získávání jazykových dovedností, ve schopnosti učit se, ve vnímání emočních stavů druhých, v uvědomění si sebe samotných i druhých lidí nebo také v abstrakci.

Cílem této práce je za pomoci sLORETA programu posoudit možné signifikantní difference v aktivaci mozkových oblastí mezi pozorováním pohybu a prováděním stejného pohybu. Stejně tak i možné signifikantní difference v aktivaci mozkových oblastí při pohybu oproti klidové poloze.

Je důležité si uvědomit, že problematika zrcadlových neuronů je značně proměnlivá v souvislosti s neustálým objevováním nových poznatků. Tato práce nastiňuje čtenářům problematiku zrcadlových neuronů s ohledem na nové výzkumy a odráží tak i důležitost znalosti jejich fungování v praxi fyzioterapeuta.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA

2.1 Neurofyzologie řízení pohybu

Pohyb je základním kritériem života živých organismů (Janda, 1982). Na řízení pohybu se podílejí prakticky všechny oddíly centrálního nervového systému (dále jen CNS). Principem tohoto řízení je přenos informací z centra na řízený orgán (Amblér, 2006). Účelně orientovaný pohyb můžeme tak pokládat za výsledek řídicí funkce CNS, která ovládá mechanickou sílu vzniklou ve svalech k dosažení námi zvoleného cíle (Véle, 2006). Z pohledu funkční kineziologie je sval jakýmsi zrcadlem CNS. V konečné podobě se nervové vlivy z CNS uplatňují při svalové kontrakci prostřednictvím motorických neuronů (Kolář et al., 2009). Proces řízení pohybu je uskutečňován na třech úrovních. Na úrovni spinální, subkortikální a kortikální. Kortikální úroveň řízení je nejvyšším řídicím a integračním stupněm. Generuje ideomotorickou, jemnou motoriku, bez níž by nebyl možný úmyslný pohyb. Mozková kůra je tedy hlavní organizátor a výkonný orgán motorické funkce. V mozkové kůře bylo popsáno až 60 druhů neuronů (Véle, 2006). Druhům neuronů je věnovaná samostatná kapitola 2.1.2.

2.1.1 Mozková kůra

Mozková kůra, jak už bylo řečeno, je nejvyšším integračním centrem, kde dochází ke zpracování všech informací. Z vývojového hlediska ji můžeme rozdělit na starší allocortex a vývojově mladší neocortex. Allocortex je mnohem jednodušší a patří mezi něj paleocortex (nazývaný též čichový mozek) a archicortex (jinak též limbický mozek), který je funkčně zapojen do okruhů limbického systému (Naňka, Elišková, 2009). Vývojově nejmladší neocortex je typický svou šestivrstvou stavbou a jeho buňky lze rozdělit na pět typů. Rozeznáváme buňky pyramidové, hvězdicové, granulární, fuziformní (vřetenovité), horizontální a Martinottiho buňky (Myslivoček, 2009).

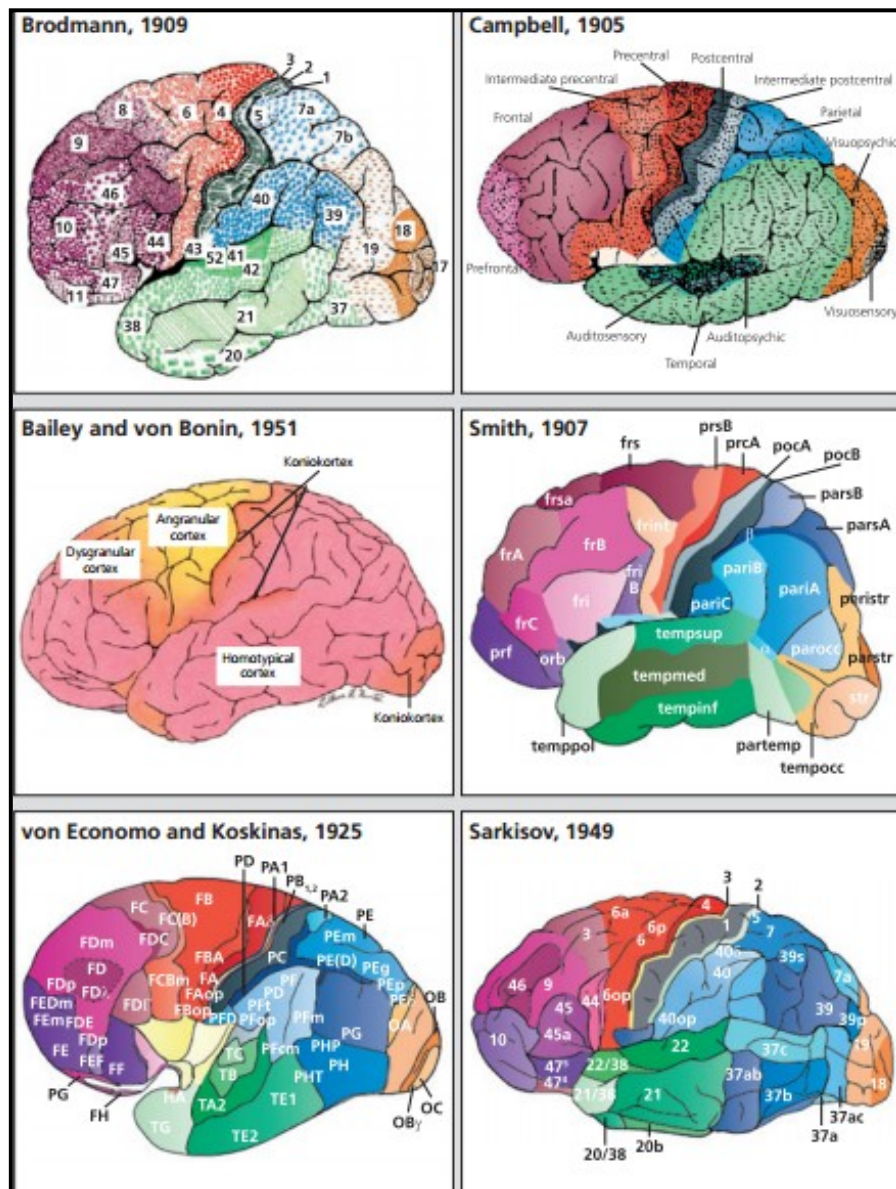
Podrobným studiem jednotlivých korových oblastí vyčlenil kůru v roce 1909 německý anatom Korbinian Brodmann podle množství, druhu, velikosti a vzájemného uspořádání buněk na 11 oblastí (regio) a 52 polí (areí). Toto rozdělení se nazývá cytoarchitektonická mapa (Naňka, Elišková, 2009). Všech jedenáct oblastí a polí je zaznamenáno v tabulce níže.

Tabulka č. 1: Arey dle Brodmanna

Zdroj: Mysliveček, 2009, str. 81

Regio	Areae	Funkce
Postcentralis	1, 2, 3, 43, 2s	Somatosenzorická, chuťová
Praecentralis	4, 6, 4s	Motorická
Frontalis	8,9,10,11,44, 45,46, 47, 8s	Asociační volní úkony
Insularis	13, 14, 15, 16	Integrační
Temporalis	20,21, 22,36, 37,38, 41,42, 52	Sluchová
Parietalis	5, 7, 39, 40	Asociační somestetická
Occipitalis	17, 18, 19, 19s	Zraková
Cingularis	23, 24, 31, 32, 33	Mimovolní, součást limbického systému
Retrospleniali	26, 29, 30	Mimovolní, součást limbického systému
Hippocampica	27, 28, 34, 35, 48, 51	Čich (34), mimovolní, paměť
Olfactoria	Area olfactoria trigonum olfactorium	Čichová

Cytoarchitektonická mapa mám dává představu o základní orientaci různých oblastí v mozkové kůře. Tuto mapu Brodmann vytvořil na základě rozdílných typů buněk v histologických řezech a na rozdílech v mikroskopické stavbě. Hranice mezi jednotlivými oblastmi jsou však velmi těžko určitelné. Roli zde hraje individualita jedinců. U každého člověka je rozsah korových oblastí pravé a levé hemisféry odlišný, tuto individuální rozlišnost kůry lze přirovnat k lidským otiskům prstů. Kromě známé Brodmannovy cytoarchitektonické mapy existují i další mapy (Obrázek č. 1) jiných autorů, které jsou mnohdy značně složitější. Možná i to je důvodem, proč Brodmannova mapa zůstává stále tou nejrozšířenější (Koukolík, 2012).



Obrázek č. 1: Cytoarchitektonické mapy mozkové kůry jednotlivých autorů
Zdroj: Koukolík, 2012, str.16

Jednotlivé korové oblasti jsou specifické svou funkcí (Obrázek č. 2). Rozdíly ve stavbě souvisí i s funkčním zapojením těchto oblastí, hovoříme tak o tzv. funkčních korových oblastech. (Naňka, Elišková, 2009). Z funkčního pohledu je nejvýhodnější dělení mozkové kůry na následující čtyři oddíly:

1. Primární projekční oblasti - do těchto oblastí řadíme somestetické, sluchové, chuťové, čichové, zrakové a vestibulární projekční oblasti (Myslivoček, 2009).

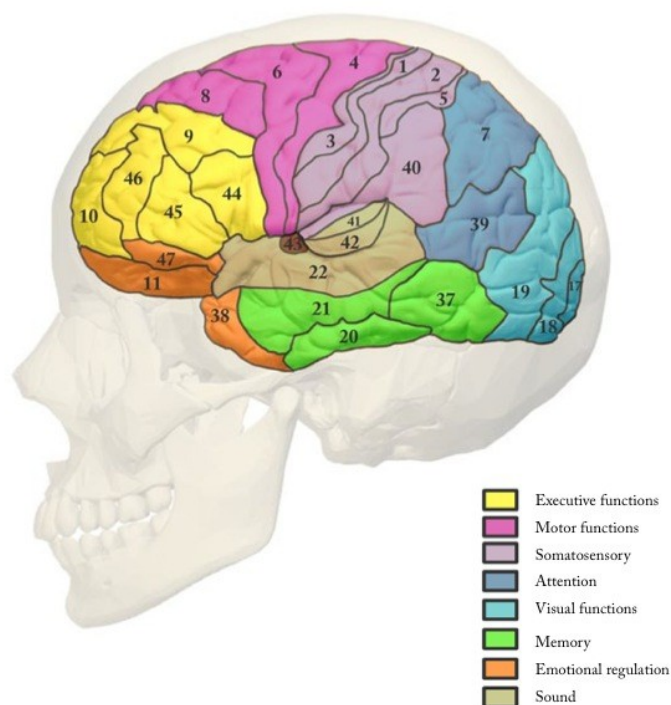
2. Asociační oblasti - tyto oblasti jsou určitou spojkou, jelikož integrují, asociují a přepojují aferentaci získanou z projekčních oblastí do efektorových oblastí. Asociační oblasti vytváří asociační systém, který je schopen nejvyšších a nejsložitějších funkcí CNS. Tyto asociační oblasti jsou vzájemně propojeny s korovými a podkorovými centry. Například kůra frontálního laloku je spojena s retikulární formací, limbickým systémem a thalamem. Celý tento systém lze ještě dále rozdělit na motorický asociační systém a senzorický asociační systém. Další variantou je dělení asociačních oblastí na oblasti parasenzorické, paralimbické a prefrontální (Myslivoček, 2009).

3. Efektorové oblasti - řadíme sem motorické, autonomní a supresorické efektorové oblasti. Supresorické oblasti (2s, 4s, 8s, 19s) jsou popisovány jako části primárně motorických nebo senzorických oblastí, které tvoří začátek descendentního inhibičního systému retikulární formace (Myslivoček, 2009).

4. Korové oblasti s komplexní funkcí - tato skupina se vyčleňuje zvlášť a obecně sem patří oblasti, které svou funkcí nelze zařadit mezi plně asociační či efektorové, ani jejich funkce není pouhým součtem obou zmíněných. Řadí se sem prefrontální kůra a korové lokalizace řeči. Obecně tyto oblasti obsahující jak projekční, asociační, tak i výkonovou část, tvořící jeden funkční celek. Do korových lokalizací řeči patří Brocovo řečové motorické centrum a Wernickeho senzorické centrum řeči (Myslivoček, 2009).

Pro vznik účelového pohybu je však zásadní činnost jednotlivých motorických oblastí. Této problematice je věnována následující kapitola.

Brodmann Cortical Areas



Obrázek č. 2: Brodmannovy kortikální arey (barevně jsou označeny hlavní funkce)

Zdroj: Cortical Functions: Reference, 2012

2.1.1.1 Motorické korové oblasti

Motorickou kůru může nalézt v rozsáhlých oblastech frontálního laloku. Funkční motorické oblasti kontrolují motorické funkce a řadíme mezi ně primární motorickou korovou oblast, premotorickou korovou oblast a frontální okohybné pole. Dále se k těmto oblastem přiřazuje Brocovo motorické centrum řeči a doplňková korová motorická oblast. Pohyb lze však vyvolat i drážděním jiných areí mozkové kůry, jako například areí 1, 2, 3, 5 nebo 22. Tyto oblasti nepatří mezi motorické oblasti v pravém slova smyslu, neboť pohybové reakce vznikají v důsledku přenosu informací asociačními vlákny. Jedná se tedy spíše o motorický asociační systém (Trojan et al., 2005).

2.1.1.1.1 Primární motorická korová oblast

Primární motorická oblast (M1) se kryje s Brodmannovou areou 4. Nachází se v gyrus precentralis na přední ploše sulcus centralis. Jedná se o agranulózní část kůry s převahou pyramidových buněk. Z Becových buněk v páté vrstvě kůry vychází vlastní pyramidová dráha. Area 4 je zdrojem až 30 % vláken pyramidové dráhy. Drážděním této oblasti lze vyvolat svalové kontrakce na druhostranné polovině těla. Korovou topografickou reprezentaci jednotlivých motorických okrsků reprezentuje motorický homunkulus. Nejhojněji jsou zde zastoupeny neurony řídící svaly ruky a obličeje, jelikož svaly vykonávající jemné a specializované pohyby jsou reprezentovány většími korovými okrsky než například svaly dolních končetin (Dylevský, 2009).

Aferentace je přiváděna především z thalamu, M1 je tedy prostřednictvím thalamických jader pod vlivem kontralaterálních mozečkových jader. Eferentace míří do podkorových struktur, konkrétně do striata, thalamu, retikulární formace, motorických jader hlavových nervů a do míchy. Při provádění určitého pohybu se regionální průtok v M1 zvyšuje, při pouhé představě však nikoliv. Poškození této oblasti vede k chabé obrně, s převahou postižení končetin (Trojan et al., 2005).

Z funkčního hlediska je M1 zapojena do motorických, somatosenzorických a dalších procesů. Její motorické funkce jsou zapojeny převážně do procesu kontralaterálních pohybů horních a dolních končetin, obličejové mimiky, polykání, motorické představitosti, motorického učení, volní kontroly dýchání nebo kontroly opakovaných rytmických úkonů. Somatosenzorická funkce zahrnuje vnímání pohybu končetin a propiocepci z prstů (Cortical Functions: Reference, 2012).

2.1.1.1.2 Premotorická korová oblast

Premotorická korová oblast (PM) se kryje s Brodmannovou areou 6. Můžeme jí najít na předním okraji gyrus praecentralis a je uložena před M1. Aferentaci zajišťují thalamická vlákna, silné korové projekce z arey 7 a projekce z asociačních zrakových oblastí (area 18, 19). Eferentní spoje jsou vedeny do retikulární formace a M1. Na rozdíl od M1 vydává velmi málo vláken do pyramidové dráhy. Regionální průtok PM se zvyšuje při změnách motorického pohybu (Trojan et al., 2005).

Z hlediska funkce je pro PM charakteristická rozmanitost. Tato pravděpodobně největší Brodmannova area se primárně uplatňuje především v přípravě a změně pohybu. Generuje hrubé a méně přesné pohyby, které mají často komplexní

synergistický charakter. PM je známá také svým úzkým vztahem k zrakových korových oblastem (Naňka, Elišková, 2009). Předpokládá se, že PM hraje důležitou roli v kontrole pohybů řízených zrakem (Trojan et al., 2005).

Funkce PM přesahuje i do oblasti řeči, kdy je aktivní při vnímání řeči, při vybavování slov nebo pojmenovávání objektů. Kromě řeči ovlivňuje i oblast paměti, kde se podílí na pracovní, epizodické a topografické paměti. K aktivaci PM dochází i při pozorování určité činnosti, zde je popisována významná souvislost se systémem zrcadlových neuronů. Aktivitu PM dále můžeme sledovat při rozpoznávání lidských hlasů, plánování a řešení problémů, počítání, deduktivním uvažování nebo při generování melodických frází (Cortical Functions: Reference, 2012).

Při poškození této oblasti dochází k poruchám proximálních svalů, nejčastěji jsou popisovány parézy ramenního a kyčelního svalstva. Poškození laterální PM vede k apraxii (Trojan et al., 2005).

2.1.1.1.3 Frontální okohybné pole

Frontální okohybné pole leží v zadní části gyrus frontalis medialis a kryje se s areou 8. Aferentace je vedena ze zrakových korových areí (17, 18, 19). Eferentní spoje vedou do retikulární formace a pretektální oblasti. Její hlavní funkcí je kontrola volných pohybů očí, na rozdíl od asociační zrakové kůry, která se podílí na kontrole mimovolných a konvergentních pohybů očí. Mezi další její funkce patří plánování exekutivních funkcí, aktivuje se při generování vět, pracovní paměti, topografické paměti, sekvenčním učení, počítání nebo v odpovědích na proprioceptivní stimulaci (Cortical Functions: Reference, 2012). Poškození se projeví deviací bulbů ke straně poškození (Synek, Skorkovská, 2014).

2.1.1.1.4 Brocovo motorické centrum řeči

Můžeme jej nalézt v zadní třetině gyrus frontalis inferior (area 44, 45) v dominantní hemisféře, u praváků leží vlevo, stejně tak i u většiny leváků (Naňka, Elišková, 2009).

Brocovo centrum se podílí na tvorbě a plynulosti řeči, kontroluje slovní skloňování, intonaci řeči, její emotivní zabarvení a podílí se i na generování melodií. Dále se obecně podílí na pracovní a epizodické dlouhodobé paměti a na deklarativním

paměťovém kódování. Z hlediska motoriky generuje motorické programy řeči, tzv. řídí činnost svalů souvisejících s řečí. Tato oblast je též popisována jako oblast systému zrcadlových neuronů zodpovědných za expresivní pohyb (Cortical Functions: Reference, 2012).

Při poškození hovoříme o motorické (jinak též expresivní) afázii. Je charakteristická nemožností vyjádřit své myšlenky, pacient si své postižení uvědomuje, řeči rozumí, je schopen ukázat na dotazovaný předmět, není však schopen ho pojmenovat. Při lehčím postižení můžeme sledovat zpomalení řeči a omezený počet slov. Při těžším postižení je jedinec schopen pouze opakování jednoduchých slabik nebo nemluví vůbec (Trojan et al., 2005).

2.1.1.1.5 Doplnková korová motorická oblast

Jedná se o suplementární motorickou oblast (SMA, M2). Tato oblast je uložena v gyrus frontalis (area 6). Stimulací vyvoláme převážně rotační, rytmické nebo izolované pohyby končetin. Poškození této oblasti se projeví na kontralaterálních končetinách zpomalením pohybů, dále často dochází též k poruchám iniciace řeči. Regionálně zvýšený průtok v této oblasti lze sledovat při pohybu, ale i v situacích, kdy si jedinec pohyb pouze představuje.

Rozdíly mezi SMA a PM spočívají v senzoryckém vedení a přípravě pohybu. SMA řídí pohyb závislý na vnitřním stavu jedince. PM spíše pohyb závislejší na změnách okolí (Trojan et al., 2005). SMA se podílí také na motorické představivosti nebo na zpracování řeči. Aktivní je též při odezírání nebo úsměvu (Cortical Functions: Reference, 2012).

V okolí SMA byly zřejměny další premotorické arey a to presuplementární motorická area (pre-SMA) a suplementární zrkové pole (SEF). Další premotorické oblasti byly nalezeny v kůře sulcus cinguli (area 23, 24), často též označovány jako cingulární motorické korové oblasti (Trojan et al., 2005). Ty se podílí na plánování a představivosti pohybu. Area 23 hraje roli v procesu porozumění řeči a při pozornosti na řečový projev. Area 24 se podílí na expresi řeči, pracovní paměti, aktivní je i v procesu vnímání bolesti (Cortical Functions: Reference, 2012).

2.1.2 Základní druhy neuronů

Neuron, jakožto základní funkční a stavební jednotku nervové soustavy, poprvé popsal J. E. Purkyně. Jedná se o vysoce specializovanou buňku, která prochází složitým vývojem a je pouhým okem neviditelná. Mezi základní funkční vlastnosti neuronu patří vzrušivost a vodivost (Naňka, Elišková, 2009).

V lidském těle můžeme najít nespočet nervových buněk, jejich celkový počet je odhadován zhruba na 10^{14} buněk, přičemž každá tato buňka je v kontaktu s více než 1000 až 10 000 dalšími (Trojan et al., 2003).

I přes možné funkční odlišnosti lze u všech nervových buněk popsat podobný stavební základ. Rozlišujeme buněčné tělo, zvané perikaryon, které obsahuje buněčné jádro, mitochondrie a další organely. Neuron je dále tvořen dendrity, což jsou vlákna dovádějící vzruchy do buněčného těla a axony, neboli neurity, které vystupují z těla neuronu a vedou vzruchy k jiným neuronům nebo orgánům, například ke svalům (Naňka, Elišková, 2009).

Specializace neuronů probíhá již za jejich vývoje. Můžeme tak nalézt neurony rozdílné funkce i vzhledu. Z funkčního hlediska je můžeme rozdělit na aferentní, eferentní a interneurony. Z morfologického hlediska rozeznáváme neurony multipolární, které mají více menších dendritů a jeden dlouhý axon a bipolární, které mají pouze jeden dlouhý dendrit a jeden axon. Bipolární neurony jsou svou stavbou charakteristické pro smyslové orgány. Kromě těchto dvou typů lze zmínit i neurony unipolární a pseudounipolární. Oba tyto typy řadíme mezi zvláštní varianty neuronů, kdy unipolární mají pouze jeden axon a žádné dendrity. U pseudounipolárních neuronů pozorujeme velmi těsné přiložení dendritu a axonu k sobě, v některých případech můžeme hovořit až o jejich úplném splynutí (Trojan et al., 2013). Obecně lze neurony ještě dělit na motorické, senzitivní, vegetativní a zrcadlové (Orel, 2015). Problematice zrcadlových neuronů je věnována samostatná kapitola.

2.2 Zrcadlové neurony

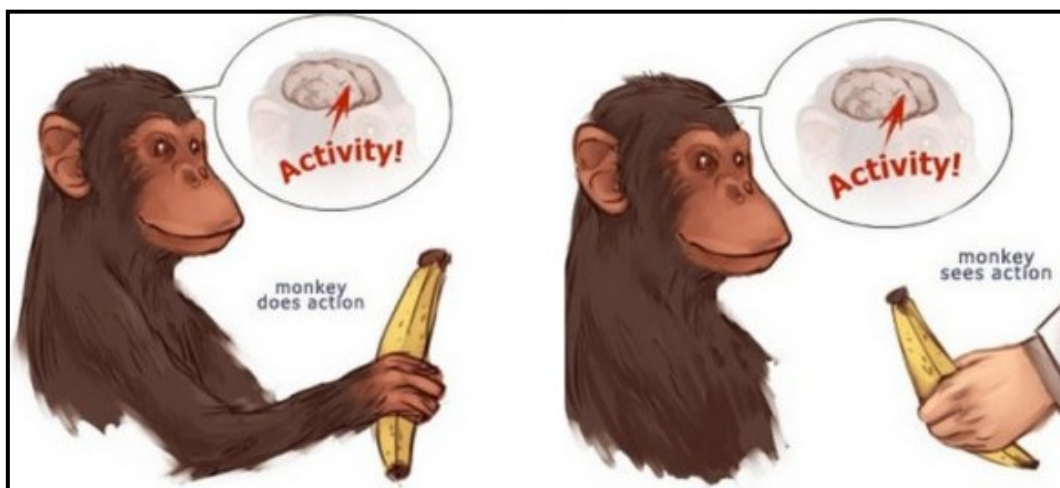
2.2.1 Objev zrcadlových neuronů

Existence zrcadlových neuronů byla poprvé popsána u makaků. Původní cíl autorů z Parmské univerzity bylo studovat aktivitu neuronů při pohybu končetin opic a při elektrostimulaci. Příprava opic a základní experimentální postupy vycházely již z předchozích pokusů stejného týmu za vedení profesora Rizzolattiho z roku 1988. Mikroelektrody zavedeny do F5 oblasti opic byly použity pro snímání aktivity a též pro elektrostimulaci. Aktivita neuronů byla nejprve testována tím, že opicím byly představovány předměty různé velikosti a tvaru. Poté, co bylo zřejmé, že se neurony staly aktivními během pohybů končetin opic, byla náhodně zjištěna aktivita určitých neuronů i při pouhém pozorování pohybů experimentátora, například při pokládání předmětů nebo zvedání jídla (Obrázek č. 3) (Di Pellegrino et al., 1992).

2.2.2 Zrcadlové neurony u opic

Zrcadlové neurony byly tedy poprvé popsány v opičí ventrální premotorické oblasti F5 (Di Pellegrino et al., 1992; Rizzolatti et al., 1996), později též v lobus parietale inferior (Fogassi et al., 2005).

Premotorická oblast F5 opic se skládá ze dvou hlavních oddílů. První oddíl je lokalizován uvnitř sulcus arcuatus, druhý v blízkosti kortikální konvexity. Většina neuronů obou částí se aktivuje při pohybu horních končetin, avšak určitá část i při pouhém pozorování pohybu. Neurony uvnitř sulcus arcuatus, jindy též označovány jako „canonical neurons“ (dále jen CN) se aktivují při pozorování 3D objektů. Neurony kortikální konvexity označovány jako „mirror neurons“ se aktivují, když opice sleduje pohyby horních končetin prováděné jinou osobou k danému cíli. Obě tyto třídy neuronů generují plán potenciální pohybové akce. V případě CN tak získáváme popis akce prováděné jinou osobou. Vzhledem k tomu, že jedinci jsou schopni přemýšlet nad důsledky svých činů, tato vnitřní kopie sledovaných akcí představuje základ pro pochopení významu akcí druhých (Rizzolatti, Fadiga, 1998).



Obrázek č. 3: Aktivita zrcadlových neuronů u opic

Zdroj: <https://sites.psu.edu/psych256su16-2/2016/06/28/mirror-neurons/>

Vztah mezi vizuálními a motorickými vlastnostmi zrcadlových neuronů u opic je tedy neoddělitelný a zásadní. Můžeme tak pozorovat shodu mezi vykonáváním pohybu a pozorováním prováděného pohybu. Podle míry této shody lze ještě dále rozdělit zrcadlové neurony na kongruentní a semikongruentní. Za kongruentní (jinak též „zcela shodné“) zrcadlové neurony považujeme ty neurony, které se aktivují na základě pozorování nebo provádění přesně cílené identické akce. Tyto neurony hrají zásadní roli v imitaci. Díky těmto skutečnostem se autoři studie domnívají, že hlavní funkcí zrcadlových neuronů u opic je napodobování (Gallese et al., 1996).

Pro aktivaci semikongruentních (jinak též „široce shodných“) zrcadlových neuronů, které tvoří dvě třetiny zrcadlových neuronů, není zapotřebí přesně cíleného pohybu, který kódují. K jejich aktivaci dochází během pozorování motorického pohybu, který vede k dosažení podobného nebo stejného cíle (Newman-Norlund et al., 2007).

Studie z roku 2001 se zaměřila na zkoumání vizuálních vlastností zrcadlových neuronů u dvou opic. Autoři vycházeli z poznatků Rizzolattiho a dalších, kteří přinesli informaci o existenci zrcadlových neuronů. V tomto experimentu vytvořili situaci, kdy opice pozorovaly úchop konkrétního předmětu člověkem. Poté co opice akci viděly, byly vystaveny druhé testované situaci, kdy experimentátor provedl stejný úchop avšak s imaginárním předmětem. Jako zásadní prezentují autoři fakt, že předešlé zkušenosti jedince budou v aktivaci jeho zrcadlových neuronů hrát významnou roli (Umiltà et al., 2001).

Další studie dokazuje, že aktivace zrcadlových neuronů nemusí být vázána pouze na vizuální či motorickou reprezentaci. Bylo zjištěno, že neurony v premotorickém kortexu opic se aktivují když opice provádí konkrétní činnosti, ale také když slyší související zvuk. Tyto audiovizuální zrcadlové neurony kódují aktivaci nezávisle na tom, zda je daná činnost prováděna, pozorována nebo zastoupena specifickým zvukem (Kohler et al., 2002).

2.2.3 Zrcadlové neurony u lidí

Existence zrcadlových neuronů u opic je považována za jeden z nejzásadnějších objevů na poli neurofyziologie za posledních několik desítek let. Od té doby bylo provedeno nespočet neinvazivních studií, zkoumajících podobnou existenci i v lidském mozku (Grafton et al., 1996).

Zrcadlové neurony jsou specifické asociační neurony, které jsou aktivní jak během provádění určitého pohybu, tak i během pozorování stejného pohybu. Dá se říci, že neuron pozorovatele tzv. „zrcadlí“ reakci jiného neuronu, jako by pozorující daný úkol prováděl sám. Lze předpokládat, že zrcadlové neurony hrají důležitou roli ve schopnosti imitace i u lidské populace (Rizzolatti, Craighero, 2004; Catmur, 2013).

Asi málokdo by dokázal předvídat, jak článek vydaný v roce 1992 ovlivní kognitivní vědy v příštích 20 letech. Důvodem je zřejmě fakt, že díky tomuto objevu jsme schopni lépe pochopit a dále pracovat na výzkumech, díky kterým dostáváme stále nové informace o možném porozumění chování druhých i v rámci neurofyziologie a neuropsychologie (Ferrari, Rizzolatti, 2014).

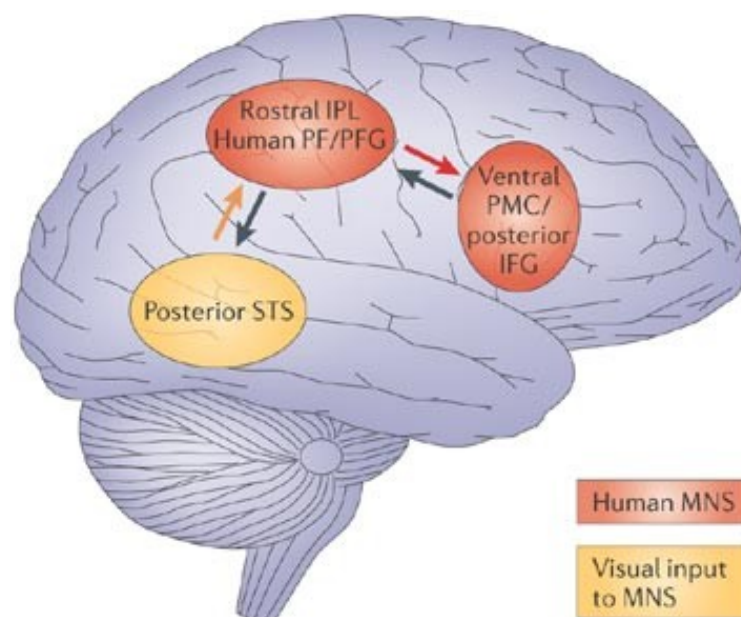
Zrcadlové neurony byly kromě opic a lidí objeveny i u zpěvných ptáků. Studie zaměřené na zkoumání ptačích neuronů jsou jen další ukázkou toho, jak moc se studium zrcadlových neuronů rozšířilo (Molenberghs et al., 2009; Catmur, 2013; Mooney, 2014).

2.2.4 Systém a lokalizace zrcadlových neuronů

Celý zrcadlový systém se skládá z několika oblastí. Za stěžejní oblast je považován premotorický kortex, dále pak inferiorní frontální kortex, superiorní parietální lalok a zadní část gyrus temporalis superior (Rizzolatti, Craighero, 2004).

Zrcadlový systém vytváří okruh zrcadlových neuronů („mirror neuron circuit“). Jedná se o zpětnovazební systém, který začíná v sulcus temporalis superior a jde přes lobus parietalis inferior do gyrus frontalis inferior (Obrázek č. 4) (Rizzolatti, Craighero, 2004).

Mezi další prokázanou oblast zrcadlového systému patří gyrus frontalis inferior (součástí je i Brocova area) (Iacoboni, Dapretto, 2006). Oblasti superioriního parietálního laloku (dále SPL) a zadní část gyrus temporalis superior (dále jen GTS) jsou sice přiřazovány do systému zrcadlových neuronů, avšak neobsahují zrcadlové mechanismy, jak je chápeme. Oblast SPL je spojena spíše s imitací v budoucnu. (Rizzolatti, Craighero, 2004). Kdežto funkce GTS v zrcadlovém systému je spojena spíše s příjmem vizuálních informací, kdy tato oblast dokáže vytvářet komplexní vizuální obrazy, takže díky zpětné vazbě může informovat ostatní oblasti o úkonech ostatních (Allison et al., 2000).



Obrázek č. 4: Zrcadlový systém (STS - sulcus temporalis superior, IPL - lobus parietalis inferior, IFG - gyrus frontalis inferior)

Zdroj: <http://www.nature.com/nrn/journal/v7/n12/images/nrn2024-fl.jpg>

Kromě již popsaných oblastí je důležité zmínit i oblasti senzitivního kortexu, které hrají též důležitou roli. Primární senzitivní oblast (S1, lokalizace gyrus postcentralis) má totiž velmi úzký vztah s motorickým kortexem (Amblér, 2001; Naňka, Elišková, 2009). Ventrální PM oblast je spojena s M1, která kóduje především pohyby prstů. Další rozsáhlá spojení má i se senzitivními oblastmi (S1, S2). Tyto oblasti jsou mezi sebou spojené a vytváří tak propojené sítě, jenž hrají zásadní roli v iniciaci a kontrole pohybů ruky (Fadiga et al., 1995).

Existují jasné důkazy toho, že zrcadlové neurony hrají roli nejen při vizuomotorické nebo zvukové reprezentaci, ale jsou též zapojeny i do emoční reprezentace. Vzhledem k tomu můžeme mozkové struktury zapojené do integrace a kontroly emocí zařadit též do systému zrcadlových neuronů. V tomto případě se jedná hlavně o insulární kortex a oblast gyrus cinguli (Wicker et al., 2003). Vzhledem k možným dalším vztahům mezi jednotlivými oblastmi nervového a zrcadlového systému je důležité si uvědomit, že jakékoliv oblasti, které mají zásadní význam v pochopení pozorovaného pohybového a emočního chování druhých, můžeme považovat za součást složitějšího systému a řadit je do tzv. rozšířeného zrcadlového neuronového systému (Dinstein, et al., 2007).

2.2.5 Funkce zrcadlových neuronů u lidí

Vysvětlení přesné funkce zrcadlových neuronů je asi to nejobtížnější, vzhledem k jejich složitosti. Dá se však říci, že systém zrcadlových neuronů vytváří značnou část toho, co nás činí lidmi. Lze na nich demonstrovat evoluční posun, díky němuž jsme schopni žít v tak vyspělé kultuře. Díky tzv. „zrcadlení“ pozorovaného pohybového chování a činů jsme schopni vnitřně vytvářet obdobné mapy stejných činností (Ramachandran, 2013).

Od jejich objevu bylo díky velkému počtu výzkumů postupně vytvořeno několik objasňujících teorií, které nám blíže vysvětlují situace, které vědce trápily řadu let. Můžeme tak lépe porozumět fungování kognitivních funkcí, včetně porozumění charakteru a významu akcí druhých. Velkou roli hrají zrcadlové neurony i v imitaci, evoluci jazyka a v teorii empatického vnímání druhých (Rizzolatti, Craighero, 2004). Díky nim jsme tak schopni uvědomění si druhých lidí i sebe samotných. V neposlední řadě ovlivňují také abstrakci, která je lidské rase vlastní (Ramachandran, 2013).

2.2.5.1 Role zrcadlových neuronů v problematice imitace (napodobování)

Jak už bylo řečeno, lze předpokládat, že zrcadlové neurony hrají důležitou roli ve schopnosti imitace (Rizzolati, Craighero, 2004; Catmur, 2013). Předpokládaný mechanismus imitace je takový, že zdravý jedinec, který pozoruje nějaký motorický úkon, je schopen díky aktivaci zrcadlových neuronů ihned odvodit a pochopit, co druhý jedinec v dané chvíli vykoná, i před dokončením pohybu. Lze tedy říci, že neurony, které určitý pohyb reprezentují, se aktivují v PM kortexu provádějícího i pozorovatele. Zrcadlové neurony tak překládají vizuální informace do znalostí a pokud jsou tyto znalosti podpořeny i aktivním opakováním daného úkonu pozorovatelem, dojde k uložení informací ve formě paměťových stop do motorické kůry. Paměťové stopy pak tvoří součást motorického jednání jedince (Rizzolati, Craighero, 2004). Shrnutím výše zmíněných poznatků o schopnosti imitace jedinců může být skutečnost, že funkce zrcadlového systému je podporována vlastní zkušeností vzhledem k pozorované akci nebo k jejímu rozeznání (Gallese, 2007).

Vzhledem k předchozím zkušenostem vyvstává tedy otázka fungování imitace u novorozenců. Předpokladem je přítomnost zrcadlového systému již od narození (alespoň část je tak geneticky podmíněná), který pomáhá novorozencům transformovat pozorované úkony. Již po objevení zrcadlového systému u dospělých opic začalo zkoumání i u jejich mláďat do jednoho roku věku. Z výsledků je patrné, že aktivitu různých částí zrcadlového systému můžeme pozorovat již v prvním týdnu po porodu (Vanderwert et al., 2012). Tyto poznatky lze aplikovat i na lidskou populaci, kdy podle Bucciniho et al. patří tyto napodobovací mechanismy pro novorozence v prvních týdnech života mezi zásadní schopnosti, které mu umožňují přežít. Bazální imitace obličejových gest a výrazů je patrná velmi brzy po narození. Vytváří se tak těsná vazba mezi matkou a novorozencem (Buccino et al., 2001).

Recentní výzkumy odhalily, že odchylky a rozdíly ve schopnosti imitace nově narozených dětí souvisí s pozdním nebo zhoršeným motorickým, kognitivním a sociálním vývojem jedince. Jedinci aktivně imitující v prvním týdnu života vykazují prokazatelně lepší schopnosti především v úchopové funkci a v sociálně-kognitivním vývoji. Vyvstává tak tedy otázka, jestli může zhoršená novorozenecká imitace být predikcí pro pozdní sociálně-kognitivní vývoj (Paukner et al., 2014).

Autoři studie zaměřené na rozdíly v imitaci dětí se domnívají, že možná dysfunkce nebo poškození zrcadlového systému může souviset s poruchami

autistického spektra nebo dalšími psychiatrickými poruchami (Ramachandran, 2013; Simpson et al., 2014).

2.2.5.2 Role zrcadlových neuronů v problematice emocí

Otázka porozumění chování druhých není ve filosofických debatách nová. Jeden z nejvíce přijímaných pohledů je popisován jako schopnost porozumět záměrům druhých skrze schopnosti pozorovatele odvodit vnitřní duševní stavy a připisovat jim kauzální roli při generování sledovaného chování. Jinými slovy lze říci, že jako lidé jsme schopni chápat činy ostatních díky srovnání konkrétní akce prováděné ostatními s naším vlastním chováním v podobné situaci (Malle et al., 2003). Objev zrcadlových neuronů nevyvrátil tento konvenční analytický pohled, ale spíše demonstroval platnost fenomenologického postoje, alespoň ve většině každodenních situací. Je důležité zdůraznit, že porozumění akce skrze zrcadlové mechanismy je přímá aktivace motorické reprezentace a nevyžaduje kognitivní simulaci chování druhých (Goldman, De Vignemont, 2009).

Popularita problematiky emocí vzrostla po zjištění, že zrcadlové mechanismy jsou též přítomny i v emočních částech mozku. I když není pochyb o tom, že člověk může rozumět emocím druhým skrze duševní procesy (jako například při pozorování emocí), existují jasné důkazy o tom, že mozkové struktury jsou zapojené do integrace a kontroly emocí. Tyto struktury reagují když jiný člověk cítí emoce, například bolest. Tento mechanismus umožňuje přímé pochopení emocí druhých („Vaše bolest je moje bolest“) (Wicker et al., 2003).

Testování zrcadlového systému tedy nemusí být nutně vázáno jen na motorické úkony, ale též prostřednictvím pozorování emocí druhých skrze pozorování videí nebo fotografií. Během sledování dochází k aktivaci již výše zmíněných oblastí, jako je například insulární kortex, gyrus cinguli nebo oblast opercula. Na jejich aktivaci mají vliv emoce vyvolané vizuálními, chuťovými, čichovými nebo nociceptivními stimuly (Wicker et al., 2003).

Se zajímavými výsledky se setkáváme již ve výzkumu Chartranda a Bargha z roku 1999. Autoři tvrdí, že čím více má jedinec sklon napodobovat druhého, tím více bývá empatictější a zabývá se pocity druhých. Dá se tedy říci, že prostřednictvím imitace gest a mimiky jsme schopni lépe pochopit, co cítí druzí lidé (Chartrand, Bargh, 1999).

Zajímavé může být i zkoumání emocí novorozenců a budování jejich vztahů. Dítě v prvních letech života vytváří určité pouto s dominantní osobou, nejčastěji s matkou. Dá se říci, že stejný mechanismus zrcadlení emocí je i vysvětlím vztahu dítě-matka. Emoce které matka prožívá se zrcadlí skrze pozorovací schopnosti jedince a díky tomu si dítě vytváří i přístup k lidem v matčině okruhu. Lze tedy popsat i možnou patologii, kdy matka není schopna dítěti dodávat dostatečné emoční stimuly vlivem traumatickým událostí. Dítě tak zrcadlí traumatickou strukturu, která může předpovídat změny vazby mezi dítětem a matkou (Bauer, 2015).

Na závěr je tedy důležité si uvědomit, že zrcadlový systém můžeme aktivovat i skrze emoce. Emoce jsou v lidském mozku spojeny s limbickým systémem (Naňka, Elišková, 2009). K propojení limbického a zrcadlového systému dochází v insule. Díky vzájemným spojmům jsme tedy schopni chápat emoce ostatních, vcit'ovat se do nich a pracovat tak i s vlastními emocemi (Wicker et al., 2003; Carr et al., 2003).

2.2.6 Patofyziologie poruch zrcadlového systému

S objevem a ozřejměním lokalizace a funkce zrcadlových neuronů se začaly rozvíjet výzkumy, které se zaměřují na roli systému zrcadlových neuronů v patofyziologii některých poruch. První lze uvést již výše zmíněný autismus, jakožto následek dysfunkce zrcadlového systému (Ramachandran, 2013; Simpson et al., 2014).

Kojenci obvykle zrcadlí činnosti prováděné jinými osobami pomocí imitace mimiky a gest. Lze také tvrdit, že sociální napodobování je naučený proces, kdy jedinci nereagují na neznámé chování tak dobře, jako na zrcadlení akce dříve pozorované. Tento fenomén je také označován jako „mapování mozku“ (Shmuelof, Zohary, 2008). Toto mapování umožňuje jednotlivcům vybudovat sociální, motorický a komunikační repertoár skrze motorické, verbální a symbolické akce. Když je narušen vývoj těchto map, poškození můžeme sledovat ve fázi, kdy u dětí dochází k typickému vývoji motorických funkcí, sociálních a jazykových dovedností, které dříve jen pozorovaly. Mezi postižené oblasti u autistických pacientů patří mozeček, hipokampus, amygdala a nucleus caudatus (Saffin, Tohid, 2016). Pro většinu autistických dětí je typická dysfunkce řeči a obtíže s imitací. Bylo zjištěno, že autističtí jedinci byli schopni buď velmi omezeně, nebo vůbec napodobovat předváděná gesta (Vanvuchelen et al., 2007).

Druhou poruchou systému zrcadlových neuronů, kterou uvádím, je schizofrenie. Možnou dysfunkcí zrcadlových neuronů dochází u pacientů k problémům ve zpracování kognitivních, sociálních a emocionálních informací. Typické mohou být paranoidní bludy, včetně tendence k špatnému vyhodnocení závěrů ostatních lidí, což může vést k neporozumění duševním stavům a sociálním situacím (Bentall et al., 2009). Schizofrenie je tedy heterogenní onemocnění, které je často přítomno na základě rodinné anamnézy psychotických poruch. Z tohoto tvrzení vychází autoři nové studie z roku 2016, kdy zkoumali deset pacientů s diagnostikovanou schizofrenií, které dále rozdělili ještě do dvou skupin (jedinci s pozitivní rodinou anamnézou a jedinci bez ní). Studie popisuje nález dysfunkčního zrcadlového systému u pacientů se schizofrenií. U obou sledovaných skupin byly dysfunkce zrcadlové systému srovnatelné a úměrné vzhledem k psychopatologii. Autoři se tak domnívají, že tyto zrcadlové dysfunkce by mohly být buď vrozené, nebo získané (Mitra et al., 2016).

Jako velmi zajímavé lze brát výsledky studie z roku 2007, kdy se autoři rozhodli zkoumat páry dvojčat, kdy vždy jedno z páru trpělo schizofrenií. Celkově se do výzkumu zapojilo jedenáct dvojčat, z toho šest bylo dvojvaječných a pět jednovaječných. Všichni jedinci byli vystaveni testování, kdy během pozorování různých pohybů, které posléze museli provést sami, jim byla snímána aktivita mozku. Z výsledků lze soudit, že obecně došlo u zdravých jedinců ke zvýšené aktivitě motorické kůry oproti jejich sourozencům. Lze se tedy domnívat, že souvislost poškození zrcadlového systému bude hrát v patofyziologii schizofrenie důležitou roli (Schurmann et al., 2007).

Mezi další zajímavosti lze uvést výzkumy spojené s mentální anorexií, které jsou však prozatím jen ve fázi výzkumu. První zmínku a možné souvislosti mezi poruchou zrcadlových neuronů a mentální anorexií zmínili autoři ve článku z roku 2010, kdy tvrdí, že vyšetřením odhalili asymetrické fungování v levé hemisféře podobné poruchám autistického spektra. Tvrdí, že takové nahromadění podobností svědčí pro skutečnost, že mentální anorexie by mohla být považována za ženskou variantu autistického spektra (Odent, 2010).

2.2.7 Využití zrcadlových neuronů v rehabilitaci

2.2.7.1 Léčba fantomových bolestí

V roce 1998 přišel neurovědec Ramachandran s prvním výzkumem na léčbu fantomových bolestí u amputovaných končetin jedinců. Ve svém výzkumu použil tzv. virtuální zrcadlový box (Obrázek č. 5) na „vzkříšení“ fantomové končetiny a tím i k léčbě bolestí, které se u pacientů po amputaci často objevují. Přístroj byl zkonstruován umístěním zrcadla vertikálně doprostřed dřevěné krabice. Pacient poté položil zdravou ruku na jednu stranu a amputovanou na druhou. Horní a přední strana boxu byly otevřené, což umožňovalo pacientovi vidět dovnitř, ale pro účely léčby musela koukat hlava pacienta na jednu stranu tak, aby viděla zrcadlo ze strany se zdravou paží. Poté byl pacient požádán, aby pohyboval zdravou končetinou až do chvíle, kdy zrcadlový obraz pocitově překryl polohu fantomové končetiny. Experimentální úspěch zrcadlové terapie, tedy snížení fantomových bolestí, vedl autory k tomu, aby zrcadla začali vnímat jako užitečnou pomoc v léčbě těchto pacientů (Ramachandran, Hirstein, 1998).

Další studie popisuje čtyři pacienty, kteří se chystali podstoupit plánovanou amputaci končetin. Před tímto výkonem absolvovali čtrnáctidenní terapie s využitím zrcadla a pokračovali v ní i po zákroku. U všech pozorovaných pacientů se fantomová bolest po amputaci neobjevila, nebo byla výrazně nižší a trvala kratší dobu než u většiny pacientů po podobném zákroku (Hanling et al., 2010).

Nejnovější studie ze začátku tohoto roku si vzala za cíl zhodnotit a shrnout výzkumy zaměřené na vliv virtuální a zrcadlové terapie na léčbu fantomových bolestí u amputovaných končetin. Rešerše byla vytvořena prohledáním databází PubMed a Google Scholar. Nalezeno bylo celkem osm studií. Všechny studie vykazují pozitivní účinky, tudíž snížení bolesti, avšak žádná z provedených studií nedosahuje vysokých kvalit, čímž jejich výpovědní hodnota klesá. Navzdory pozitivním zjištěním všech těchto studií je tedy nadále potřeba kvalitních výzkumů, díky kterým bychom získali statisticky relevantní výsledky (Dunn et al., 2017).



Obrázek č. 5: Zrcadlová terapie

Zdroj:http://www.neurologyindia.com/articles/2016/64/1/images/ni_2016_64_1_38_173622_f1.jpg

2.2.7.2 Rehabilitace pacientů po cévní mozkové příhodě

Díky pozitivním výsledkům zrcadlové terapie u fantomových bolestí, byli autoři inspirováni rozvíjet tuto terapii i u jiných diagnóz. Vzhledem k vzrůstající incidenci a závažnosti cévní mozkové příhody (dále je CMP) se autoři pilotní studie z roku 1999 zaměřili právě na tyto pacienty. Všichni pacienti byli náhodně rozděleni do dvou skupin, kdy jedna část pacientů absolvovala nejprve šestitýdenní sérii terapií před zrcadlem, druhá skupina stejně dlouhou sérii před průhledným plastem. Po absolvování celé série terapií se skupiny prohodily. Pohybové cvičení vycházelo z výzkumu na fantomové bolesti, tudíž pacienti pohybovali zdravými končetinami a sledovali jejich odraz v zrcadle či skrze průhledný plast se snažili hýbat i s postiženými končetinami. Z výsledků vychází fakt, že všichni pacienti by si spíše zvolili ke cvičení zrcadlo. Jeden z účastníků popsal své pocity takto: „Ve všech ostatních metodách léčby trénuji svaly, zrcadlová terapie je jediná, kde trénuji svůj mozek a nervy.“ Lze tedy říci, že skrze pozorování jsou u pacientů nahrazeny informace o postižené končetině, které díky sníženým nebo chybějícím propioceptivním vstupům chybí. Použití zrcadla může také

pomoci aktivovat PM kortex, a tím zlepšit pohyb postižené končetiny (Altschuler et al., 1999).

Autoři jiné studie rozdělili pacienty do kontrolní a terapeutické skupiny (terapie pomocí zrcadla). Výsledky studie ukazují na to, že se u terapeutické skupiny výrazně zvýšilo skóre ve sledovaném Fugl-Meyer testu, který hodnotí motorické schopnosti pacientů po CMP. Výsledky fMRI terapeutické skupiny prokázaly vyšší aktivitu zrcadlového systému (Michielsen et al (a)., 2011).

Z další studie stejných autorů vyplývá, že u 22 pacientů po CMP se během manuálního pohybu díky zrcadlové iluzi zvýšila aktivita v precuneus a gyrus cinguli, tedy v oblastech spojených s vědomím sebe sama a prostorové pozornosti. Zvyšováním povědomí o postižené končetině lze díky zrcadlové terapii zlepšit používání postižené končetiny (Michielsen et al (b)., 2011).

Jiné výzkumy vycházely z poznatků existence audiovizuálních zrcadlových neuronů. Tyto audiovizuální neurony reagují na zvuky, které jsou specifické pro určité akce (Kohler et al., 2002). Tento fakt naznačuje, že by kombinovaná terapie zahrnující jak vizuální tak i sluchové informace, které aktivují zrcadlový systém mohla ještě dále zlepšit efekt rehabilitace. Jako zajímavý se zdá být fakt, že hudba souvisí s mozkovou činností, která zahrnuje imitaci a synchronizaci s přesahem do zrcadlového systému. Navíc gyrus frontalis inferior a ventrální PM kortex (včetně Brocova centra), které patří do zrcadlového systému, se také podílejí na řízení hudby a poslechu (Fadiga et al., 2009). Například Brocovo centrum je aktivní během vnímání hudby, zpěvu nebo představivosti hraní na hudební nástroj (Tillmann et al., 2003).

Aktivace zrcadlového systému na základě hudby je tedy dobrou alternativou aktivace mozkové činnosti mimo vizuální tréninkové terapie, jako možnost vícenásobné smyslové stimulace. Tyto přístupy jsou rozhodně tématem pro další studium. Pozitivní efekt muzikoterapie již byl zaznamenán u pacientů po CMP s pohybovým deficitem a u pacientů trpících afázií (Van Wijck et al., 2012). K pozitivnímu vlivu muzikoterapie mohou přispět i možné psychosomatické účinky hudby (Sarkamo et al., 2008).

Obecně lze říci, že aplikace zrcadlové terapie u pacientů po CMP vykazuje pozitivní výsledky, a to zejména v kombinaci s dalšími fyzioterapeutickými metodami. Kromě toho bylo dokázáno, že zrcadlový systém spolupracuje s vizí, propiocepcí a motorickými příkazy, dále podporuje kortikální reorganizaci a tím i funkční zotavení pacientů po CMP (Carvalho et al., 2013).

Shrnutím je tedy fakt, že zrcadlová terapie je cenná metoda pro zlepšení motorického zotavení pacientů po CMP s převahou postižení horní končetiny. Zrcadlová terapie je jednoduchá a lehce dostupná technika, prostřednictvím které můžeme stimulovat mozek neinvazivně. Tato technika využívá zrcadlovou iluzi vytvořenou pohybem zdravé končetiny. Bylo zjištěno, že u více oblastí mozku, například u PM kortexu, M1, S1 oblasti a mozečku dochází k reorganizaci a tím ke zlepšení funkce poškozených částí. Motorické oblasti poškozené hemisféry přijímají vizuomotorické informace přes parietookcipitálního lalok. Z toho vyplývá, že zrcadlové neurony tak s velkou pravděpodobností hrají důležitou úlohu v kortikostimulačních mechanismech při zrcadlové terapii (Arya, 2016).

2.2.7.3 Aplikace ve sportovní rehabilitaci

Lidský zrcadlový systém hraje důležitou roli ve schopnosti sportovce předvídat akce protivníka (Denis et al., 2017). Být schopen odvodit činy druhých má zásadní význam pro zefektivnění výkonu (Wilson, Knoblich, 2005).

Bylo zjištěno, že pouhé pozorování sportovní aktivity ovlivňuje schopnost anticipace. Pozorování útočných a obranných strategií jednotlivých týmů nebo pozorování výměnných akcí mezi dvěma soupeři či spoluhráči umožňuje sportovcům lépe předvídat akce ostatních. Zrcadlový systém se tedy kromě jiného zabývá i predikcí pohybu (Holmes, Calmels, 2008).

Využití lze najít i ve sportovní rehabilitaci. Při sledování relevantních sportovních sekvencí může dojít u sportovců ke změnám a reorganizaci v motorických oblastech (Holmes, Calmels, 2008). Jako příklad lze uvést studii s profesionálními hráči basketbalu. U těchto hráčů byla zaznamenána lepší schopnost anticipace spojená s větší aktivací motorické kůry při pozorování hodů jinými hráči (Aglioti et al., 2008).

Na závěr lze uvést studii, kde se autoři zaměřili na aktivitu motorických oblastí u amatérských hráčů baseballu, kteří sledovali krátká videa hry profesionálních hráčů baseballu. Před pozorováním byli všichni instruováni, aby podporovali buď pálkaře nebo nadhazovače. Výsledky ukázaly, že aktivita v motorických oblastech vykazovala silnou interakci mezi podporovanými subjekty (pálkař nebo nadhazovač) a výsledkem konkrétní situace (zda pálkař trefil či nikoliv). Tento fakt naznačuje, že aktivita zrcadlového systému je upravována podle výsledku konkrétního hráče i při pozorování sportovní hry (Shimada, 2009).

2.2.8 Zobrazovací metody aktivity zrcadlových neuronů

Existence zrcadlových neuronů může být potvrzena několika různými, především neinvazivními, funkčními zobrazovacími metodami mozku, jako například pozitronovou emisní tomografií (PET), funkční magnetickou rezonancí (fMRI), transkraniální magnetickou stimulací (TMS), magnetoencefalografií (MEG) nebo elektroencefalografií (EEG) (Ferrari, Rizzolatti, 2014).

PET je metoda, která nás informuje o funkci dané tkáně či orgánu. Vizualizace funkce nám umožňuje zobrazení fyziologických a patologických procesů probíhajících v organismu (Bybel et al., 2006). Oproti tomu TMS je technika, která je založena na indukci proudu v mozkové tkáni pomocí magnetického pole. Magnetické pole prochází měkkými tkáněmi a lebkou bezpečně a bezbolestně. TMS tak používá silné magnetické pole k ovlivnění mozkové aktivity (Tuček, 2002).

Díky fMRI jsme schopni mapovat mozkové odezvy na vnitřní či vnější podnět. Neuronální aktivita je zaznamenávána v návaznosti na lokální změnu oxygenace a perfuze mozkové kůry. Buď lze hovořit o perfuzní fMRI, kdy je principem změna objemu a perfuze krve v místě neuronální aktivity, nebo o BOLD fMRI, kdy se jedná navíc o změnu poměru mezi neokysličenou a okysličenou formou hemoglobinu v dané části. Mezi výhody této metody patří její relativně vysoká prostorová rozlišovací schopnost. Oproti MEG nebo EEG je však její časová rozlišovací schopnost omezená (Chlebus et al., 2005).

EEG metoda je schopna snímat elektrickou aktivitu mozku. Nejedná se o tomografii, ale o sumační signály elektrických potenciálů. Tato metoda je jedna z nejrozšířenějších, její výhodou je rychlost a snadnost měření (Moráň, 1995). Aktivita je snímána pomocí elektrod. Existuje nespočet jejich druhů, nejrozšířenějším je však standardní systém elektrod 10/20, toto označení je stanoveno mezinárodní normou. V dnešní době je nejrychlejším a nepraktičtějším řešením umístění elektrod formou EEG čepice (Vojtěch, 2005).

Obecně lze říci, že se jedná o hodnocení změn amplitudy a frekvence základní EEG aktivity, které jsou vázány na vnitřní či zevní podněty doprovázející určitou mozkovou činnost (Crone et al., 2001). Amplitudový rozsah je v rozmezí od 10 μ V do 1500 μ V. Frekvenční rozsah EEG je v rozmezí od 0.1 do 100 Hz. Celé toto spektrum je dále rozděleno na několik frekvenčních pásem. Rozlišuje:

Pásmo delta (0,5-4 Hz) - je charakterizováno stavem značného útlumu všech funkcí, ocitáme se v něm například během hlubokého spánku nebo v bezvědomí.

Pásmo theta (4-7 Hz) - je popisováno jako pásmo většího útlumu funkcí. Jedná se o povrchní spánek.

Pásmo alfa (7-13 Hz) - je bdělý stav se zavřenýma očima.

Pásmo beta (13-30 Hz) - je bdělý stav (Moráň, 1995).

2.2.8.1 Zobrazení LORETA

Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography (LORETA) patří mezi moderní kvantitativní EEG metody. Je schopna stanovit 3D distribuci neuronální elektrické aktivity. Řeší tak nedostatky povrchové EEG, tzv. neschopnost lokalizace mozkových částí a odlišení aktivace jednotlivých systémů, hovoří se o tzv. inverzním problému. LORETA dokáže z hodnot povrchového EEG vyřešit inverzní problém takovým způsobem, kdy prostřednictvím 3D modelu mozku nachází distribuci neuronální elektrické aktivity, která má maximální podobnost z pohledu síly i orientace mezi sousedními neuronálními systémy (Pascual-Marqui et al., 1994; Pascual-Marqui et al., 1999; Pascual-Marqui, 2002; Pánek, 2016).

Z výzkumného článku, který porovnával všechny publikované přímé možnosti inverzního řešení bylo prokázáno, že pouze LORETA byla schopna správné lokalizace, zatímco všechny ostatní metody zaostávaly obzvláště v lokalizaci hlubokých zdrojů (Pascual-Marqui, 1999). Tato metoda tak nabízí efektivní řešení inverzního problému s minimální prostorovou chybou. LORETA stanovuje distribuci proudové hustoty (aktuální neuronální elektrické aktivity) v 3D prostoru (Pascual-Marqui, 2002; Pánek, 2016).

Soubor objemových prvků (voxelů), ve kterých je distribuce proudových hustot počítána, je definován v digitalizovaném Talairachově atlasu a digitálním atlasu mozku (Talairach, Tournoux, 1988).

Vzhledem k faktu, že LORETA vychází z výsledků EEG měření, můžeme i zde pozorovat výborné časové rozlišení. Nadstavbou oproti EEG je tedy určení místa vzniku neuronální aktivity. V porovnání s fMRI je schopna lepšího časového rozlišení, oproti tomu však zaostává v prostorovém rozlišení (Pascual-Marqui et al., 1999).

Nejnovější verze programu je nazvaná jako standardized Low Resolution Brain Electromagnetic Tomography (sLORETA). Díky ní jsme schopni obdržet přímou, rychlou a skutečnou 3D tomografii s nulovou lokalizační chybou. Při splnění všech

podmínek stanovuje sLORETA proudové hustoty v celkem 6239 voxelech s prostorovým rozlišením 5x5x5 mm (Pascual-Marqui, 2002; Pánek, 2016).

3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE, HYPOTÉZY

3.1 Cíle práce

Cílem práce je porovnat změny v elektrické aktivitě mozku pomocí sLORETA programu mezi aktivním pohybem a jeho pouhým sledováním, dále pak mezi aktivním pohybem a klidovou polohou. Sledování pohybu je zprostředkováno formou videí i formou předvedení konkrétního pohybu řešitelem práce přímo před jedincem. Jako testovaný pohyb byla zvolena 1. diagonála metody PNF pro horní končetinu.

3.2 Úkoly práce

1. Vytvoření literární rešerše zabývající se danou problematikou zrcadlových neuronů se zaměřením na zahraniční literaturu
2. Stanovení metodického postupu a výběr probandů
3. Provedení vlastního měření
4. Vyhodnocení a analýza získaných dat
5. Vytvoření diskuze, v níž budou konfrontovány stanovené hypotézy, závěr

3.3 Výzkumné otázky

V1: Existují statisticky významné změny v elektrické aktivitě jednotlivých mozkových oblastí (Brodmannových areí) hodnocené pomocí sLORETA programu mezi aktivním pohybem a počátečním klidovým EEG záznamem s otevřenýma očima?

V2: Existují statisticky významné změny v elektrické aktivitě jednotlivých mozkových oblastí (Brodmannových areí) hodnocené pomocí sLORETA programu mezi aktivním pohybem a sledováním stejného pohybu?

V3: Existují statisticky významné změny v elektrické aktivitě jednotlivých mozkových oblastí (Brodmannových areí) hodnocené pomocí sLORETA programu mezi sledováním videa s ženou provádějící aktivní pohyb horní končetinou a sledováním videa s mužem provádějícím stejný pohyb?

3.4 Hypotézy

H1: Předpokládám, že existuje statisticky významná diference mezi elektrickou aktivitou hodnocenou pomocí sLORETA programu v jednotlivých mozkových oblastech mezi aktivním pohybem a klidovým stavem s otevřenými očima.

H2: Předpokládám, že neexistuje statisticky významná diference mezi elektrickou aktivitou hodnocenou pomocí sLORETA programu v jednotlivých mozkových oblastech mezi aktivním pohybem a sledováním stejného pohybu.

H3: Předpokládám, že neexistuje statisticky významná diference mezi elektrickou aktivitou hodnocenou pomocí sLORETA programu v jednotlivých mozkových oblastech mezi sledováním videa s ženou provádějící aktivní pohyb horní končetinou a sledováním videa s mužem provádějícím stejný pohyb.

4 METODIKA PRÁCE

4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Pro výzkumnou část bylo vybráno celkově 12 zdravých vysokoškolských studentů z toho bylo 8 žen a 4 muži. Průměrný věk v případě mužů i žen byl 24 let. Všichni probandi byli praváci. Probandi se do studie přihlásili dobrovolně, před samotným experimentem byli seznámeni s průběhem měření a podepsali informované souhlasy (Příloha č. 2). Výzkum byl schválen Etickou komisí FTVS UK pod jednacím číslem 229/2016 (Příloha č. 1).

4.2 Sběr dat

4.2.1 Teoretická část

Teoretický podklad práce byl vytvořen z dostupné literatury, zabývající se problematikou zrcadlových neuronů v průřezu let od jejich objevení. Využívány byly jak zdroje tištěné, tak i elektronické. Velká část článků byla získávána prostřednictvím online databází EBSCO, PubMed, Web of Science nebo Google Scholar. Citace odborné literatury byly upraveny podle citační normy ČSN ISO 690.

4.2.2 Experimentální část

Vlastní experimentální část je charakterizována měřením elektrické aktivity mozku pomocí EEG přístroje Wireless EEG Nicolet od společnosti NeuroData. Získané záznamy byly dále zpracovány pomocí sLORETA programu. Interpretace výsledků byla vytvořena za pomoci kortikálního atlasu (Cortical Functions: Reference, 2012). Ke snímání mozkové aktivity byla použita EEG čepice waveguard connect s 19 elektrodami: Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T5, T3, C3, Cz, C4, T4, T6, P3, Pz, P4, O1, O2. Umístěny byly systémem 10/20. Povrchový odpor elektrod nepřevyšoval 10 k Ω , vzorkovací frekvence byla 512 Hz a pásmová propustnost 0,5-70 Hz.

Pro vlastní experimentální část byly vytvořeny dvě videa. Na videích byl zaznamenán specifický pohyb, v našem případě 1. diagonála (flekční i extenční vzorec) dle metody PNF, prováděný PHK jedince stojícího proti bílé zdi. Volba tohoto pohybu vycházela z rešeršního zpracování problematiky aktivace zrcadlových neuronů.

Obě videa trvala dvě minuty. Na jednom videu tento pohyb prováděla žena, na druhém muž. Pozorování videí bylo zprostředkováno pomocí brýlí pro virtuální realitu značky Samsung Gear VR určené pro mobilní zařízení Samsung Galaxy S7. Experimentální měření proběhlo v kinesiologické laboratoři katedry fyzioterapie UK FTVS.

4.3 Průběh měření

Měření proběhlo ve dvou dnech v únoru 2017. Každý den bylo naměřeno 6 probandů. Každý proband byl po svém příchodu seznámen s průběhem měření a vybavením laboratoře, které bylo pro experiment použito. Průměrná doba měření jednoho probanda činila 60 minut. Měření probíhalo za standardních podmínek v dopoledních a odpoledních hodinách.

Před vlastním měřením byla probandovi vsedě aplikována EEG čepice s 19 registračními elektrodami v systému 10/20. Jako první byl změřen pětiminutový klidový EEG záznam vleže na zádech se zavřenýma očima. Poté byl změřen též s otevřenýma očima po dobu dvou minut. Po počátečním EEG měření následoval vlastní experiment.

Vlastní experiment měl 4 části. Každá tato část trvala dvě minuty a probíhala ve stoje. Mezi jednotlivými částmi byla vždy dvouminutová pauza. Během pauzy se proband posadil na lehátko a relaxoval. Po celou dobu provádění všech čtyř částí byla probandovi snímána elektrická aktivita mozku pomocí EEG přístroje.

Jednou ze čtyř částí bylo sledování videa muže, který prováděl pohyb PHK (1. diagonála PNF). Druhou částí bylo sledování stejného videa, avšak prováděného ženou (Obrázek č. 6). Třetí částí bylo pozorování řešitele práce vykonávajícího stejný pohyb přímo před probandem. Posledním úkonem bylo provedení totožného pohybu samotným probandem.

Pořadí jednotlivých čtyř částí si probandi vylosovali. Jediným kritériem bylo to, aby první pohybový úkon testovaný jedinec jen pozoroval. Při prvním losování si proband vybíral mezi pozorováním videa muže, ženy a pohybu prováděného řešitelem práce. Po prvním losování následovalo druhé, kde se vybíralo ze zbývajících úkonů. Pokaždé když bylo vylosováno jedno z videí, druhé automaticky následovalo. Tento průběh byl zvolen z čistě praktického hlediska, aby nemuselo docházet k opakované aplikaci brýlí pro virtuální realitu. Během všech úkonů byli probandi instruováni, aby se soustředili a pozorovali pohyb PHK.

Po provedení experimentu byl na závěr opět změřen klidový EEG záznam. Měřen byl nejprve dvě minuty se zavřenými očima, poté dvě minuty s otevřenými očima.

Tabulka č. 2: Vylosované pořadí jednotlivých částí všech probandů (čísla je označené pořadí jednotlivých úkonů)

Proband, pohlaví, ročník	Video muž	Video žena	Pozorování pohybu řešitele práce	Provádění pohybu probandem
1. muž, 1993	1.	2.	3.	4.
2. žena, 1992	2.	1.	3.	4.
3. žena, 1993	2.	1.	4.	3.
4. žena, 1992	2.	3.	1.	4.
5. žena, 1993	1.	2.	4.	3.
6. žena, 1992	3.	2.	1.	4.
7. žena, 1993	2.	1.	4.	3.
8. žena, 1991	2.	1.	3.	4.
9. muž, 1993	1.	2.	3.	4.
10. žena, 1991	2.	3.	1.	4.
11. muž, 1993	2.	1.	4.	3.
12. muž, 1992	3.	4.	1.	2.



Obrázek č. 6: Promítání videí prostřednictvím brýlí pro virtuální realitu

Zdroj: Autorka

4.4 Analýza a zpracování dat

Z každé dvouminutové části experimentu byl v programu NeuroGuide vybrán 30 sekundový bezartefaktový úsek, který byl následně vyexportován v textových souborech. Tyto textové soubory byly dále vyhodnoceny prostřednictvím sLORETA programu. EEG záznamy konkrétního úkonu probanda rozdělené na epochy byly převedeny v sLORETA programu na výsledné vzájemné spektrum. Pro hodnocení celého frekvenčního pásma byl výpočet vzájemného spektra vyhodnocen pro všechna pásma EEG záznamu, tedy pro delta (0,5-4 Hz), theta (4-7 Hz), alfa-1 (7-10 Hz), alfa-2 (10-13 Hz), beta-1 (13-18 Hz), beta-2 (18-21 Hz), beta-3 (21-30 Hz) a gama (více než 30 Hz) frekvenční pásmo. Vytvořená vzájemná spektra pro jednotlivá frekvenční pásma byla převedena do specifického sLORETA souboru s příponou slor. Tento soubor nám umožňuje vizuální zobrazení v 3D Talairachově atlasu. Převod do slor souboru byl proveden vložením souboru vzájemného spektra a transformačního matrix, získaného převodem elektrodových koordinátů nativních EEG dat do koordinátů sLORETA (Pánek, 2016).

4.5 Statistické vyhodnocení dat

Ke statistickému vyhodnocení byl použit statistický modul, který je součástí programu sLORETA. Statistické testy jsou v tomto programu zpracovány za pomoci Studentova t-testu. Pro statistické vyhodnocení byly vybrány sLORETA soubory bez normalizace, s porovnáváním párové skupiny (test $A=B$), s variantou t-testu s logaritmickou transformací dat s parametrem vyhlazení 0,5. Současně byla zvolena možnost randomizování dat s hodnotou 5000. Ke statistickému porovnání transformovaných nativních EEG dat převedených do sLORETA souborů byly vybrány tři následující situace:

1. V první situaci byla porovnávána získaná data všech probandů během aktivního pohybu PHK v 1. diagonále PNF oproti počáteční klidové aktivitě EEG s otevřenými očima (dále jen PRE OE).

2. V druhé situaci byla porovnávána získaná data všech probandů během aktivního pohybu PHK v 1. diagonále PNF oproti pozorování stejného pohybu prováděného řešitelem práce před probandy

3. V třetí situaci byla porovnávána získaná data všech probandů během pozorování videa s ženou provádějící pohyb PHK v 1. diagonále PNF oproti pozorování videa s mužem provádějícím stejný pohyb jako žena.

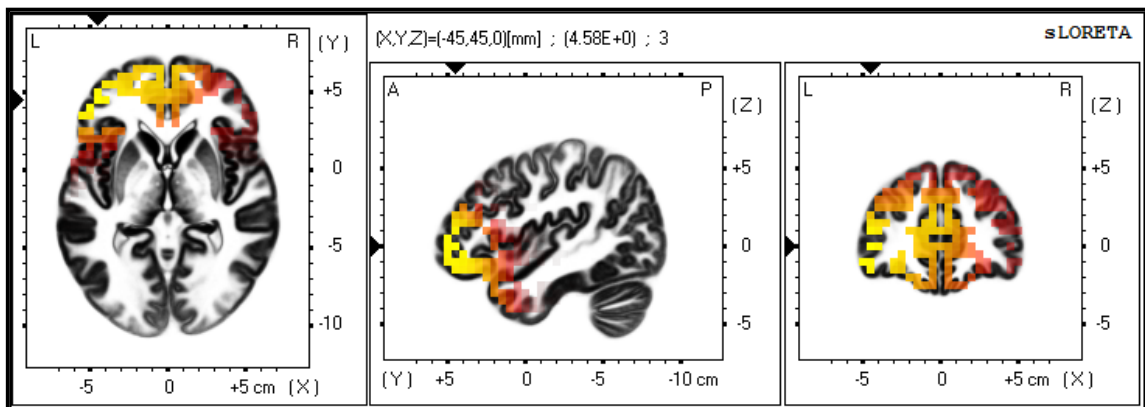
5 VÝSLEDKY

5.1 Rozdíl mezi aktivním pohybem a PRE OE

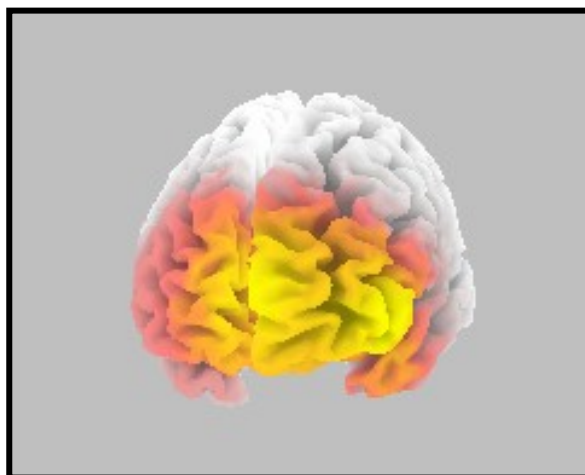
V první situaci došlo k porovnávání dat všech probandů získaných během provádění aktivního pohybu PHK (1. diagonála PNF) samotnými probandy oproti počátečnímu klidovému EEG záznamu s otevřenými očima (PRE OE). Po statistickém zpracování za pomoci sLORETA programu vyšla významná diference v aktivaci mozkových oblastí na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$ v pásmu alfa-1, beta-3 a theta.

1. Frekvenční pásmo alfa-1

Signifikantní diference proudových hustot je v tomto frekvenčním pásmu ve prefrontálním lobe BA 10 (gyrus frontale inferior) a BA 47-44, 38, 32, 11-9 (Obrázek č. 7 a 8).



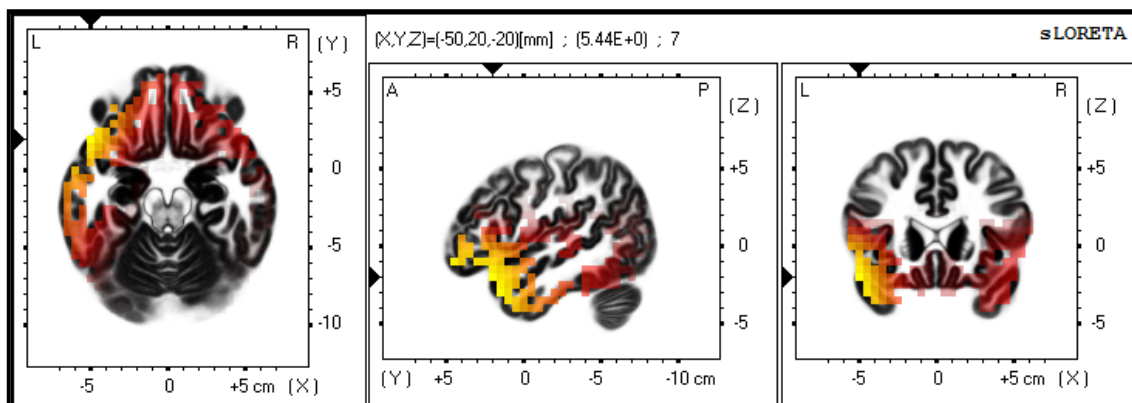
Obrázek č. 7: Statisticky významné voxely v alfa-1 frekvenčním pásmu mezi EEG aktivitou v průběhu provádění pohybu a klidovou EEG aktivitou před začátkem pohybu (Žluté a červené voxely zobrazují oblasti zvýšené aktivity v Brodmannových oblastech)



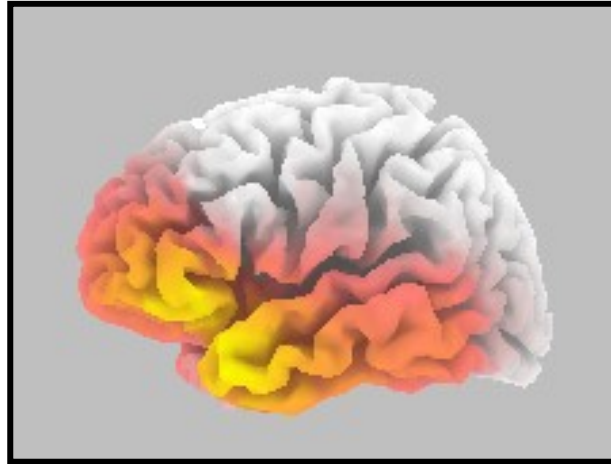
Obrázek č. 8: Statisticky významné voxely v alfa-1 frekvenčním pásmu mezi EEG aktivitou v průběhu provádění pohybu a klidovou EEG aktivitou před začátkem pohybu (Žluté a červené voxely zobrazují oblasti zvýšené aktivity v Brodmannových oblastech)

2. Frekvenční pásmo beta-3

Signifikantní diference proudových hustot je v tomto pásmu v temporálním lobu BA 38 (superior temporal gyrus) a BA 47-45, 37-36, 32, 22-20, 13, 11-10, 6 (Obrázek č. 9 a 10).



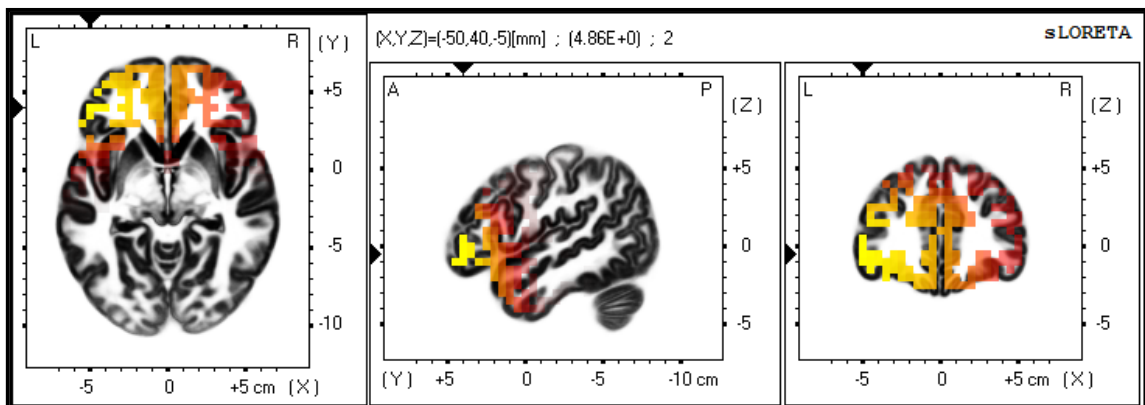
Obrázek č. 9: Statisticky významné voxely v beta-3 frekvenčním pásmu mezi EEG aktivitou v průběhu provádění pohybu a klidovou EEG aktivitou před začátkem pohybu (Žluté a červené voxely zobrazují oblasti zvýšené aktivity v Brodmannových oblastech)



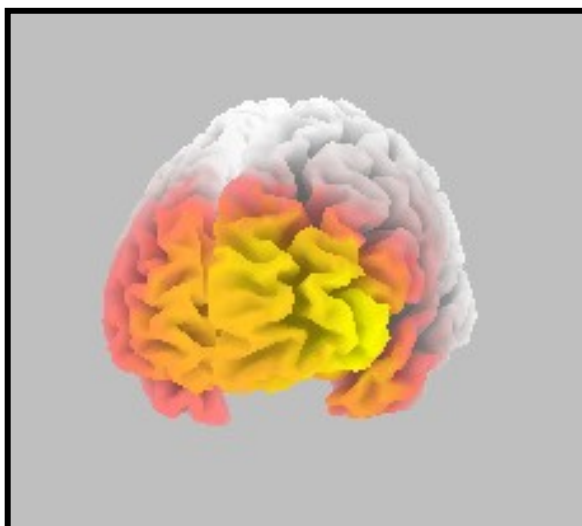
Obrázek č. 10: Statisticky významné voxely v beta-3 frekvenčním pásmu mezi EEG aktivitou v průběhu provádění pohybu a klidovou EEG aktivitou před začátkem pohybu (Žluté a červené voxely zobrazují oblasti zvýšené aktivity v Brodmannových oblastech)

3. Frekvenční pásmo theta

Signifikantní diference proudových hustot je v tomto pásmu ve frontálním lobu BA 47 (middle frontal gyrus) a BA 46-45, 38, 32, 25-24, 21, 13, 10-8 (Obrázek č. 11 a 12).



Obrázek č. 11: Statisticky významné voxely v theta frekvenčním pásmu mezi EEG aktivitou v průběhu provádění pohybu a klidovou EEG aktivitou před začátkem pohybu (Žluté a červené voxely zobrazují oblasti zvýšené aktivity v Brodmannových oblastech)



Obrázek č. 12: Statisticky významné voxely v theta frekvenčním pásmu mezi EEG aktivitou v průběhu provádění pohybu a klidovou EEG aktivitou před začátkem pohybu (Žluté a červené voxely zobrazují oblasti zvýšené aktivity v Brodmannových oblastech)

5.1.1 Souhrnné výsledky aktivního pohybu ke klidovému EEG s otevřenými očima

V tabulce jsou zaznamenány získané výsledky z první sledované situace. V prvním sloupci jsou uvedena frekvenční pásma, ve kterých došlo k významné diferenci v aktivaci BA. V následujících sloupcích jsou k těmto pásmům přiřazeny příslušné aktivované dominantní BA, dominantní loby a ostatní aktivované BA.

Tabulka č. 3: Souhrnné výsledky aktivního pohybu ke klidovému EEG s otevřenými očima (V tabulce jsou uvedeny signifikantní diference elektrické aktivity v jednotlivých frekvenčních pásmech spolu s aktivovanými BA)

Frekvenční pásmo	Dominantní BA	Dominantní lobus	Ostatní aktivované BA
Alfa-1	10 (gyrus frontale inferior)	Prefrontální	47- 44, 38, 32, 11-9
Beta-3	38 (superior temporal gyrus)	Temporální	47-45, 37-36, 32, 22-20, 13, 11-10, 6
Theta	47 (middle frontal gyrus)	Frontální	46-45, 38, 32, 25- 24, 21, 13, 10-8

5.2 Rozdíl mezi aktivním provedením pohybu a pozorováním pohybu

V druhé situaci došlo k porovnávání dat všech probandů získaných během provádění aktivního pohybu PHK (1. diagonála PNF) samotnými probandy oproti pozorování stejného pohybu prováděného řešitelem práce před probandy. V tomto případě nebyla nalezena žádná statisticky významná diference v aktivaci mozkových oblastí.

5.3 Rozdíl mezi pozorováním videa s ženou provádějící pohyb a videa s mužem provádějícím stejný pohyb

V poslední situaci došlo k porovnávání dat všech probandů získaných během pozorování videa s ženou provádějící pohyb PHK (1. diagonála PNF) oproti pozorování videa s mužem provádějícím stejný pohyb jako žena. Ani v tomto případě nebyla nalezena žádná statisticky významná diference v aktivaci mozkových oblastí.

6 DISKUZE

Existuje velké množství studií zabývajících se vztahem mezi pozorováním pohybu a prováděním totožného pohybu. Většina autorů tvrdí, že při pozorování pohybu dochází k aktivaci podobných mozkových oblastí, jako při provádění pohybu. Klíčovou roli přiřazují systému zrcadlových neuronů (Rizzolati, Craighero, 2004; Mulder, 2007; Catmur, 2013). Zajímavá je studie, ve které autoři tvrdí, že pro imaginaci pohybu je platný stejný fenomén, jako pro pozorování pohybu. Imaginace určitého pohybu tak zvyšuje kortikospinální excitabilitu stejně, jako by totožný pohyb byl prováděn (Vries, Mulder, 2007). Na druhou stranu jiní autoři dochází k závěru, že výraznější aktivace specifických oblastí zrcadlového systému nastává především při pozorování pohybu (O'Craven, Kanwisher, 2000).

6.1 Diskuze k hypotéze č. 1

H1: Předpokládám, že existuje statisticky významná diference mezi elektrickou aktivitou hodnocenou pomocí sLORETA programu v jednotlivých mozkových oblastech mezi aktivním pohybem a klidovým stavem s otevřenýma očima.

Byla nalezena signifikantní diference v aktivaci mozkových oblastí během aktivního pohybu v alfa-1, beta-3 a theta frekvenčním pásmu na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$. Tím lze stanovenou hypotézu pokládat za potvrzenou. Na popis funkcí jednotlivých BA byl použit kortikální atlas (Cortical Functions: Reference, 2012).

Ve frekvenční pásmu alfa-1 došlo k aktivaci areí 47-44, 38, 32, 11-9. Dominantně aktivovanou BA byla area 10 s největší aktivitou pozorovanou v prefrontálním lobu. BA 10 obecně participuje v procesech souvisejících s pamětí, konkrétně se aktivuje při paměťovém kódování, načítání paměťových stop a v tvorbě pracovní paměti. Dále se účastní v komplexu jazykových procesů. Area 10 je též zapojena při pozornosti na sensorické stimuly a hraje významnou roli v řešení problémů. Má tendenci se aktivovat při obzvláště obtížném uvažování a řešení problémů či úkolů, a to zejména těch, které vyžadují pozornost na více částí nebo využití analogických vztahů. V našem experimentu aktivace této arey mohla souviset s vybavováním paměťových stop vytvořených při pozorování pohybu před jeho

vykonáním. Lze se také domnívat, že probandi se intenzivně soustředili a snažili se zapamatovat si ukazovaný pohyb, aby byli poté schopni tento pohyb provést sami co nejprecizněji. Z tohoto důvodu mohlo dojít k přiřazení velké důležitosti tomuto úkonu.

Dalšími zapojenými BA byly arey 47-44. BA 47 souvisí s emocemi a motivací, podílí se na deduktivním logickém myšlení, pracovní a dlouhodobé epizodické paměti. Area 46 je obecně pokládána za nejvyšší kortikální areu zodpovědnou za motorické plánování, organizaci a regulaci pohybu. Hraje důležitou roli v integraci senzorických a mnesticých informací. Je též zapojena do procesu pracovní paměti. Z hlediska motoriky je také velmi důležité zapojení této oblasti do systému zrcadlových neuronů. BA 44 a 45 se podílí na pracovní a epizodické dlouhodobé paměti a na deklarativním paměťovém kódování. Tato oblast je též popisována jako oblast systému zrcadlových neuronů zodpovědných za expresivní pohyb. V našem experimentu aktivace těchto oblastí mohla obecně souviset s paměťovým procesem. Tedy procesem zapamatování si ukazovaného pohybu. Area 47 pak mohla být aktivována v návaznosti na vnitřní motivaci jedinců k provedení aktivního pohybu. Area 46 zase mohla plnit funkci kontroly samotného motorického provedení, tedy naplánování našeho zvoleného pohybu s následnou kontrolou.

Kromě výše zmíněných BA došlo k aktivaci arey 38, 32, 11 a 9. Area 38 je zodpovědná za multimodální vyhledávání v paměti. Area 32 se podílí na motorickém plánování a představivosti, na tvorbě, načítání a kódování pracovní paměti a je zapojena s areou 38 i do emoční reprezentace. BA 11 se podílí na procesu rozhodování a kódování nových informací do dlouhodobé paměti. BA 9 úzce souvisí s BA 10. Jejich funkce jsou tak velmi obdobné. V našem experimentu aktivace těchto areí mohla souviset s pamětí, tedy s procesem vyhledávání pozorovaného záznamu pro vlastní aktivní pohyb. Aktivace arey 32 mohla souviset s vlastním motorickým výkonem jedinců.

Ve frekvenční pásnu beta-3 byla dominantně aktivovanou area 38. Oproti alfa-1 pásnu zde byla největší aktivita nalezena v temporálním lobu. Rozdílná aktivace některých areí v beta frekvenčním pásnu souvisí s přechodem na jiné frekvenční pásmo. Beta aktivita je obrazem především zvýšené aktivity v jednotlivých oblastech. Beta vlny jsou spojovány s aktivním přemýšlením nebo řešením konkrétních problémů a úkolů, které vyžadují velkou míru soustředění a pozornosti (Sanei, Chambers, 2007).

V beta-3 frekvenčním pásmu došlo k aktivaci arey 47-45, 37, 32, 22,-20, 13, 11-10, 6. Oproti alfa-1 frekvenčnímu pásmu došlo k aktivaci BA 37- 36, 22-20, 13, 6.

Temporální lobus zahrnuje BA 38-36, 22- 20. Tyto oblasti jsou obecně zapojeny do různých aspektů paměti. Area 38 je zodpovědná za multimodální vyhledávání v paměti, area 37 se podílí na epizodickém kódování, area 22 hraje roli v procesu zapamatování si viděných úseků a area 36, 21 a 20 se podílí na pracovní paměti. Tyto oblasti se tedy obecně v našem experimentu mohly zapojit vzhledem k zapamatování si a následnému předvedení zvoleného pohybu. Vzhledem k velkému množství funkcí jednotlivých BA není možná jednoznačná interpretace. Uvádím proto další funkce jednotlivých oblastí a možné souvislosti s aktivací v našem experimentu.

BA 38 kromě paměti dále participuje v kontextu emocí. V oblasti emocí je zodpovědná za vizuální zpracování emocionálních obrazů a tvorbu citové vazby. Z dalších jejích funkcí lze jmenovat tvorbu morálního úsudku nebo její roli v deduktivním uvažování. Mezi další funkce arey 37 patří například její aktivita při rozpoznávání známých obličejů a přiřazování jmen k těmto známým obličejům. Dále se podílí na vizuálním pohybovém zpracování nebo vizuální fixaci. Za velmi zajímavou tak považuji možnou aktivaci arey 38 i vzhledem k citové vazbě probandů k řešiteli práce a aktérům na videu. Podobný závěr lze stanovit i u arey 37, vzhledem k její aktivaci při rozpoznávání známých obličejů. Jelikož mezi probandy, řešitelem práce a aktéry na videu je udržován úzký přátelský vztah, je možné spekulovat o aktivaci těchto areí i z tohoto hlediska.

Area 22 se dále podílí na vnímání emocí a společně s areou 21 i na deduktivním logickém myšlení. Area 20 hraje důležitou roli ve vizuální fixaci, vizuálním zpracování a integraci. V našem experimentu aktivace těchto areí může souviset s vybavováním si ukazovaného pohybového úkonu pro vlastní aktivní pohyb. Area 20 se u probandů mohla podílet na integraci vizuálních elementů do percepčních celků.

BA 13 je zapojena do motorického plánování, důležitou roli hraje také v problematice emoční reprezentace. BA 6 (gyrus praecentralis) se uplatňuje především v přípravě a změně pohybu. Funkce této arey přesahuje i do oblasti paměti, kde se podílí na pracovní, epizodické a topografické paměti. K aktivaci této arey dochází i při pozorování určité činnosti, zde je popisována významná souvislost se systémem zrcadlových neuronů. Aktivitu dále můžeme sledovat při plánování a řešení problémů a úkolů nebo deduktivním uvažování. U probandů tyto arey mohly hrát důležitou roli vzhledem k přípravě našeho zvoleného pohybu. Lze předpokládat, že area 6 se v našem

experimentu zapojila též v kombinaci s pamětí a vzhledem k řešení konkrétního pohybového úkolu.

Ve frekvenčním pásmu theta lze sledovat převahu aktivity ve frontálním lobe. Dominantní areou v tomto případě byla BA 47. V theta frekvenčním pásmu došlo k aktivaci arey 46-45, 38, 32, 25-24, 21, 13, 10-8. Oproti předchozím frekvenčním pásmům došlo k aktivaci BA 25-24 a 8.

BA 24 se podílí na motorickém plánování a představivosti, dále na kódování a načítání pracovní paměti. Je lokalizována v limbickém lobe (anterior cingulate), tím je též zapojena i do emoční reprezentace. Společně s BA 25 se aktivuje při pozornosti k prostoru a místu. Participují též na pracovní paměti. Mezi funkce BA 8 patří plánování exekutivních funkcí, aktivuje se při pracovní paměti, topografické paměti nebo sekvenčním učení. Lze tak předpokládat, že v našem experimentu jejich aktivace souvisela s paměťovým procesem.

S rozvojem zobrazovacích metod a tím i s lepší průkazností aktivace mozkových oblastí při různých činnostech, došlo k objevování stále dalším možných funkcí jednotlivých BA. Vzhledem k velkému počtu funkcí jednotlivých areí lze pozorovat velkou variabilitu v interpretaci jejich funkce u různých výzkumů jednotlivých autorů. Jako příklad lze uvést například BA 10. Starší výzkumy vysvětlují aktivaci této arey v motorickém pohybu horní končetinou ve vztahu k pracovní a epizodické paměti (Rugg et al., 1996; Tulving et al., 1996). Jiná část autorů interpretuje aktivaci této oblasti v daném úkonu spíše ve vztahu k široké škále kognitivních úkolů, pozornosti a řešení problémů (Johnson et al., 2002). Obdobně lze demonstrovat i například u BA 47. Obvykle je její aktivace interpretována v souvislosti s pracovní pamětí. Autoři nové studie z roku 2017 interpretují její aktivaci s tvrzením, že je aktivní v procesu uchopování předmětů. Navíc zmiňují i možné funkční zařazení této oblasti do oblasti Brocova centra. Domnívají se totiž, že tato area by mohla hrát jednu z hlavních rolí v úkonech spojených s řečí (Ardila et al., 2017).

Tyto skutečnosti jen poukazují na funkční propojenost a složitost jednotlivých mozkových oblastí. Je důležité mít proto na paměti, že jednoznačná interpretace zde není možná. Interpretace výsledků našeho experimentu je založena na studiu funkcí BA za pomoci kortikálního atlasu a následné aplikace těchto poznatků do charakteru našeho experimentu.

6.2 Diskuze k hypotéze č. 2

H2: Předpokládám, že neexistuje statisticky významná diference mezi elektrickou aktivitou hodnocenou pomocí sLORETA programu v jednotlivých mozkových oblastech mezi aktivním pohybem a sledováním stejného pohybu.

V tomto případě nebyla nalezena žádná statisticky významná diference v aktivaci mozkových oblastí, čímž došlo k potvrzení stanovené hypotézy. Při pohybu PHK v 1. diagonále PNF došlo k aktivaci podobných mozkových oblastí jako při pouhém pozorování tohoto pohybu. Vzhledem k tomu, že zde nebyly námi zvolenou metodikou nalezeny statisticky signifikantní diference, můžeme proto usuzovat na možnou aktivaci zrcadlového systému v našem experimentu. Pohyb horní končetinou dle 1. diagonály PNF byl vybrán na základě studia metodiky výzkumů o aktivaci zrcadlového systému. Z těchto výzkumů totiž vyplývá, že k jejich aktivaci dochází především při jednoduchých pohybech horních končetin. Vzhledem k tomu, že metoda PNF využívá přirozených pohybů v diagonálách, byl tento pohyb pro náš experiment ideální.

Jak už bylo v teoretické části této práce zmíněno, zrcadlové neurony jsou specifické asociační neurony, které jsou aktivní jak během provádění určitého pohybu, tak i během pozorování stejného pohybu (Rizzolati, Craighero, 2004; Catmur, 2013).

Lze se tedy domnívat, že neurony probandů „zrcadlily“ reakci jiných neuronů, jako by probandé náš zvolený pohyb prováděli sami. Lze tak spekulovat o jejich roli ve schopnosti nápodoby ukazovaného pohybu. Díky tomuto „zrcadlení“ pozorovaného pohybu mohlo dojít u probandů k vytvoření obdobné mapy stejné činnosti, která pak byla použita při vlastním provedení stejného pohybu.

Je důležité brát na vědomí fakt, že naše zvolená zobrazovací metoda EEG nemusela být zcela přesná. Vzhledem k faktu že existence zrcadlových neuronů byla poprvé popsána u makaků a základní experimentální postupy vycházely ze zavedení mikroelektrod do F5 oblasti opic pro snímání aktivity, tuto možnost z etického hlediska není možné aplikovat u lidí.

Je důležité si také uvědomit, že aktivace zrcadlových neuronů je spojena s mnoha vnitřními a vnějšími faktory (Ramachandran, 2013). Je tedy velmi nepravděpodobné, že vysvětlení fungování mozkových oblastí probandů

lze interpretovat pouze aktivitou zrcadlových neuronů. Je důležité přemýšlet v širším kontextu.

Pro podrobnější studium by bylo žádoucí zvýšit dobu provádění a pozorování jednotlivých úkonů, popřípadě zvýšit množství probandů. Tuto práci však lze vnímat jako pilotní experiment, jehož výsledky jsou přinejmenším velmi zajímavé a nabízí půdu pro další rozšíření.

6.3 Diskuze k hypotéze č. 3

H3: Předpokládám, že neexistuje statisticky významná diference mezi elektrickou aktivitou hodnocenou pomocí sLORETA programu v jednotlivých mozkových oblastech mezi sledováním videa s ženou provádějící aktivní pohyb horní končetinou a sledováním videa s mužem provádějícím stejný pohyb.

V poslední situaci došlo k porovnávání dat získaných během pozorování videa s ženou provádějící pohyb PHK v 1. diagonále PNF oproti pozorování videa s mužem provádějícím stejný pohyb. Ani v tomto případě nebyla nalezena statisticky signifikantní diference v aktivaci mozkových oblastí. Lze tedy pokládat všechny hypotézy za potvrzené.

Jak už různé záznamy dokládají, genderové rozdíly ve struktuře a různých funkcích lidského mozku byly předmětem spekulací již v Antice, kdy Aristoteles tvrdil, že mužský plod získává svou duši mnohem dříve než ten ženský. Zájem o tuto problematiku začal vzrůstat od 19. století. První studie z té doby tvrdí, že muži mají znatelně větší mozkové oblasti. Tyto nálezy byly interpretovány jako důkazy intelektuální nadřazenosti mužů (Hofman, Swaab, 1991). V současnosti počet výzkumů genderových rozdílů stále stoupá. Vzhledem k pokroku zobrazovacích metod, jsme schopni lépe zkoumat možné rozdíly.

Určité anatomické a funkční rozdíly mezi mužskými a ženskými mozky jsou již popsány. Tyto odlišnosti mají s určitou pravděpodobností vztah k rozdílům v chování i ke kognitivním funkcím. Bylo zjištěno, že organizace korových sítí je u žen větší, tzv. korové sítě jsou v ženském mozku výkonnější. Obecně přijímanou představou je, že muži obecně lépe zvládají prostorové úlohy, ženy zase ty slovní. Existují však i rozdíly v oblasti paměti, emoční reaktivity a empatie (Koukolík, 2013).

Výzkumy a každodenní zkušenosti ukazují, že ženy jsou více empatictější a vnímavější než muži. To klade otázku, zda se tyto vlastnosti odrážejí v mozkové aktivitě. Předpokládá se, že zrcadlové neurony hrají důležitou roli v empatických procesech a při přijímání sociálních signálů obecně (Grabowska, 2016).

Autoři studie z roku 2009 zjistili, že ženy mají podstatně větší objem šedé hmoty v pars opercularis a v inferiorním parietálním lobe, tedy v mozkových oblastech, kde se nacházejí sítě zrcadlových neuronů. U žen při odvozování vlastních emocí nebo emocí jiných lidí dochází k silnějšímu náboru oblastí, které jsou součástí zrcadlového neuronového systému (Cheng et al., 2009).

Otázka genderových rozdílů i v souvislosti zrcadlových neuronů tak dává zajímavý námět pro další možné výzkumy této problematiky.

7 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit za pomoci EEG analýzy zdrojové aktivity mozku rozdíly v aktivaci mozkových oblastí jedinců v klidu oproti pohybu, při pouhém sledování pohybu oproti aktivnímu pohybu a zhodnotit možné změny v aktivitě mozkových oblastí i z hlediska genderových rozdílů.

Znalost řídicích procesů patří mezi základní podmínky pro pochopení lidského motorického chování. Odpovědi mozku mají v každé situaci podobu konkrétních proudových hustot a to v různých oblastech mozkové tkáně. Shrnutí a pochopení složitých procesů aktivace mozkových oblastí při vlastním aktivním pohybu bylo předmětem této práce.

Díky EEG analýze a následnému statistickému zpracování a zobrazení v sLORETA programu byl získán přehled o statisticky signifikantních diferencích v aktivaci mozkových BA. Z výsledků vyplývá statisticky významný rozdíl v aktivaci mozkových oblastí při pohybu oproti klidové EEG aktivitě před začátkem pohybu. Díky sLORETA zobrazení, které přináší 3D obraz aktivovaných areí, lze lépe pochopit procesy, které v mozku vznikají při provádění motorického pohybu. V druhé pozorované situaci při porovnávání aktivního pohybu a pozorování stejného pohybu nedošlo k statisticky signifikantní diferencii v aktivaci mozkových BA. Jednou z interpretací této situace může být aktivace zrcadlového neuronového systému v našem experimentu. I přes možné důkazy genderových rozdílů z jiných výzkumů nedošlo v poslední sledované situaci při porovnávání sledování videa ženy provádějící pohyb PHK a muže provádějícím totožný pohyb k signifikantní statistické diferencii. Možným vysvětlením tohoto výsledku oproti jiným studiím s odlišnými závěry může být jednak nedostatečná velikost zkoumaného vzorku, dále pak nerovnoměrné rozložení mužů a žen v našem experimentu nebo krátké trvání sledovaných videí.

Přínos této diplomové práce vidím v nastínění problematiky zrcadlových neuronů a ve vlastním přiblížení složitosti aktivace mozkových oblastí při pohybu. Studium zrcadlových neuronů pro praxi fyzioterapeuta lze považovat za velmi důležité, jelikož hrají zásadní roli v motorických procesech, jako například v učení se nových či již zažitých pohybů nápodobou.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. AGLIOTI, S. M. et al. Action anticipation and motor resonance in elite basketball players. *Nature Neuroscience* [online]. 2008, 11, s. 1109-1116 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://www.nature.com/neuro/journal/v11/n9/abs/nn.2182.html>.
2. ALLISON, T., PUCE, A., MCCARTHY, G. Social perception from visual cues: role of the STS region. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2000, 4 (7), s. 267-278 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10859571>.
3. ALTSCHULER, E. L. et al. Rehabilitation of hemiparesis after stroke with a mirror. *Lancet* [online]. 1999, 353 (9), s. 2035-2036 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <http://fisioterapiamarlenemuller.com.br/pdfs/ALTSCHULER,1999%20Rehabilitation%20of%20hemiparesis%20after%20stroke%20with%20a%20mirror.pdf>.
4. AMBLER, Z. *Základy neurologie*. Šestá, přepracované a doplněné vydání. Praha: Galén, Karolinum, 2006, 351 s. ISBN 80-246-1258-5.
5. ARDILA, A. et al. Should Broca's area include Brodmann area 47? *Psicothema* [online]. 2017, 29 (1), s. 73-77 [cit. 2017-03-02]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28126062>.
6. ARYA, K. N. Underlying neural mechanisms of mirror therapy: Implications for motor rehabilitation in stroke. *Neurol India* [online]. 2016, 64 (1), s. 38-44 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26754990>.
7. BAUER, J. *Proč cítím to, co ty: Intuitivní komunikace a tajemství zrcadlových neuronů*. Grada Publishing a. s., 2015, 176 s. ISBN 978-80-247-5737-7.
8. BENTALL, R. P. et al. The cognitive and affective structure of paranoid delusions: a transdiagnostic investigation of patients with schizophrenia spectrum disorders and depression. *Arch Gen Psychiatry* [online]. 2009, 66 (3), s. 236-247 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <http://jamanetwork.com/journals/jamapsychiatry/fullarticle/483012>.
9. BUCCINO, G. et al. Action observation activates premotor and parietal areas in a somatotopic manner: an fMRI study. *European journal of neuroscience* [online].

- 2001, 13 (2), s. 400-404 [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11168545>.
10. BYBEL, B. et al. PET and PET/CT imaging: what clinicians need to know. *Cleveland Clinic Journal of Medicine* [online]. 2006, 73 (12), s. 1075-1087 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17190311>.
 11. CARR, L. et al. Neural mechanisms of empathy in humans: a relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of the National Academy of Science* [online]. 2003, 100 (9), s. 5497- 5502 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC154373/>.
 12. CARVALHO, D. et al. The mirror neuron system in post-stroke rehabilitation. *Int Arch Med* [online]. 2013, 6 (1), s. 41-47 [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4016580/>.
 13. CATMUR, C. Sensorimotor learning and the ontogeny of the mirror neuron system. *Neuroscience Letters* [online]. 2013, 540, s. 21-27 [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304394012013134>.
 14. *Cortical Functions: Reference* [online]. Hong Kong: Trans Cranial Technologies ldt., 2012 [cit. 2017-02-02]. Dostupné z: https://www.transcranial.com/local/manuals/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf.
 15. CRONE, N. E. et al. Induced electrocorticographic gamma activity during auditory perception. *Clinical Neurophysiology* [online]. 2001, 112 (4), s. 565-582 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245700005459>.
 16. DENIS, D. et al. The role of cortical sensorimotor oscillations in action anticipation. *NeuroImage* [online]. 2017, 146, s. 1102-1114 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811916305766>.
 17. DINSTEIN, I. et al. Brain Areas Selective for Both Observed and Executed Movements. *J Neurophysiol.* [online]. 2007, 98 (3), s. 1415-1427 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2538553/>.
 18. DI PELLEGRINO, G. et al. Understanding motor events: a neurophysiological study. *Experimental Brain Research* [online]. 1992, 91 (1), s. 176-180 [cit. 2017-01-15]. Dostupné z:

- <https://pdfs.semanticscholar.org/2787/d376f9564122d7ed584d3f2b04cb4ba5376d.pdf>.
19. DUNN, J. et al. Virtual and augmented reality in the treatment of phantom limb pain: A literature review. *NeuroRehabilitation* [online]. 2017, 13, s. 1-7 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28211829>.
 20. DYLEVSKÝ, I. *Speciální kineziologie*. Grada, 2009, 184 s. ISBN 978-80-247-1648-0.
 21. FADIGA, L. et al. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *J Neurophysiol* [online]. 1995, 73 (6), s. 2608–2611 [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7666169>.
 22. FADIGA, L., CRAIGHERO, L., D'AUSILIO, A. Broca's area in language, action, and music. *Ann N Y Acad Sci* [online]. 2009, 1169, s. 448-458 [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19673823/>.
 23. FERRARI, P. F., RIZZOLATTI, G. Mirror neuron research: the past and the future. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* [online]. 2014, 369 (44), s. 203-214 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/royptb/369/1644/20130169.full.pdf>.
 24. FOGASSI, L. et al. Parietal Lobe: From Action Organization to Intention Understanding. *Science* [online]. 2005, 29, s. 662-667 [cit. 2017-01-20]. Dostupné z: <http://science.sciencemag.org/content/308/5722/662.full>.
 25. GALLESSE, V. et al. Action recognition in the premotor cortex. *Brain* [online]. 1996, 119, s. 593-609 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304394012013134>.
 26. GALLESSE, V. Before and below 'theory of mind': embodied simulation and the neural correlates of social cognition. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Science* [online]. 2007, 362, s. 659-669 [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2346524/>.
 27. GOLDMAN, A., DE VIGNEMONT, F. Is social cognition embodied? *Trends in Cognitive Science* [online]. 2009, 13, s. 154-159 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://fas-philosophy.rutgers.edu/goldman/Is%20Social%20Cognition%20Embodied.pdf>.

28. GRABOWSKA, A. Sex on the brain: Are gender-dependent structural and functional differences associated with behavior? *Journal of Neuroscience Research* [online]. 2016, 95, s. 200-212 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jnr.23953/full>.
29. GRAFTON, S. T. et al. Localization of grasp representations in humans by positron emission tomography. Observation compared with imagination. *Exp Brain Res* [online]. 1996, 112 (1), s. 103-111 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8951412>.
30. HANLING, S. R. et al. Pre-emptive mirror therapy may prevent development of phantom limb pain: a case series. *Anesth Analg* [online]. 2010, 110 (2), s. 611-614 [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19917622>.
31. HOFMAN, M. A., SWAAB, D. F. Sexual Dimorphism of the Human Brain: Myth and Reality. *Exp Clin Endocrinol* [online]. 1991, 98 (2), s. 161-170 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1778230>.
32. HOLMES, P., CALMELS, C. A. Neuroscientific Review of Imagery and Observation Use in Sport. *Journal of Motor Behavior* [online]. 2008, 40 (5), s. 433-445 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18782718>.
33. CHARTRAND, T. L., BARGH, J. A. The chameleon effect: The perception-behavior link and social interaction. *Journal of personality and social psychology* [online]. 1999, 76 (6), s. 893-910 [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10402679>.
34. CHENG, Y. et al. Sex differences in the neuroanatomy of human mirror-neuron system: a voxel-based morphometric investigation. *Neuroscience* [online]. 2009, 158 (2), s. 713-720 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19010397>.
35. CHLEBUS, P., MIKL, M., BRÁZDIL, M. Funkční magnetická rezonance- úvod do problematiky. *Neurologie pro praxi* [online]. 2005, 3, s. 133-139 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.neurologiepropraxi.cz/pdfs/neu/2005/03/03.pdf>.
36. IACOBONI, M., DAPRETTO, M. The mirror neuron system and the consequences of its dysfunction. *Nature Reviews Neuroscience* [online]. 2006, 7 (12), s. 942-951 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17115076>.

37. JANDA, V. *Základy kliniky funkčních (neparetických) hybných poruch*. Učební text. První vydání. Brno: Ústav pro další vzdělávání středních zdravotnických pracovníků, 1982. 139 s. Výt. číslo 447/82.
38. JOHNSON, S. C. et al. Neural correlates of self-reflection. *Brain* [online]. 2002, 125 (8), s. 1808–1814 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <https://academic.oup.com/brain/article/125/8/1808/332451/Neural-correlates-of-self-reflection>.
39. KOHLER, E. et al. Hearing Sounds, Understanding Actions: Action Representation in Mirror Neurons. *Science* [online]. 2002, 2, s. 846-848 [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: <http://old.unipr.it/arpa/mirror/pubs/pdf/Kohler-Keysers%202002.pdf>.
40. KOLÁŘ, P. et al. *Rehabilitace v klinické praxi*. První vydání. Praha: Galén, 2009, 713 s. ISBN 978-80-7262-657-1.
41. KOUKOLÍK, F. *Lidský mozek*. Třetí, přepracované a doplněné vydání. Praha: Galén, 2012, 400 s. ISBN 978-80-7262-771-4.
42. KOUKOLÍK, F. *Proč se Dostojevskij mýlil?* Praha: Galén, 2013, 216 s. ISBN 978-80-7262-482-9.
43. MALLE, B. F., MOSES, J. L., BALDWIN, D. A. *Intentions and intentionality: foundations of social cognition*. MIT Press, 2003, 433 s. ISBN 9780262133869.
44. MICHIENSEN, M. E. et al (a). Motor recovery and cortical reorganization after mirror therapy in chronic stroke patients: a phase II randomized controlled trial. *Neurorehabil Neural Repair* [online]. 2011, 25 (3), s. 223-233 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21051765>.
45. MICHIENSEN, M. E. et al (b). The neuronal correlates of mirror therapy: an fMRI study on mirror induced visual illusions in patients with stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* [online]. 2011, 82 (4), s. 393-398 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20861065/>.
46. MITRA, S. et al. Comparing mirror neuron system activity between sporadic and familial cases of schizophrenia. *Asian J Psychiatr* [online]. 2016, 21, s. 17-18 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27208448>.
47. MOLENBERGHS, P., CUNNINGTON, R., MATTINGLEY, J. B. Is the mirror neuron system involved in imitation? A short review and meta-analysis.

- Neuroscience Biobehav Rev* [online]. 2009, 33 (7), s. 975-980 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19580913>.
48. MOONEY, R. Auditory – vocal mirroring in songbirds. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* [online]. 2014, 369, s. 213-220 [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/369/1644/20130179>.
49. MORÁŇ, M. *Praktická elektroencefalografie*. 1. vydání. Brno: Institut pro další vzdělávání pracovníků ve zdravotnictví, 1995, 146 s. ISBN 80-701-3203-5.
50. MULDER, T. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *Journal of Neural Transmission* [online]. 2007, 114 (10), s. 1265-1278 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2797860/pdf/702_2007_Article_763.pdf.
51. MYSLIVEČEK, J. *Základy neurovědy*. Druhé, rozšířené a přepracované vydání. Triton, 2009, 390 s. ISBN 978-80-7387-088-1.
52. NAŇKA, O., ELIŠKOVÁ, M. *Přehled anatomie*. Druhé, doplněné a přepracované vydání. Praha: Galén, 2009, 416 s. ISBN 978-80-7262-612-0.
53. NEWMAN-NORLUND, R. D. et al. The mirror neuron system is more active during complementary compared with imitative action. *Nature neuroscience* [online]. 2007, 10 (7), s. 817-818 [cit. 2017-02-09]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17529986>.
54. O'CRAVEN, K. M., KANWISHER, N. Mental imagery of faces and places activates corresponding stimulus-specific brain regions. *Journal of cognitive neuroscience* [online]. 2000, 12 (6), s. 1013-1023 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.208.3255&rep=rep1&type=pdf>.
55. ODEWITT, M. Autism and anorexia nervosa: Two facets of the same disease? *Medical Hypotheses* [online]. 2010, 75 (1), s. 79-81 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20176449>.
56. OREL, M. *Nervové buňky a jejich svět*. Grada Publishing a.s., 2015, 216 s. ISBN 978-80-247-9057-2.
57. PASCUAL-MARQUI, R. D. Review of Methods for Solving the EEG Inverse Problem. *International Journal of Bioelectromagnetism* [online]. 1999, 1 (1), s.

- 75-86 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <https://www.brainmaster.com/software/pubs/brain/loreta/TechnicalDetails.pdf>.
58. PASCUAL- MARQUI, R. D. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods Find Exp Clin Pharmacol* [online]. 2002, 24, s. 5-12 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12575463>.
59. PASCUAL-MARQUI, R. D. et al. Low resolution brain electromagnetic tomography (LORETA) functional imaging in acute, neuroleptic-naive, first-episode, productive schizophrenia. *Psychiatry Res* [online]. 1999, 90 (3), s. 169-179 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10466736>.
60. PASCUAL-MARQUI, R. D., MICHEL, C. M., LEHMANN, D. Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *Int J Psychophysiol* [online]. 1994, 18 (1), s. 49-65 [cit. 2017-02-25]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7876038>.
61. PAUKNER, A. et al. Neonatal Imitation Predicts How Infants Engage with Faces. *Developmental Science* [online]. 2014, 17 (6), s. 833-840 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4211944/>.
62. PÁNEK, D. *Elektroencefalografické koreláty pohybového chování a výkonnostní zátěže*. Karolinum, 2016, 106 s. ISBN 978-80-246-3459-3.
63. RAMACHANDRAN, V. S. *Encyclopedia of Human Behavior*. Second edition. Academic Press, 2012, 651 s. ISBN 978-0-08-096180-4.
64. RAMACHANDRAN, V. S. *Mozek a jeho tajemství*. Praha: Dybbuk, 2013, 416 s. ISBN 978-80-7438-080-8.
65. RAMACHANDRAN, V. S., HIRSTEIN, W. The perception of phantom limbs. The D. O. Hebb lecture. *Brain* [online]. 1998, 121 (9), s. 1603-1630 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9762952>.
66. RIZZOLATTI, G., CRAIGHERO, L. The Mirror- neuron systém. *Annual Review of Neuroscience* [online]. 2004, 27 (1), s. 169-192 [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144230?url_ver=Z39.88-2003&rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&journalCode=neuro.

67. RIZZOLATTI, G., FADIGA, L. Grasping objects and grasping action meanings: the dual role of monkey rostroventral premotor cortex (area F5). *Novartis Found Symp* [online]. 1998, 218, s. 81-103 [cit. 2017-01-13]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9949817>.
68. RIZZOLATTI, G. et al. Premotor cortex and the recognition of motor actions. *Cognitive Brain Research* [online]. 1996, 3 (2), s. 131–141 [cit. 2017-01-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8713554>.
69. RUGG, M. D. et al. Differential activation of the prefrontal cortex in successful and unsuccessful memory retrieval. *Brain* [online]. 1996, 119, s. 2073-2083 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.587.7885&rep=rep1&type=pdf>.
70. SAFFIN, J. M., TOHID, H. Walk like me, talk like me. The connection between mirror neurons and autism spectrum disorder. *Neurosciences* [online]. 2016, 21 (2), s. 108–119 [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5107264/>.
71. SANEI, S., CHAMBERS, J. A. *EEG Signal Processing*. Wiley, 2007, 313 s. ISBN 9780470025819.
72. SARKAMO, T. et al. Music listening enhances cognitive recovery and mood after middle cerebral artery stroke. *Brain* [online]. 2008, 131 (3), s. 866-876 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18287122/>.
73. SHIMADA, S. Modulation of Motor Area Activity by the Outcome for a Player during Observation of a Baseball Game. *Plos One* [online]. 2009, 4 (11), s. 115-120 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2777338/>.
74. SHMUELOF, L., ZOHARY, E. Mirror-image representation of action in the anterior parietal cortex. *Nature Neuroscience* [online]. 2008, 11, s. 1267-1269 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18820694>.
75. SCHURMANN, M. et al. Manifest disease and motor cortex reactivity in twins discordant for schizophrenia. *The British Journal of Psychiatry* [online]. 2007, 191 (2), s. 178-179 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <http://bjp.rcpsych.org/content/191/2/178>.
76. SIMPSON, E. A. et al. Visual attention during neonatal imitation in newborn macaque monkeys. *Developmental Psychobiology* [online]. 2014. 56 (4), s. 864-

- 870 [cit. 2017-02-18]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3805767/>.
77. SYNEK, S., SKORKOVSKÁ, Š. *Fyziologie oka a vidění*. Druhé, doplněné a přepracované vydání. Grada Publishing a.s., 2014, 108 s. ISBN 978-80-247-3992-2.
78. TALAIRACH, J., TOURNOUX, P. *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. Thieme Medical Publishers, 1988, 122 s. ISBN 3137117011.
79. TILLMANN, B., JANATA, P., BHARUCHA, J. J. Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Brain Res Cogn Brain Res* [online]. 2003, 16 (2), s. 145-161 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12668222/>.
80. TROJAN, S. et al. *Fyziologie a léčebná rehabilitace motoriky člověka*. Třetí, přepracované a doplněné vydání. Grada Publishing a.s., 2005, 240 s. ISBN 8024712962.
81. TROJAN, S. et al. *Lékařská fyziologie*. Čtvrté, přepracované a doplněné vydání. Grada Publishing a.s., 2003, 772 s. ISBN 80-247-0512-5.
82. TUČEK, J. Transkraniální magnetická stimulace a její možnosti v psychiatrii. *Psychiatrie pro praxi* [online]. 2002, 3, s. 121-123 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <http://www.psychiatriepropraxi.cz/pdfs/psy/2002/03/07.pdf>.
83. TULVING, E. et al. Novelty and familiarity activations in PET studies of memory encoding and retrieval. *Cerebral Cortex* [online]. 1996, 6 (1), s. 71-79 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8670640>.
84. UMLTA, M. A. et al. I Know What You Are Doing: A Neurophysiological Study. *Neuron* [online]. 2001, 31 (1), s. 155-165 [cit. 2017-02-10]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0896627301003373>.
85. VANDERWERT, R. et al. Spectral characteristics of the newborn rhesus macaque EEG reflect functional cortical activity. *Physiol Behav* [online]. 2012, 107 (5), s. 787-791 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3465641/>.
86. VANVUCHELEN, M., ROEYERS, H., DE WEERDT, W. Nature of motor imitation problems in school-aged boys with autism A motor or a cognitive problem? *Autism* [online]. 2017, 1 (3), s. 225-240 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17478576>.

87. VAN WIJCK, F. et al. Making music after stroke: using musical activities to enhance arm function. *Ann N Y Acad Sci* [online]. 2012, 1252, s. 305-311 [cit. 2017-02-14]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22524372/>.
88. VÉLE, F. *Kineziologie*. 2. rozšířené a přepracované vydání. Triton, 2006, 375 s. ISBN 80-7254-837-9.
89. VOJTĚCH, Z. *EEG v epileptologii dospělých*. 1. vydání., Grada, 2005, 680 s. ISBN 80-247-0690-3.
90. VRIES, S., MULDER, T. Motor imagery and stroke rehabilitation: a critical discussion. *Journal of Rehabilitation Medicine* [online]. 2007, 39 (1), s. 5-13 [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <https://jsmf.org/meetings/2008/may/de%20Vries%20&%20Mulder%202007.pdf>
91. WICKER, B. et al. Both of us disgusted in my insula: the common neural basis of seeing and feeling disgust. *Neuron* [online]. 2003, 40 (3), s. 655-664 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14642287>.
92. WILSON, M., KNOBLICH, G. The case for motor involvement in perceiving conspecifics. *Psychol Bull* [online]. 2005, 131 (3), s. 460-473 [cit. 2017-02-24]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15869341>.

9 PŘÍLOHY

Seznam příloh

Příloha č. 1: Souhlas Etické komise UK FTVS

Příloha č. 2: Informovaný souhlas

Příloha č. 3: Seznam obrázků

Příloha č. 4: Seznam tabulek

Příloha č. 5: Seznam použitých zkratk