

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2017

Bc. Tereza Novotná

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu
Katedra fyzioterapie

**Porovnání mozkové aktivity pomocí sLORETA
mezi Feldenkraisovou metodou a vizuální stimulací**

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:
MUDr. David Pánek, Ph.D.

Vypracovala:
Bc. Tereza Novotná

Praha, 2017

Prohlašuji, že jsem závěrečnou (bakalářskou/diplomovou) práci zpracoval/a samostatně a že jsem uvedl/a všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

.....

podpis diplomanta

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

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu práce MUDr. Davidovi Pánkovi, Ph.D. za seznámení s tak zajímavým tématem, odborné vedení a důvěru při zpracování. Další velké poděkování patří konzultance Mgr. Jitce Vařekové, Ph.D. za její pomoc a vlídná slova.

Abstrakt

Název diplomové práce: Porovnání mozkové aktivity pomocí sLORETA mezi Feldenkraisovou metodou a vizuální stimulací

Cíle práce: Cílem práce je vyhodnotit intracerebrální zdrojovou aktivitu v průběhu jednoduchého pohybu paže inspirovaném Feldenkraisovou metodou a porovnat ho jednak s vizuální stimulací téhož pohybu pomocí videozáznamu, jednak s imaginací téhož pohybu. Pohyb vycházející z Feldenkraisovy metody byl zjednodušen na opakovaně provednou flexi dominantní horní končetiny. Zdrojová aktivita byla hodnocena z povrchového EEG a vyhodnocena pomocí sLORETA programu.

Metody: K získání dat byla vytvořena experimentální studie obsahující vzorek 12 probandů ve věku 22-60 let, s věkovým průměrem 27 let, obou pohlaví. Participantům byla změřena mozková aktivita pomocí skalpového EEG přístroje při provedení flexe dominantní horní končetiny inspirovaném Feldenkraisovou metodou. Experiment se skládal z pěti částí: 1. klidové EEG vyšetření s otevřenými a zavřenými očima, 2. aktivní provedení flexe dominantní horní končetiny s otevřenými očima, 3. aktivní provedení flexe dominantní horní končetiny se zavřenými očima, 4. sledování videozáznamu s opakovaným pohybem dominantní horní končetiny do flexe, 5. imaginace flexe dominantní horní končetiny se zavřenými očima. Každá část trvala dvě minuty. Mezi jednotlivé části byla vždy vložena dvouminutová pauza. EEG signál získaný z jednotlivých částí byl v sLORETA programu převeden do podoby výsledků zobrazitelných v 3D Talarachově systému. Statistické vyhodnocení proběhlo také v sLORETA programu za použití Studentova t-testu. Porovnána byla data během aktivního pohybu se zavřenými očima oproti imaginaci pohybu a aktivní pohyb s otevřenými očima oproti vizualizaci pohybu.

Výsledky: Výsledky diplomové práce ukázaly statisticky významnou diferenci v intracerebrální aktivitě po zpracování dat z EEG pomocí programu sLORETA. Porovnána byla imaginace pohybu paže inspirovaného Feldenkraisovou metodou s aktivním pohybem se zavřenými očima. Zde se ukázala signifikantní diference na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$ v oblastech spojovaných s motorickým učením (BA 4 a 6) a v temporoparietálním kortexu zajišťujícím rozsáhlejší sensorické a paměťové procesy (BA 3, 22, 42, 43). V druhé části experimentu, porovnání vizuální stimulace s aktivním pohybem s otevřenými očima, došlo ke zvýšení intracerebrální mozkové aktivity ve všech frekvenčních pásmech beta na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$ ($p \leq 0,5$ pro beta-1) v okcipitálním kortexu, který

zajišťuje sledování pohybu, a již byl některými studii potvrzený jako „zrcadlová oblast“ (BA 17, 18 a 19). Dále byly v této části aktivovány arey v parietálním (BA 5, 7, 39, 40) a temporálním kortexu (BA 20-22, 37, 39, 41, 42).

Klíčová slova: sLORETA, mozková aktivita, Feldenkraisova metoda, imaginace pohybu, vizuální stimulace, zrcadlové neurony, Brodmannovy arey

Abstract

Title of thesis: Source analysis and comparison of Feldenkrais inspired movement and visual stimulation using sLORETA

Objectives: The thesis aim is to evaluate intracerebral source activity during a simple arm movement inspired by Feldenkrais method and to compare it with a visual stimulation of the same movement presented in a clip and with an imagination of the same movement. The movement inspired by Feldenkrais method was simplified to a repeated flexion of the dominant arm. Source analysis was evaluated from EEG and processed using sLORETA program,

Methods: To obtain the data, experimental group was put together containing 12 participants aged 22-60, (mean = 27.2), both genders included. Participants were subjected to one-off measurement by the EEG instrument. Feldenkrais inspired movement of a flexion of a dominant upper right arm was investigated. The experiment consisted of six parts: 1. native EEG record with eyes closed and open, 2. active flexion of the dominant upper arm with eyes closed, 3. active flexion of the dominant upper arm with eyes opened, 4. watching video presenting repeated upper arm flexion, 5. dominant upper arm flexion imagination with eyes closed. Every part lasted for two minutes. Between individuals parts was inserted a pause. Obtained EEG data were processed with sLORETA software to localize activity in brain cortex. Results of individual participants were subjected to Student's paired t-test in order to draw a final conclusion. Data in the active movement with closed eyes was compared with the imagination of the same action, which is used as a part of Feldenkrais method. Brain activity in the same movement with open eyes was compared with the activity in visual stimulation during which respective participants watched a clip of the same movement.

Results: The results of this thesis showed, after processing EEG data in sLORETA software, statistically significant difference in brain activity in comparison of both parts of the research. In localization of brain activity in the movement inspired by Feldenkrais method with closed eyes the result showed a statistical significance of $p \leq 0,01$ at the frequency zone theta in regions associated with motor learning (BA 4 and 6) and in temporoparietal cortex associated with broader sensoric and memory processes (BA 3, 22, 42, 43). In the second part of the experiment, comparison of the active movement with eyes opened with visual stimulation were shown, with a statistical significance of $p \leq 0,01$ for frequency zone beta-2, beta-3 and $p \leq 0,5$ for beta-1, was found a difference in occipital cortex associated movement observation

and mirror neuron regions (BA 17, 18 a 19). Furthermore were activated areas in parietal (BA 5, 7, 39, 40) and temporal cortex (BA 20-22, 37, 39, 41, 42).

Keywords: sLORETA, brain activity, Feldenkrais method, movement imagination, visual stimulation, mirror neurons, Brodmann's areas

OBSAH

1. ÚVOD	10
2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE	12
2.1. Zrcadlové neurony.....	12
2.1.1. Počátek výzkumu zrcadlových neuronů u makaků.....	12
2.1.2. Zrcadlové neurony u lidí.....	13
2.1.3. Vliv zrcadlových neuronů na motorické chování	14
2.1.4. Systém zrcadlových neuronů v souvislostech.....	15
2.2. Imaginace pohybu	16
2.3. Řízení motoriky.....	20
2.3.1. Rozdělení korových oblastí dle klinického významu	21
2.3.2. Brodmannovy arey.....	21
2.4. Feldenkraisova metoda.....	25
2.4.1. Přiblížení metody	25
2.4.2. Historie.....	26
2.4.3. Současná podoba metody.....	26
2.4.4. Obecné principy vědomého pohybu	27
2.4.5. Dosavadní výzkum.....	28
2.5. Zobrazení mozkové aktivity.....	29
2.5.1. Elektroencefalografie	30
2.5.2. Systém rozmístění elektrod.....	31
2.5.3. Zpracování signálu.....	31
2.5.4. Kvantitativní elektroencefalografie	32
2.5.5. sLORETA	32
2.5.6. Typy encefalografických aktivit	34
2.5.7. EEG koreláty vizuální stimulace a imaginace pohybu	34
3. CÍLE, ÚKOLY A HYPOTÉZY.....	38

3.1.	Cíle práce.....	38
3.2.	Úkoly práce	38
3.3.	Hypotézy	39
4.	METODIKA PRÁCE	40
4.1.	Výzkumný soubor	40
4.2.	Sběr dat.....	40
4.2.1.	Teoretická část	40
4.2.2.	Experimentální část.....	40
4.3.	Průběh měření	41
4.4.	Analýza a zpracování dat	43
4.5.	Statistické vyhodnocení dat.....	43
5.	VÝSLEDKY	45
5.1.	Statistické vyhodnocení „Move CE vs. imaginace CE“	45
5.2.	Statistické vyhodnocení „Move OE vs. video OE“	47
6.	DISKUZE	51
6.1.	Diskuze k hypotéze č. 1.....	51
6.2.	Diskuze k hypotéze č. 2.....	53
7.	ZÁVĚR	56

1. ÚVOD

Pohyb je základním projevem živého organismu, a proto i u člověka má zcela mimořádný význam. Pohybová funkce je složitý děj, na kterém se podílí mnoho struktur a funkčních celků lidského těla. Řízena je centrálním nervovým systémem, ale vliv na ni mají prakticky veškeré děje, tělesné i duševní, které v lidském těle probíhají. Proto je hledání řešení při zlepšení pohybové funkce fascinující proces. Za cílem ideálně fungujícího motorického systému je možné se vydat mnoha cestami.

Výzkumy posledních desetiletí přináší nové poznatky o neuroplasticitě a rozsáhlých možnostech motorického učení. Neuroplasticitou je zde míněna schopnost adaptace lidského mozku. K dosažení takové změny na centrální úrovni se používají mnohé koncepty tvořící ucelené metodiky s různými přístupy. Jedním ze způsobů jakým dosáhnout zlepšení funkce motorického systému je i Feldenkraisova metoda (dále jen FM).

Feldenkraisova metoda je systém obsahující idey a principy týkající se účinného pohybu a efektivní organizace pohybu. Komplexním přístupem řeší funkční obtíže částí a integruje je do pohybových vzorců celého těla. K FM neodmyslitelně patří i část nácviku, kdy pohyb probíhá pouze v představě. Mentální obraz pohybu se využívá jak při přípravě sportovců před výkonem, tak i u lidí s amputovanými částmi těla nebo ke stimulaci nepohyblivých částí těla. V nynější době je k dispozici již mnoho výzkumů zabývajících se přímo FM, jejími pozitivními účinky na pohybové funkce a stereotypy po jednorázové či opakované intervenci a celkové emoční naladění organismu. Změnám mozkové aktivity během samotné intervence bylo však věnováno málo pozornosti.

Další možností osvojení motorické zkušenosti je skrz imitační učení využívající zrakovou percepci. Jelikož velká část pohybového repertoáru naučená v dětství, byla "odkoukána" od ostatních, je učení vizuální stimulací přirozené a děje se tak většinou bez vědomé kontroly. Tuto schopnost primátů a lidí mají na svědomí takzvané zrcadlové neurony, které se aktivují jak při samotném provedení pohybu, tak i sledování pohybu u ostatních.

Tato diplomová práce má za cíl prozkoumat mozkovou aktivitu během pohybu inspirovaného FM s otevřenými i zavřenými očima, za použití auditivní stimulace, ústně vydaných pokynů

směrem k pacientovi, které jsou ve fyzioterapii nejčastějším způsobem spolupráce a porovnat lokalizaci mozkové aktivity s aktivací zrcadlových neuronů při sledování stejného pohybu. Důvodem výběru tématu je pozitivní přínos Feldenkraisovy metody pro obor fyzioterapie. FM umožňuje zlepšení pohybové funkce vytvořením vhodných podmínek pro motorické učení. A to kvalitním způsobem i mimo rámec fyzioterapie. Metoda vkládá možnost změny do rukou každého, kdo se rozhodne cvičit a vylepšit své pohybové schopnosti. Toto převzetí zodpovědnosti má důležitý význam v celkovém přístupu k vlastnímu zdraví.

2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

2.1. Zrcadlové neurony

Systém zrcadlových neuronů je považován za podpůrný neurální mechanismus pro porozumění pohybové akce (De la Rosa et al., 2016). Jde o skupinu neuronů reagujících jednak na pouhé pozorování motorické akce, stejně jako na samotné vykonání cíleného pohybu (Berrol, 2006; Molenberghs, 2012). Zjednodušeně můžeme říci, že jsou to neurony schopné najít shodu mezi pozorováním a vykonáním akce.

Před objevem zrcadlových neuronů (dále jen ZN) se vědci domnívali, že náš mozek používá logické procesy vycházející z předchozí zkušenosti k interpretaci a predikci pohybové akce u ostatních jedinců. Nyní je zřejmé, že k těmto dějům dochází díky ZN a pravděpodobně se tyto neurony účastní i dalších lidských interakcí a komplexních emočních reakcí (Buccino et al., 2006; Molenberghs et al., 2012).

2.1.1. Počátek výzkumu zrcadlových neuronů u makaků

Na začátku devadesátých let 20. století italsí vědci aplikovali elektrody do mozku makaků a studovali aktivitu jejich mozku během rozličných motorických úkolů, včetně příjmu potravy. Během experimentu se náhodou jeden z vědců natáhl pro jídlo a u pozorujícího makaka se aktivoval premotorický kortex, stejně jako při provedení samotné motorické akce, která byla předtím zkoumána. V opičím mozku se jednalo o oblast F5, u které se předpokládá homogenita s oblastí Brodmannovy arey (dále jen BA) 44 u lidí (Rizzolatti, 1992).

Charakteristická odpověď ZN u makaků přivedla vědce k domněnce, že systém ZN by mohl být chybějícím článkem k porozumění lidského chování ve vztahu mezi percepcí a vykonáním pohybové akce. Tedy tím, co člověku umožňuje efektivní propojení pozorovaného ve spojení s aktivitou vlastního motorického systému (Rizzolatti, 2004; Rizzolatti, Sinigaglia, 2010).

Studie prováděné u makaků před objevem ZN ukázaly, že většina buněk v oblasti F5 odpovídá během exekuce pohybů, jako jsou chycení předmětu, držení, trhání, a jejich malá část také reaguje na pasivní somatosenzorickou (40% neuronů v oblasti) nebo vizuální stimulaci (17% neuronů), ovšem bez odpovědi (Rizzolatti et al., 1988). Podle Rizzolattiho se dá funkce této mozkové oblasti interpretovat jako slovník, kde jsou reprezentovány pohyby nezbytné pro natažení, uchopení a vkládání jídla do úst. V tomto kontextu byly odpovědi na

vizuální nebo somatosenzorickou stimulaci interpretovány jako základy pro taktilní porozumění. Ve stejné oblasti mozku existují také tzv. kanonické neurony, které reagují na vizuální zachycení objektů. Kanonické neurony jsou známé pro svou roli ve vizuomotorické transformaci pro uchopení předmětu, ale není u nich prokázána aktivace při identifikaci objektu jako u ZN (Nelissen et al., 2005).

Podle nejpodrobnější rané studie u makaků (Rizzolatti et al., 1996), zahrnují ZN zhruba 17% neuronů oblasti F5. Tyto buňky se u makaků aktivují, když opice pozoruje ruku a pohyb k ústům a pohyby úst, které jsou směřovány k objektu. Ze všech neuronů bylo 55% selektivních pouze pro jeden typ akce a 75% se aktivovalo při uchopení předmětu. U většiny buněk se shodovala odpověď na vykonání akce i její pozorování. Vnímání uchopitelných objektů je dostatečným spouštěčem k aktivaci buněk v oblasti F5, která je označována za v podstatě motorickou oblast schopnou pomocných senzomotorických asociací (Rizzolatti et al., 1988).

2.1.2. Zrcadlové neurony u lidí

Přítomnost ZN je potvrzena pouze u lidí a primátů. Předpokládá se, že predispozice k vyvinutí zrcadlového systému mají i další, evolučně předcházející druhy, nicméně jejich přítomnost potvrzena nebyla. Přímá evidence ZN začala implantací elektrod do mozku makaků a s vývojem neinvazivních zobrazovacích zařízení pokračuje výzkum u lidí (Molenberghs, 2012). Byla využita celá škála zobrazovacích zařízení jako transkraniální magnetická stimulace, elektroencefalografie, funkční magnetická rezonance a topografické mapování mozkové aktivity detekující extracelulární a intracelulární proudy (Mukamel et al., 2010).

Existuje mnoho studií odkrývající aktivitu zrcadlového systému skrz rozličné úkoly a modelové situace. Kromě experimentů zahrnujících pozorování pohybu a provedení úkolů analogických k těm, které byly použity původně u makaků (Gazzola and Keysers, 2009, Molenberghs et al., 2010), byla testována aktivita zrcadlového systému na stimuly napříč různými metodami, včetně zvukových stimulů (Lewis et al., 2005), somatosenzitivních stimulů (Keysers et al., 2004), vizuálních stimulů (Molnar-Szakacs et al., 2006); stejně jako stimuly využívající emočního, tedy afektivního obsahu (Leslie et al., 2004).

U lidí jsou ZN spojovány především s oblastí premotorického kortexu a pars opercularis ve frontálním gyru, tedy oblasti 6 a 44 dle rozdělení Brodmannových areí (Rizzolatti et al., 1996; Iacoboni et al., 1999).

V popředí zájmu jsou nyní při výzkumu zrcadlového systému Brodmannovy arey 44-45 v inferiorní části frontálního gyru. Aktivován je ale i parietální a částečně primární motorický kortex (Tkach, Reimer, Hatsopoulos, 2007). Molenbergsova meta-analýza 125 studií shrnující dosavadní výzkumy týkající se systému ZN ukázala 14 signifikantních oblastí rozprostírajících se přes 9 Brodmannových areí (viz tabulka č. 1) (Molenberghs, 2012).

Meta-analýza studií lokalizujících zrcadlové neurony									
BA	N	BA	N	BA	N	BA	N	BA	N
1	1	8	2	20	2	34	1	44	26
2	12	9	48	21	9	36	1	45	23
3	11	10	4	22	19	37	15	46	15
4	13	13	29	24	4	38	1	47	7
5	4	17	3	28	1	39	7		
6	59	18	5	31	4	40	60		
7	34	19	10	32	5	41	4		

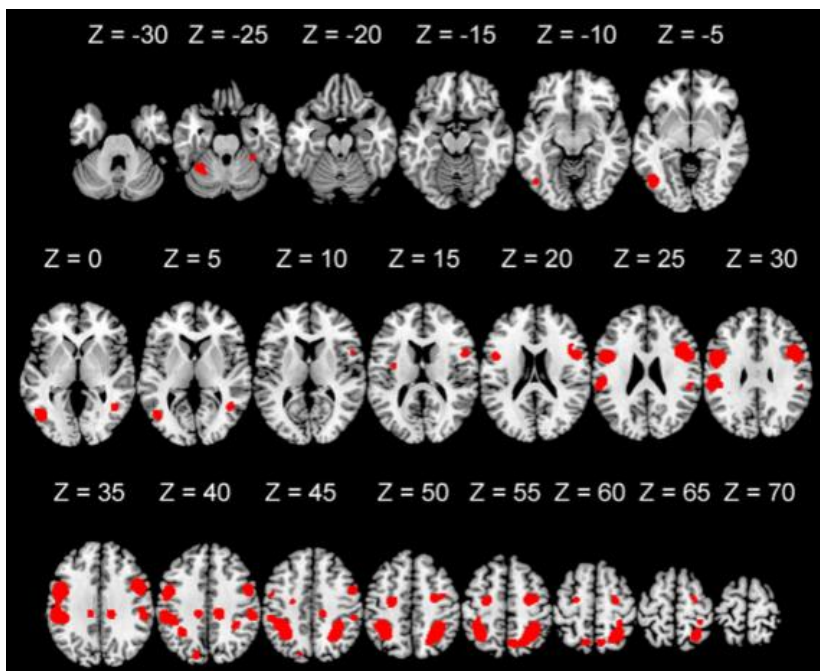
Tabulka. č. 1: Počet studií (N) z celkového počtu 125, ve kterých došlo k signifikantně výrazné aktivitě ZN v jednotlivých Brodmannových areích (Molenberghs et al., 2012).

2.1.3. Vliv zrcadlových neuronů na motorické chování

Při nezacílených pohybech mimických svalů, gestikulaci, či izolovanému pohybu jazyka byla prokázána inaktivita zrcadlového systému. K „fire“ odpovědi (z anglického jazyka přeloženo jako zahoření, vypálení) dochází významným způsobem při pozorování zacílené pohybové akce, což vyvolává domněnku, že rozhodujícím činitelem je přítomnost cíle pohybu či emoční význam gesta (Rizzolatti, Craighero, 2004). De la Rosa navrhuje (2016), že základní vlastnosti ZN mohou být změněny samotným vykonáním motorické akce, tedy bez relevantní senzomotorické zkušenosti.

Procentuelně vyjádřeno se ZN účastníci se na motorickém chování objevují v Brodmannových areích (Molenberghs, 2012): BA 6 – 40% studií, BA 7 – 27% studií, BA 9 – 38% studií, BA 40 – 48% studií, BA 44 – 21% studií.

Během více jak 70 experimentů využívajících vizuální obrazy pohybové akce a/nebo exekuci pohybů rukou, nohou a úst odhalila ALE meta-analýza signifikantní zapojení 13 kortikálních oblastí (viz obrázek č. 1). Spolehlivě byla nalezena inferiorní část frontálního gyru typicky asociovaná se zrcadlením, dle BA oblasti 44, 45, 46 (Buccino, 2004; Molenberhgs, 2012), dále pak inferiorní části parietálního laloku, posteriorní části frontálního gyru a přilehlé ventrální části premotorického kortexu. Kromě toho byla prokázána konzistentní aktivita v dorzální části premotorického kortexu, superiorní části parietálního laloku a posteriorní části středního temporálního gyru (Molenberhgs, 2012).



Obrázek č. 1: Výsledky ALE analýzy ($p < 0.05$) studií zkoumajících efekt vizuálního zobrazení motorických úkonů a studií vyžadujících exekuci pohybu. Červenou barvou jsou zobrazeny shluky aktivních zrcadlových neuronů (Molenberhgs, 2012).

2.1.4. Systém zrcadlových neuronů v souvislostech

Koncept zrcadlení se týká hned několika vědeckých disciplín - sociologie, psychologie a multidisciplinární neurofyziologie. Teorie ZN byla použita i k vysvětlení principu imitace (Rizzolatti, Craighero, 2004). Tato funkce ZN se ale týká výlučně lidí, protože makakové nevykazují schopnost imitace (Hickok, 2009). Rizzolatti a Craighero (2004) objevili jisté souvislosti, zdůrazňují však, že primární funkcí ZN nemůže být imitace. Jakákoliv evidence

týkající se neurofyziologického vysvětlení imitace u člověka do dneška nebyla empiricky spojena se ZN (Hickok, 2009).

Některé studie navrhují, že systém ZN hraje klíčovou roli u schopnosti empatie a socializace ve skupině, právě díky způsobu vyjádření emocí, motorické aktivitě mimických svalů. K potvrzení této domněnky byla použita skupina lidí, která se odlišuje způsobem “čtení” mimických projevů emocionálního nalezení, lidé s autismem. Z genetického hlediska je lidský mozek vybaven pro funkční zrcadlový systém, ale již mnoho výzkumů prokázalo, že u některých jedinců nefunguje. Studie zkoumající aktivitu ZN u lidí s autismem potvrdily odlišnou aktivaci. Čím vážnější byly symptomy autistického spektra, tím více byl systém ZN dysfunkční. Děti s poruchami autistického spektra měly obtíže s porozuměním záměru pohybů, které pozorovaly. Jejich mozek funguje jinak, a aby porozumněly významu dění kolem sebe, gest ostatních lidí, spoléhají se na význam samotného objektu, se kterým je gesto spojeno. Hrniček položený na stole tak znamená “pití”, i když většina lidí si situaci asociuje s úklidem stolu (Oberman et al., 2005).

Vědci zkoumající komplexní pohyby rukou mimo jiné zjistili i aktivaci stejného systému jako při pohybu jazyka a úst za účelem tvorby slov a vět. Tento objev podle některých vědců implikuje vytvoření jazyka z gest tvořených rukama (Molenberghs, 2012).

Problematika zrcadlení zajímá jak neurovědce a psychology, tak i populární média. Obrovský zájem o tuto oblast rozpoutala navrhovaná “multifunkčnost” ZN. Účastní se totiž řady kognitivních funkcí; od schopnosti imitace, přes porozumění motorické akce, až k jejich roli během sociálních interakcí (Iacoboni et al., 2005; Keysers et al., 2010, Rizzolatti, Sinigaglia, 2010).

Princip zapojení ZN byl zkoumán i u psychiatrických pacientů. Posledních 10 let se provádějí výzkumy porovnávající psychiatrické pacienty se zdravými lidmi právě pomocí metod zobrazujících aktivitu mozku v reálném čase. Mluví se o poruše ZN ve spojení například s roztroušenou sklerózou (Rocca et al., 2007) a schizofrenií (Arbib and Mundhenk, 2005).

2.2. Imaginace pohybu

Jednou z možností senzomotorického učení je mentální simulace pohybu, známá jako imaginace (vizualizace, představa). Ve fyzioterapii se této techniky využívá u neurologických pacientů, lidí s amputovanými končetinami a ve sportovním tréninku, například u golfistů. V širším kontextu se vizualizačních technik využívá u psychoterapie a relaxačních technik

a má se za to, že se imaginace vztahuje k mnohým vnitřním kognitivním procesům a může mít rozsáhlé pozitivní účinky na funkci lidského organismu (Benedek et al., 2011).

Již existuje početná evidence prokazující pozitivní efekt vizualizace pohybu při motorickém učení (Di Rienzo et al., 2016). Podle Kraunera et al. (2016) si dokonce tímto způsobem lze osvojit motorickou dovednost i bez předešlé motorické zkušenosti.

Na sensorické úrovni představuje mentální obraz pohybu vzpomínku na dřívější sensorický vjem bez vnějšího podnětu. Na motorické úrovni obraz pohybu reprezentuje mentální aktivitu provedeného pohybu bez jeho samotného vykonání. Mentální představa není ani myšlenka, ani iluze. Není to vytvoření nového sensorického prožitku. Není také přítomný vjemový prožitek a není použito kódování používané při vyhodnocení stimulu. I přes to jsou v životě neustále používány a jejich přítomnost slouží k přijmutí zkušenosti jako potvrzení reality (Ingram, 2016).

Důležitost schopnosti představy pohybu je evidentní u fenomenu fantomových končetin. Jedinec i po ztrátě končetiny může pociťovat v již neexistující části těla různé sensorické vjemy včetně bolesti. Obvykle to bývají spíše pocity existence chybějící části těla a nepřesně lokalizované bolesti, než specifický somatosenzorický vjem (Ramachandran, 1998).

Výzkumy týkající se mentální představy pohybu potvrzují aktivaci příslušné somatotopické oblasti primárního kortexu a suplementární motorické oblasti (Sonkin 2015; Di Rienzo et al., 2016). Většina experimentů využívá designu, kdy je pohyb prvně proveden a až poté, po vytvoření určité paměťové stopy, přijde řada na jeho vizualizaci. Ingram (2016) navrhl opačný design experimentu. První motorické učení proběhlo vizualizací a až poté proběhla exekuce pohybu. Během reálné exekuce pohybu za auditivní nebo vizuální stimulace byla porovnána mozková aktivita a z naměřených výsledků došli vědci k závěru, že motorické učení skrz vizualizaci funguje spíše na sensorických procesech v porovnání s exekucí pohybu, u které více závisí na motorickém zpracování. Tento poznatek se shoduje s výzkumem ukazujícím, že vizualizace pohybu výrazně aktivuje parietální lobus sloužící ke zpracování sensorických stimulů. Autoři se na základě těchto výsledků domnívají, že posteriorní část parietálního kortexu inklinuje ke kombinaci somatosenzorických a visuomotorických informací při pohybovém záměru, zatímco proces vedoucí k provedení pohybu je řízen z dorzální části premotorického kortexu a reálné vykonání pohybu je řízeno primárním motorickým kortexem (de Lang et al. 2005). Dle Ingrama (2016) dojde k aktivaci motorických oblastí až při imaginaci složitějších pohybů. Tedy učení pohybu vizualizací

zapojuje primárně jiné struktury, než při jeho exekuci. Autoři na základě těchto poznatků diskutují o mnohem vyšší závislosti procesu učení pohybu vizualizací na vjemovém zpracování a plánovacích procesech oproti reálné exekuci pohybu. Ehrsson et al. (2003) zjistili, že mentální zobrazení pohybu ruky aktivuje oblast pro pohyb ruky v kontralaterálním primárním motorickém kortexu, kontralaterální dorsální premotorický kortex a velký segment ve ventrální části suplementární motorické oblasti.

Vingerhoets et al. (2009) při experimentu představy rotačního pohybu paže vyvolali aktivaci podobných center jako reálné provedení pohybu - bilaterálně superiorní část parietálního laloku a vizuální část extratriatového kortexu. Při reálném provedení pohybu byla navíc zapojena levá premotorická area.

Becker et al. (2002) změřením mozkové aktivity při imaginárním pohybu ruky našli zvýšenou aktivitu v levém somatosenzorickém kortexu (primární motorická a senzorická area) a v přilehlé parietální oblasti; zvýšená a nekorigovaná aktivita se objevila v bilaterálně dorsální části premotorického kortexu, vlevo kaudálně v pomocné motorické oblasti, bilaterálně v dorsální premotorické oblasti, vlevo v superiorní části parietálního kortexu, levý putamen a vpravo v cerebellu.

Lacourse et al. (2005) se již zaměřili na rozdíl mozkové aktivity u exekuce a vizualizace pohybu mezi pohybem naučeným a prvně provedeným. Zjistili skoro stejnou aktivaci ložisek asociovaných s reálným a imaginárním pohybem. V detailech se více shodovala centra aktivovaná při naučeném pohybu. Ve fázi prvně provedeného pohybu dominovala mozková aktivita u reálného pohybu oproti imaginárnímu v primárních a sekundárních motorických areích a v mozečku, zatímco při imaginárním pohybu byla větší aktivace ve striatu. Při naučeném pohybu byla naměřena vyšší aktivace během imaginace pohybu v premotorických areích, inferiorní části parietálního laloku, mediální části temporálního laloku. U exekuce naučeného pohybu se více aktivovaly precentrální a postcentrální gyrus, striatum a cerebellum. Tento experiment potvrzuje efektivitu terapeutických technik postavených na vizualizaci pohybu jak pro naučení nového pohybu, tak i pohybu již zvládnutého.

Brain mappingem rozlišili Hanakawa et al. (2003) arey predominantně se zapojující při reálném a imaginárním pohybu. Arey predominantně se zapojující při reálném pohybu: primární motorické a senzorické arey, parietální lobus, anteriorní část cerebella (částečně se zapojující při imaginaci 0,1 - 0,1%), kaudální premotorická area, area 5 (zapojující se i při imaginaci 0,2 - 0,7%). Frontoparietální oblasti a posteriorní cerebellum se aktivovaly při

obojím. Centra zapojená při imaginaci: precentrální sulcus v úrovni middle frontálního sulcu, predominantně na levé straně, inferiorní (area 6/44) precentrální sulcus, intraparietální sulcus. Kromě výzkumů zaměřených na drobné analytické pohyby končetin, existuje celá řada výzkumů testujících efekt vizualizace pohybu u komplexních pohybů, například statické posturální kontroly. Hamel a Lajoie (2005) prokázal pozitivní efekt vizualizace pohybu při nácviku posturální kontroly u starších lidí. Stejně pozitivní výsledek měla studie zkoumající efekt sledování videa zachycujícího pohyb “sezení-vstávání-usednutí a chůzi” jako typ terapeutického cvičení pro nácvik posturální kontroly u starších lidí (Taube et al. 2015). Již tyto výsledky potvrzují pozitivní efekt na funkční stav organismu a to nejen u lidí s chybějícími končetinami, ale i v jiných oblastech rehabilitace. Další stupněm vědeckého výzkumu zabývajícího se efektem vizuální stimulace (sledování videa s obsahem cviků/pohybů k nácviku posturální kontroly) bylo zjistit změny na centrální úrovni, ve vyšších mozkových centrech.

Imaginace pohybu se také pravděpodobně vztahuje k vnitřním kognitivním procesům (Benedek et al., 2011) a k procesům vnitřní a vnější pozornosti probíhajícím ve frekvenčním pásmu alfa (Cooper et al., 2003).

Jednou z dalších důležitých neurologických funkcí, která může mít přímou souvislost s imaginací pohybu, je paměť. Paměť pracuje pomocí změn synaptického přenosu mezi neurony v důsledku opakování časté aktivace určité sekvence neuronů. K těmto změnám dochází modifikací již existujících spojů nebo vznikem nových synapsí. Změněné synapse, paměťové stopy vznikají v celém CNS. Dlouhodobá paměť je uložena převážně v kortexu. 99% přichozících sensorických impulzů je limbickým systémem označeno za nepotřebné a sensorické dráhy jsou modifikovány k ignorování daného stimulu. Limbický systém sensorickým vstupům přiřazuje tzv. afektivní kvalitu. Pokud se při vstupu sensorické informace nezmění aktivita centra odměny nebo trestů a není jí tak přiřazena afektivní kvalita, dojde ke ztrátě odpovědi na tento stimul a korové oblasti jím přestávají být aktivovány. Korovými oblastmi zajišťujícími pracovní paměť jsou BA 5-10, 20, 24, 32, 33, 40-47; k dekodování a vybavení uložených paměťových stop slouží BA 8-10, 24, 32, 33, 37, 38, 47 (Ambler, 2011; Cortical Functions: Reference, 2012).

2.3. Řízení motoriky

V nervové soustavě (NS) není možná přirozená regenerace neuronů. Nervový systém má však v případě poškození schopnost adaptace, vytvoření nových spojů mezi již existujícími neurony. Stejně jako u ostatních biologických tkání se jedná o adaptaci v pozitivním i negativním smyslu. V mladším věku je schopnost neuroplasticity vyšší než později v dospělosti (Ambler, 2011). Nicméně již starší experimenty, porovnávající lidi s amputovanými končetinami se zdravými lidmi, ukázaly vysokou schopnost plasticity mozku dokonce i u dospělých lidí (Ramachandran, 1998). Z toho vyplývá, že můžeme mluvit o impaktu cvičení FM na lidský organismus nejen hypoteticky, ale o strukturálních změnách na buněčné úrovni (Mattes, 2016).

Základní funkcí živých organismů je motorický systém. Projevuje se svalovou činností, která zajišťuje vzpřímenou polohu, změnu pozice a přesuny za účelem zajištění základních lidských potřeb. K účelově zaměřené činnosti se používá složitá, organizovaná motorika. Motorický systém funguje dvěma základními způsoby: rychle, mimovolně reaguje na stimul, tj. reflexní odpověď; cílenou, volní motorikou. Na řízení motoriky se podílí prakticky celý NS a pro správnou funkci je stěžejní regulace svalového tonu. Pokud chceme pohybem dosáhnout vytyčeného cíle, musí být celá motorická akce dobře koordinována a spojuvat oba základní způsoby řízení (Ambler, 2011; Véle, 2006).

Řízení motoriky probíhá v několika oblastech mozku na různých úrovních – reflexní oblouk na spinální úrovni, automatické subkortikální řízení pro posturální a lokomoční kontrolu a vědomá kortikální kontrola zajišťující jemnou ideokinetickou motoriku.

Na subkortikální úrovni pracují centra ovlivňující průběh motoriky – retikulární formace, mozkový kmen, bazální ganglia, thalamická jádra a hypothalamus a mozeček. Tato centra shromažďují vstupní informace z periferních receptorů, nastavují intenzitu reakce, řídí logistiku, zajišťují částečnou pohybovou autonomii a jednoduché pohybové vzory, predikci stavu zevního prostředí a obecně jsou nezbytným předpokladem pro kontrolu složitějších pohybů, které ovšem nemohou být úspěšně provedeny bez korové kontroly (Véle, 2006; Fblt, 2016). Na nejvyšší, kortikální úrovni, probíhá řízení organizace všech nižších systémů. V každé části mozkové kůry je obsažena informace o určité části těla, jeho velikosti, rozsahu, funkci a řízení (Véle, 2006; Ambler, 2011).

2.3.1. Rozdělení korových oblastí dle klinického významu

Motorika se všemi svými aspekty je ovládána hned z několika korových oblastí. Primární motorická oblast obsahuje BA 1, 2, 3, 4, které se společně podílejí na plánování, iniciaci, exekuci a kontrole pohybu. Funkčně příbuzná s primární motorickou oblastí je BA 6, premotorická oblast zajišťující komplexnější pohyby, vytvoření „motorického obrazu těla“ utvářejícího vnitřní reprezentaci pohybu – vizualizace zapojení svalů a intenzity jejich práce. Na tvorbě vnitřního obrazu pohybu se dále podílí suplementární motorická oblast. Nacházejí se zde zrcadlové neurony aktivující se při provádění specifických pohybů samotných a i při pozorování provedení pohybů u ostatních jedinců.


S funkcí motorického systému souvisí také mechanismus pohyb kontrolující, zrak. Primární zraková oblast BA 17 zachycuje a zpracovává zrakové stimuly. Vizuomotorickou a vizuospeciální koordinaci zajišťují sekundární vizuální kortex, BA 18, a asociální vizuální kortex, BA 19. Dále je se zrakovými funkcemi propojena BA 37 zajišťující zrakové zpracování pohybu, uložení zrakové informace do paměti a deduktivní uvažování.




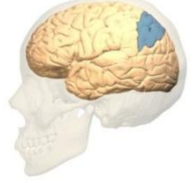
Základní zpracování sluchových vjemů mají na starosti BA 41 a 42, komplexní zpracování zvuku BA 21, 22 a sluchovou představivost BA 8-10.


Exekuce pohybu je také úzce spojena s prožíváním emocí. Prožívání emočních procesů se účastní BA 34-36, 38, 46 48 (Cortical Functions: Reference, 2012).

2.3.2. Brodmannovy arey

Morfologicky lze rozdělit mozkovou kůru na 52 rozdílných oblastí - Brodmannovy arey. Toto rozdělení lidského mozku (a ostatních primátů) je definováno cytoarchitekturou, histologickou strukturou a organizací buněk (Ambler, 2011). Tabulka č. 2 zobrazuje významné BA s popisem jejich funkcí.

BA	Funkce	Lokalizace
3	Primary somatosensory cortex <ul style="list-style-type: none">• organizace pohybu ruky• motorické učení• hluboká propriocepce• systém zrcadlových neuronů	 <p>Parietal lobe</p>

		Postcentral gyrus
4	Primary motor cortex <ul style="list-style-type: none"> • exekuce pohybů ruky • imaginace pohybu • motorické učení • kinestetické vnímání pohybu končetin • propriocepce prstů 	 <p>Central sulcus Precentral gyrus</p>
5	Somatosensory association cortex <ul style="list-style-type: none"> • exekuce pohybu • vizuospaciální a vizuomotorická pozornost • systém zrcadlových neuronů • imaginace pohybu 	 <p>Parietal lobe</p>
6	Premotor cortex <ul style="list-style-type: none"> • plánování a příprava pohybu • motorické učení • imaginace pohybu • vizuospaciální a vizuomotorická pozornost • systém zrcadlových neuronů 	 <p>Frontal lobe</p>
7	Somatosensory association cortex <ul style="list-style-type: none"> • exekuce pohybu • imaginace pohybu • systém zrcadlových neuronů • vizuospaciální a vizuomotorická pozornost • motorická pracovní paměť 	 <p>Parietal lobe</p>
17	Primary visual cortex – Striátový kortex <ul style="list-style-type: none"> • vizuospaciální procesy pozornosti • rozpoznání tváří • vizuální kontrola motorických stereotypů • imaginace vizuálního obrazu 	

18	<p>Secondary visual cortex</p> <ul style="list-style-type: none"> • sledování pohybových vzorců (optokinetická pozornost) • vizuální pozornost k tvaru objektů • orientačně-selektivní pozornost • vizuospaciální pozornost • asociační přiřazení jména ke tváři • vizuální imaginace 	
19	<p>Association visual cortex</p> <ul style="list-style-type: none"> • sledování pohybových vzorců • vizuospaciální pozornost • orientačně selektivní pozornost • asociační přiřazení jména ke tváři • vizuální imaginace • vizuální paměť 	 <p>Occipital lobe</p>
21	<p>Middle temporal gyrus</p> <ul style="list-style-type: none"> • deduktivní uvažování • procesy spojené s pochopením 	
22	<p>Superior temporal gyrus</p> <ul style="list-style-type: none"> • deduktivní uvažování • procesy spojené s pochopením 	
30, 31	<p>Posterior cingulate gyrus</p> <ul style="list-style-type: none"> • epizodická paměť • prostorová paměť • emočně podmíněné motorické učení • kontrola jemné motoriky ruky 	
36	<p>Temporal lobe - Hippokampální oblast</p> <ul style="list-style-type: none"> • emoční, vizuální, sluchová paměť • pracovní a epizodická paměť • čtení mimiky 	

37	Fusiform gyrus <ul style="list-style-type: none"> • zrakové zpracování pohybu • uložení zrakové informace do paměti • rozpoznání tváře a těla (vlevo) • deduktivní uvažování (vlevo) 	
38	Temporal cortex <ul style="list-style-type: none"> • Funkce není přesně definována, bývá spojována s komplexními emočními reakcemi a paměťovými funkcemi 	
39	Inferior parietal lobe – Wernickeho oblast <ul style="list-style-type: none"> • vizuospaciální zaměření pozornosti • imitace gest 	
40	Inferior parietal lobule – Supramarginal gyrus <ul style="list-style-type: none"> • pracovní paměť • exekuce pohybu • imitace gest • systém zrcadlových neuronů 	
41, 42	Primary auditory association cortex <ul style="list-style-type: none"> • zpracování zvukových stimulů (ZN) • pracovní paměť • vizuospaciální a vizuomotorická pozornost 	
43	Postcentral gyrus (Primary gustatory cortex) <ul style="list-style-type: none"> • málo prozkoumaná oblast • pravděpodobně reakce na řeč • spojitost s vibrotaktilní stimulací (vlevo) 	
47	Inferior prefrontal gyrus <ul style="list-style-type: none"> • spojeno s emocionálním prožíváním a motivačními funkcemi 	

	<ul style="list-style-type: none"> • inhibice motorických funkcí (vpravo) • pracovní paměť • spjato s funkcemi jako deduktivní uvažování 	
--	---	--

Tabulka č. 2: Rozdělení korových oblastí dle Brodmannových areí; jejich funkce a lokalizace. Zdroj: Cortical Functions: Reference, 2012

2.4. Feldenkraisova metoda

“Mysl a tělo jsou v neustálém kontaktu a tělo může správně fungovat jen tehdy, když je správně vnímáno. A změny v motorickém projevu vyvolávají změny v myšlení a cítění.

Kdo si sám sebe, své tělo dostatečně uvědomuje, je schopný případné obtíže včas zaznamenat. Mezi faktory vyvolávající nesoulad mezi tělem skutečným a vnímaným jsou: bolest, nadužívání/nedostatečné užívání částí těla a mentální a emocionální problémy” (Feldenkrais, 1996).

2.4.1. Přiblížení metody

Tento koncept pohybové terapie se zaměřuje na detailní vnímání pohybu a prožitků z něj. Prožití zmíněných vjemů je umožněno skrz verbálně vedené skupinové pohybové lekce či individuální terapie využívající lidského dotyku jako terapeutického prvku k úpravě pohybových stereotypů.

Feldenkraisova metoda se v praxi provádí dvěma způsoby:

1. Uvědomění si sama sebe pohybem – cvičení prováděno ve skupinách, kde jsou účastníci slovně vedeni k jednoduchým pohybovým sekvencím vycházejícím z aktivit běžného denního života. Účastníci jsou zprvu podporováni k vnímání automaticity provedení pohybu, a pak k vyzkoušení dalších možností s cílem nalezení nejefektivnějšího stereotypu k provedení daného pohybu či celé sekvence.

2. Funkční integrace – individuální lekce pro jednotlivce uzpůsobená specifickým potřebám jednotlivce. Klienti jsou rukama učitele vedeni k co nejpřirozenějšímu pohybu a nalezení účinného a bezbolestného způsobu jeho provedení (Pavlů, 2003; International Feldenkrais Federation, 2016).

2.4.2. Historie

Metoda je pojmenována po svém zakladateli, Moshé Feldenkraisovi. Ten se narodil v roce 1904 na Ukrajině a ve svých 14 letech emigroval do Palestiny, později v Paříži vystudoval matematiku, fyziku, strojní inženýrství a od japonského mistra juda postupně získal černý pás. Během druhé světové války pomáhal anglickému námořnictvu vyvíjet sonary a další prostředky týkající se ponorek. Při pobytu v Anglii si zranil koleno a pro zachování alespoň minimální hybnosti kolene mu bylo lékaři doporučeno absolvovat operaci (která ovšem měla v té době jen 50% šanci na úspěch). To vědec odmítl a sám se ponořil do studia anatomie, fyziologie, neurofyziologie, pohybové terapie, psychoterapie, duchovního cvičení, jógy, akupunktury a hypnózy. Díky svým zkušenostem z juda, nabytým znalostem a pozorováním procesu, jakým se učí pohybovat malé děti, se nakonec sám postavil na nohy a dostal do formy, kdy mohl opět cvičit judo ve stejném nasazení jako před zraněním. Podle Feldenkraise bylo klíčem k úspěchu uvědomění si pohybu. Tuto svoji zkušenost, uvědomění si sebe sama, pohybu, začal předávat i ostatním a nakonec vznikla i kniha *Awareness through movement* (Masters, Houston, 2006).

Feldenkraisova metoda se netýká jen fyzického těla, teoretická východiska mají přesah i do psychologie a filosofie. Autor metody nerozlišuje mezi tělem a myslí. Bere je jako neoddělitelný celek (Shafarman, 1997).

“Obvykle říkáme, že se děti učí chodit a mluvit, ale jen málokdy přemýšlíme o tom, jak tento proces učení probíhá. Děti se učí tím, že zkoumají a napodobují. Jsou motivovány především svou zvědavostí. Ve většině případů však lidé přestanou zkoumat úkol, jakmile získají minimálně úroveň dovednosti. Kromě toho každý z rodičů, učitelů a spolužáků, jež děti napodobují, má různé schopnosti. Všechny děti si touto cestou napodobování osvojují návyky dobré i špatné, bez jejich vědomého rozlišení (Shafarman, 1997).

2.4.3. Současná podoba metody

Do současné doby se ctí rozdělení metody na dva způsoby práce tak, jak je praktikoval Moshé Feldenkrais: skupinové lekce “Pohybem k sebeuvědomění” a individuální lekce zvané “Funkční integrace”. Obě techniky jsou vyučovány v rámci čtyřletého teoretického a praktického výcviku vedoucího k získání mezinárodní akreditace Feldenkrais practitioners udělované International Feldenkrais Federation. Absolventi jsou pak jako jiní odborníci

sdužování do organizací, které spolu i po ukončení výcviku nadále komunikují, diskutují a celoživotně se vzdělávají (International Feldenkrais Federation, 2016).

“Pohybem k sebeuvědomění” je učební postup soustřeďující pozornost klienta na proces učení. A to v uceleném systému vedoucím od periferie, malých částí těla a nenáročných pohybů, až k pohybům celých končetin a nakonec i celého těla. Cílem je dovolit tělu provést pohyby novým, ne-obvyklým způsobem a tuto schopnost začlenit do pohybového stereotypu těla jako celku. Naučit se pohybu bez zbytečné námahy. Klienti jsou v lekcích vedeni mluveným slovem lektora tak, aby nebylo nutné se dívat, “opisovat”, ale danou instrukci si vlastním způsobem interpretovat a provést naprosto jedinečným způsobem.

Individuální způsob práce, “Funkční integrace”, vede klienta namísto slov prostřednictvím jemných, nedirektivních dotyků a pohybů (Oswaldová, 2016).

2.4.4. Obecné principy vědomého pohybu

Feldenkraisova metoda je systém obsahující idey a principy týkající se účinného a efektivního pohybu a efektivní organizace pohybu.

Většina motorických akcí vyžaduje koordinaci několika komponent senzomotorického systému dohromady pro realizaci specifických motorických úkonů. Jedním z předpokladů FM je, že generálního zlepšení motorické organizace může být dosaženo objasněním funkčního vztahu mezi jednotlivými komponentami, které musí být integrovány v pohybu. Toho může být dosaženo například objevováním koordinace mezi různými tělesnými částmi, a to díky vedení somatosenzorické pozornosti k rozlišným aspektům pohybu (skrz verbální instrukce) nebo pomocí vizualizace pohybu. Skupinové feldenkraisovské lekce často začínají opakováním pomalých pohybů s nízkou amplitudou za účelem obohacení senzorických vjemů a facilitace procesu nalezení alternativ k obvyklým pohybovým vzorcům vnímání (Verrel, 2016).

Metodika FM souhlasí s obecnými principy o senzomotorickém učení Connerse (Conners et al, 2010). Je třeba dodat, že vědecké doložení potenciačního efektu FM zůstává zatím limitováno (Buchanan, 2012).

Aktivní pohyb a percepce hrají důležitou roli pro senzomotorický vývoj, motorické učení a fyzioterapii. (Krebs et al., 2003).

Feldenkraisovské lekce vytvářejí optimální podmínky pro jasné vnímání a ovládání pohybů a poloh jednotlivých částí těla za cílem zefektivnění pohybů a rozšíření pohybového

potenciálu. Feldenkrais vypracoval tuto metodu na podkladě teorií rozlišení vnímání aktuálního self a ideálního self od Rogerse a jeho kolegů (nicméně již Freud ve svých raných esejích zmiňuje rozdíl ve vnímání sama sebe na základě studie vnímání plegických částí těla u hemiplegiků.) Dle Rogerse člověk jedná v souladu s obrazem, který si o sobě vytvoří. Feldenkrais tento obraz rozděluje do čtyř složek: pohyb, smyslové vnímání, emoce a myšlení. Část z tohoto obrazu “já” je zděděná, část dána výchovou a část si vytváříme sami, tzv. sebevýchovou (Masters, Houston, 2006; Mattes, 2016).

Pro naše účely se tato kapitola soustředí na skupinově vedené lekce zvané ATM (Awareness through movement). Skupinové feldenkraisovské lekce mají za cíl vytvoření optimálních podmínek pro samostatné prozkoumávání nových možností pohybu pro zvýšení/zkvalitnění pohybového repertoáru, podpory pohybové funkce v kontextu spolupráce těla jako celku. Tyto schopnosti jsou nepřenositelné a dá se jich nabýt jedině vlastní prací a zkušeností s vlastním tělem. Přitom je i v klasicky pojaté rehabilitaci známo, že kvalitní interoceptivní a propioceptivní vnímání má významný vliv na dobrý zdravotní zlepšení chronických bolestí (Masters, Houston, 2006; Oswaldová, 2016).

2.4.5. Dosavadní výzkum

Jak potvrzují mnohé novodobé výzkumy, Feldenkraisova metoda je účinným terapeutickým konceptem při léčení různorodých chronických obtíží a bolestí (Ullmann et al., 2008; Connors et al., 2010; Paolucci, 2016).

Ullmann et al. (2008) na vzorku 47 účastníků potvrdili pozitivní efekt FM u seniorů. Ti po dobu 5 týdnů docházeli na 60 minutové lekce FM. V porovnání s kontrolní skupinou se při funkčních testech (tandem stance, timed up and go, balance confidence test) ukázalo signifikantní zlepšení rovnováhy a pohyblivosti a došlo i ke zmenšení strachu z pádu.

Pozitivní ovlivnění bolesti FM je připisováno seberegulaci (Ives, 2003). Clark et al. (2015) následovali Feldenkraisovu tezi, že vědomé učení dovedností pro organizaci pohybu se projeví i v dalších formách mentální aktivity. Verrel et al. (2015) provedli experiment prokazující krátkodobý efekt FM na spontánní kortikální aktivitu ve funkčně příbuzných regionech. V této studii měli nezkušení účastníci v poloze na zádech intermitentně tlačit nejdřív do reálné podložky pod nohama, a poté do imaginární podlahy.

Paolucci (2016) srovnával u pacientů s chronickými bolestmi bederní oblasti zad subjektivní hodnocení bolesti a interocepce. Vedle Feldenkraisovy metody provedené formou

skupinových ATM lekcí byly pro druhou skupinu použity přístupy z klasické fyzioterapie mající za cíl zlepšení interocepce a celkového vnímání vlastního těla prostřednictvím edukace pacienta o správné ergonomii práce, managementu stresu, nácviku fyziologického bráničního dýchání, strečinku, cvičení na úpravu pohybových stereotypů týkajících se pohybu trupu a aktivace stabilizačního systému. Při porovnání efektu obou metod ukázala experimentální skupina zlepšení u subjektivního hodnocení bolesti (visual analog scale, McGill pain questionnaire). Škola zad, používající spíše edukační a ergonomické metody, byla zas úspěšnější při hodnocení SF-36. Ve výsledku je účinnost FM srovnatelná se školou zad pro nespecifické bolesti zad (Paolucci, 2016).

Existuje již mnoho studií zabývajících se efektem Feldenkraisovy metody na pohybový aparát – změnu v rozsahu pohybu, na úrovni jemné motoriky či na úrovni hrubé motoriky ve smyslu subjektivního a objektivního zlepšení rovnováhy (Ullmann et al., 2008). Poitivní dopady cvičení FM se ukazují i na psychické úrovni, při prožívání bolesti a emočních reakcích (Paolucci, 2016), experimentálně prokázanými změnami emočního prožívání v aktuálním okamžiku cvičení, a také jako subjektivně pocíťované rozdíly týkající se vnímání tělesného schématu (Paolucci, 2012; Mehling et al. 2013) a někteří autoři dokonce diskutují o komplexnějších změnách, zasahujících do dalších forem mentální aktivity (Clark et al. 2015). Ať jsou tyto dohady pravdivé nebo ne, dosavadní výzkumy svědčí o nesporně pozitivním přínosu metody.

Hlubší prozkoumání metody je zatím omezeno (Buchanan, 2012) a z neurovědeckých studií existuje pravděpodobně jediná zkoumající mozkovou aktivitu. Experiment Verrela et al. (2015) potvrdil krátkodobý efekt intervence formou FM na spontánní kortikální aktivitu ve funkčně příbuzných regionech a výsledky podporují hypotézu, že globální dopad intervence zahrnuje aktivitu s motorikou spojených neurálních procesů. Studie zároveň potvrzuje stabilní mozkovou aktivitu ve frekvenčním pásmu beta.

2.5. Zobrazení mozkové aktivity

Až v poslední době se výzkumná činnost zaměřila na oblast, která všechny změny v našem pohybovém chování umožňuje, tedy náš řídicí systém (centrální nervovou soustavu) a zkoumá jaké oblasti mozku se při cvičení aktivují. Při vizualizaci pohybu nedochází k viditelné svalové kontrakci a změně konfigurace segmentů, nicméně dochází ke spontánní korové aktivitě ve funkčně propojených oblastech mozku (Véle, 2006; Verrel et al., 2015).

Jednou z nejznámějších a nejpoužívanějších zobrazovacích metod mozkové aktivity je magnetická rezonance (MRI – magnetic resonance imaging). Touto metodou se jako první zabývali v 60. - 70. letech Paul Lauterbur a Sir Peter Mansfield. Za objevy spojené s magnetickou rezonancí dostali v roce 2003 Nobelovu cenu (Guyton, 1976).

Magnetická rezonance patří mezi strukturální zobrazovací metody. Tedy zobrazení, které nám umožňuje, je vhodné ke studiu anatomických struktur mozku. Pro zmapování funkčních center mozku lze použít funkční magnetickou rezonanci (fMRI), elektroencefalografii (EEG) nebo metody kvantitativní elektroencefalografie (QEEG).

Na fMRI již byla prokázána neuronální aktivita v kortikálních a subkortikálních mozkových oblastech během proprioceptivní stimulace vleže na zádech korelující s mozkovou aktivitou při stožení na dolních končetinách (Goble et al., 2011). Stejnou metodou byla také dokázána aktivace premotorických a motorických mozkových center, mozečku a bazálních ganglií při pouhé představě stoje a chůze (Taube et al., 2015).

V roce 2015 Verrel et al. provedli experimentální studii, ve které změřili mozkovou aktivitu během intervence formou FM a poté v klidovém stavu po intervenci. Během sensoromotorické intervence byla naměřena spontánní korová aktivita funkčně propojených mozkových center. K významnější změně však došlo v klidovém stavu, kdy se významně zvýšila aktivita vyšších motorických center (Verrel et al., 2015).

2.5.1. Elektroencefalografie

Elektroencefalografie je neinvazivní (není třeba expozice radioaktivnímu nebo magnetickému poli) elektrofyziologickou zobrazovací technikou - zobrazuje elektrickou aktivitu neuronů centrální nervové soustavy. Využívá se hlavně v neurologii jako základní pomocné vyšetření, v psychiatrii k výzkumu mozkové aktivity, k diagnostice nejrůznějších forem epilepsie, intoxikací, encefalitid, k vyšetření mozkové aktivity v různých stavech vědomí a fázích spánku (Rozman, 2006).

Nervové vzruchy se v mozku šíří po vláknech neuronů přes změny potenciálu na buněčné membráně. Ke změně potenciálu dochází změnou propustnosti pro ionty uvnitř a vně buňky a jejich výměnou mezi prostředím. Kladné a záporné náboje směřují kolmo k povrchu, kde snímací elektrody zaznamenávají rozdíly mezi jednotlivými oblastmi (Despopoulos, Silbernagl, 2004).

Projevem zralého, zdravého a bdělého mozku je alfa aktivita. Přítomná je při otevřených i zavřených očích, ve stavech hluboké relaxace, při pohybové aktivitě. Tento základní elektrický rytmus převažuje v okcipito-parieto-temporální oblasti mozku (Faber, 2001; Rozman, 2006).

2.5.2. Systém rozmístění elektrod

Při EEG vyšetření se na pokožku hlavy umisťují měřicí svody, které snímají sumaci akčních potenciálů skupiny neuronů ležících pod elektrodou (Faber, 2001). K sejmutí signálu je nejpraktičtější EEG čepice, tvarově připomínající koupací čepici s elektrodami s krátkými trubičkami obsahujícími elektrody kruhovitěho tvaru s otvorem uprostřed pro snadné zavádění kontaktního gelu. Po nasazení čepice se aplikuje gel upravenou injekční stříkačkou. Je třeba aplikovat přiměřeně gelu tak, aby se vytvořil kontakt (Mišurec, Chmelář, 1990).

Od schválení sjednoceného rozmístění elektrod na mezinárodním kongresu v roce 1957 se používá systém 10/20. Elektrody jsou rozmístěny proměřením vzdálenosti mezi čtyřmi body: podélně je to kořen nosu a kostní hrbolk na týlní kosti, transverzálně body nad ušním boltcem na obou stranách. Elektrody jsou označeny písmeny příslušných oblastí mozku (F - frontální, C - centrální, P - parietální, O - occipitální, A - aurikulární) a číslem (lichá čísla náleží levé hemisféře, sudá čísla pravé hemisféře). Elektrody jsou řazeny v podélných (sagitální, parasagitální) a transverzálních řadách (frontopolární, frontální, centrální, parietální occipitální). Systém 10/20 je odvozen od pomyslné roviny tvořené čtyřmi základními body. Mezi elektrodami v sagitální a transverzální rovině je vzdálenost procentuálně 10 a 20%. V EEG čepicích je toto uspořádání již předem dáno (Mišurec, Chmelář, 1990).

2.5.3. Zpracování signálu

Pomocí skalpového záznamu získáme dvoudimenzionální projekci elektrické aktivity mozku. Vzhledem k jejich primárně spojitému charakteru je nutné převést biologický signál na diskrétní formu za pomoci analogově digitálního převodníku. Vzhledem k povaze nástroje ale není možné identifikovat zdroje mozkových signálů. K vyloučení možnosti nesprávné interpretace vysoké frekvence se používá antialiasingový filtr, který nepropustí frekvence vyšší než $FVZ/2$ (frekvence příliš vysoká). Převodníkem dochází ke kvantování amplitud po

určitých kvantech podle počtu bitů a na závěr jsou jednotlivé amplitudy kódovány (Mohylová, Krajča, 2006).

EEG signál může obsahovat rušivé elementy jako například pohyby hlavy při snímání, záškuby svalů při pohybu úst a očí. K tomu se používá analogového digitálního filtrování (Mohylová, Krajča, 2006).

2.5.4. Kvantitativní elektroencefalografie

V posledních letech jsou na vzestupu nové metody kvantitativní elektroencefalografie (QEEG). V principu jde o digitalizaci kontinuálního analogového signálu snímaného elektrodami na lebce. Pro vytvoření takového záznamu je nutná vizuální selekce bezartefaktových úseků v délce cca 2 minuty ze standardního EEG přístroje. Z toho se pak na základě matematického modelu vypočítá lokalizace signálu v jednotlivých voxelech mozkové kůry, přičemž chybný odhad lokalizace zdrojů je v rozmezí 2-3 voxely (Pascal-Marqui et al., 1999; 1992; 2004; Šóš, 2013). K sejmutí elektrických signálů z povrchu hlavy se využívá vícekanálové EEG s 19 elektrodami v rozložení 10/20 (Faber, 2001; Šóš, 2013).

Výsledkem analýzy QEEG je matematické vyjádření výkonového spektra, tedy odhad zastoupení různých frekvencí napříč celým frekvenčním spektrem. Výkonové spektrum v rozmezí 1 – 20 Hz bývá rozděleno do čtyř základních pásem, delta (1,5 – 3,5 Hz), theta (3,5 – 7,5 Hz), alfa (7,5 – 12,5 Hz), beta (12,5 – 20 Hz). Topografické rozložení hodnot z EEG pak lze graficky zobrazit jako mapu mozkové aktivity (brain mapping).

Ve srovnání s ostatními zobrazovacími metodami má kvantitativní elektroencefalografie vysoké časové rozlišení a není časově ani finančně náročná. QEEG poskytují kontinuální záznamy mozkové elektrické aktivity v milisekundovém časovém rozlišení (Pascal-Marqui et al., 1994; 2002).

2.5.5. sLORETA

V roce 1994 představili Pascual-Marqui et al. novou třídímenzionální tomografii, která měla sloužit k lokalizaci vyšších kognitivních center mozku. Přístroj nazvali LORETA, tedy elektromagnetická mozková tomografie s nízkým rozlišením (Pascual-Marqui et al., 1994; 2002). EEG bylo v té době již dlouho používané, ale skupina zmíněných vědců jako první přišla na to, jak vyřešit takzvaný inverzní problém a vypočítat konfiguraci zdrojů z napětí změřeného na povrchu hlavy. Pro sestavení přesného modelu je třeba velmi detailní

geometrická strukturalizace hlavy (až na stovky tisíc elementů). Dále zjistit, jak zdrojová aktivita ovlivní elektrický potenciál na povrchu hlavy, a poté ze změřeného signálu na povrchu hlavy odhadnout distribuci zdrojů (Pascual-Marqui et al., 1994; 2002).

Již v roce 1984 se Hamalainen a Ilmoniemi pokusili vyřešit inverzní problém u EEG za pomoci "minimum norm solution", tato metoda ovšem lokalizuje elektrický signál pouze poblíž povrchu lebky, při lokalizaci hlubších signálů došlo ke špatnému zařazení. Teprve LORETA v pokusech prokázala přesnější lokalizaci zdrojového signálu (Pascual-Marqui, Michel, Lehmann, 1994; 2002). Mimo jiné za použití 148 elektrod a 818 uniformě rozložených voxelů simultánně prokázal, že LORETA dosáhne každé hloubky s chybou průměrně 1 grid unit (s větší hloubkou jsou snímky rozmazané) (Nofzinger, Maquet, Thorpy, 2013). Při výpočtu vycházeli Pascual-Marqui et al. z faktu, že sousedící neurony budou nejpravděpodobněji vykazovat synchronní a simultánní aktivitu. Synchronizace sousedících neuronů (tj. neurony stejné orientace) byla prokázána při pokusech se zvířaty (Pascual-Marqui et al., 1994).

LORETA dokáže lokalizovat zdrojový signál pouze v oblasti kortikální hmoty. Elektrické potenciály z nižších, subkortikálních struktur (bazální ganglia, mozkový kmen, mícha) totiž nedosahují k povrchu hlavy (Pascual-Marqui et al., 1994).

Nástroj byl opakovaně validován formou srovnání výsledků LORETA a fMRI (Nofzinger, Maquet, Thorpy, 2013). Například Seeck et al. (1998) touto cestou porovnávali epileptická ložiska pacientů určených k chirurgickému zákroku s výsledky z fMRI a shodně byla zjištěna ložiska v levém frontálním laloku. V další studii Pizzagalli et al. (2001) potvrdili lokalizaci struktur, které jsou aktivní při stavech deprese. Oblast horního cingulu předního kortexu byla přítom do té doby zkoumána jen pomocí hemodynamických zobrazovacích metod.

Ačkoli původní pokusy s LORETA byly provedeny ve Švýcarsku, metoda se rozšířila po celém světě. Nejvíce výzkumů pochází z Evropy (převážně Skandinávie), USA a Japonska.

V oficiálním shrnutí z roku 2002 uvádí Pascual-Marqui přes 30 výzkumů, ve kterých byl diagnostický nástroj LORETA použit (Pascual-Marqui et al., 2002). Novější čísla jsou podle neoficiálních zdrojů mnohem vyšší.

LORETA je ke zdrojové analýze vhodná z několika důvodů. Oproti fMRI, pozitronové emisní tomografii (PET) nebo jednofotonové emisní výpočetní tomografii (SPECT) funguje s minimálními finančními náklady. Dále není nutné magnetické ozáření, ani podání radioaktivních látek. Nové techniky QEEG se již prostorovou rozlišovací schopností blíží

fMRI, přičemž časová rozlišovací schopnost je mnohem přesnější (řádově milisekundy) (Brunovský et al., 2014). Průměrná chyba v lokalizaci zdrojového signálu je 1 voxel, ale maximum může být až 2 – 3 voxely (Pascual-Marqui et al., 2002). Vyšetření EEG je také vzhledem ke své aplikaci a velikosti přístroje příjemnější pro pacienty.

Významným omezením LORETA softwaru je limitace na analýzu kortikální aktivity. Pro zobrazení subkortikálních struktur, jako např. thalamu, mozkového kmene a prodloužené míchy, je třeba využít fMRI.

2.5.6. Typy encefalografických aktivit

Frekvence tradičně se popisující alfa aktivity je v rozmezí maximálně 8 -13 Hz. Nejčastěji je viditelná během fyzické relaxace a při zavřených očích ve frekvenci 9,4 - 10,5 Hz. Intenzita se liší individuálně podle dominantní hemisféry - vyšší amplituda je nad nedominantní hemisférou. Objevuje se také před usnutím, ve fázi ospalosti, při 7 - 8 Hz. Frekvence alfa aktivity se vyvíjí s věkem, u 4 měsíčního dítěte to jsou cca 4 Hz, v 10 letech pak už cca 10 Hz. Alfa aktivita má charakter sinusoidálních vln jejichž ostrost se postupně snižuje (Omata et al., 2013).

Tvrdí se, že alfa aktivita bývá obvykle blokována světelným stimulem, otevřením očí (Ambler, 2011), přesto již nyní existují výzkumy registrující alfa aktivitu i s otevřenými očima při periodicky se opakujícím pohybu (Pánek et al., 2014).

Beta aktivita je běžnou vědomou mozkovou aktivitou, pohybující se v rozmezí zhruba 13-30 Hz. Zahrnuje naši vědomou mentální aktivitu během dne – myšlení, koncentraci a vnímání.

Theta aktivita se vyskytuje ve stavu hluboké relaxace na pokraji spánku. Spojuje se s kreativními nápady, velice živým mentálním sněním v bdělém stavu s přístupem k podvědomí.

2.5.7. EEG koreláty vizuální stimulace a imaginace pohybu

Imaginace pohybu (motor imaginary – MI) a jeho sledování (action observation - AO) jsou považovány za efektivní kognitivní nástroje pro motorické učení. Byly v mnoha případech studovány jednotlivě, ale existuje málo prací porovnávající koreláty kortikální aktivity ve vztahu ke kvalitě pohybu a motorickému učení. Výsledky studie Gonzales-Rose et al. (2014) porovnávající mozkovou aktivitu během komplexních koordinačních úkonů horními

končetinami indikují obtížnost imaginace u neznámých pohybů ve srovnání s imaginací pohybů již zažitých. Zatímco imaginace pohybu samotná může zlepšit přesnost a efektivitu pohybu, tak může být i částečně efektivní při spojení se cvičením oproti provedení cvičení samotnému, bez imaginace (Gentili et al., 2006).

Někteří autoři navrhují (Gonzales-Rosa et al., 2014; Wulf et al., 2010), že podobný efekt má u motorického učení i sledování pohybové aktivity, vizuální stimulace. Oba druhy stimulace, imaginace pohybu a sledování pohybu, vyvolávají aktivaci kortikálních senzomotorických struktur, které se účastní i exekuce pohybu. Sledování pohybu bývá často spojováno se zvýšenou excitabilitou v primárním motorickém kortexu. Při interpretaci mozkové aktivity u imaginace pohybu vyvstává problém rozlišení vizuální a kinestetické imaginace a jejich úplné odlišení není možné z důvodu komplexnosti kortikálních procesů (Gonzales-Rosa et al., 2014). Ve studii byly sledovány změny distribuce aktivity ve frekvenčních pásmech alfa – theta v rámci řízení motoriky a mnoha jejích aspektů. Největší množství evidence těchto změn je v pásmech alfa (8-12 Hz) a beta (14-30 Hz). Distribuce mozkové aktivity se při použití AO a MI k naučení nových komplexních motorických dovedností oproti využití klasického aktivního pohybu mění, ale přesné vysvětlení těchto procesů zůstává nejasné.

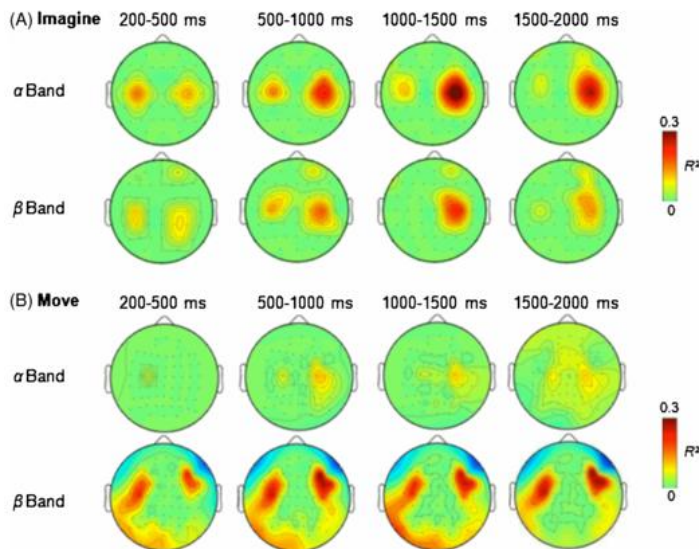
Změny kortikální aktivity během MI jsou podobné těm, které nastanou při reálném provedení pohybu, navzdory faktu, že AO dle studií vykazuje lepších výsledků než MI (Neuper, 2005).

Lui et al. (2008) našli překrývající se kortikální aktivitu při AO a MI nezacílených pohybech v premotorickém kortexu a významné oblasti inferiorní části parietálního lobu.

Lorey et al. (2014) se již zaměřili přímo na organizaci motorických map během simulace MI a AO. Subjekty pozorovali nebo si představovali několik různých typů pohybu. Výsledky z fMRI ukázaly specifickou organizaci motorických map v nemotorickém kortexu posteriorní části parietálního lobu obou hemisfér u obou druhů stimulace, obzvláště při AO. Tento výzkum potvrzuje domněnku, že premotorický a parietální kortex obsahují vícero motorických map spíše, než jednu kontinuální mapu lidského těla. Zvolené formy stimulace (AO, MI) vedly k použití specifických motorických map reprezentujících lidské tělo v obou hemisférách.

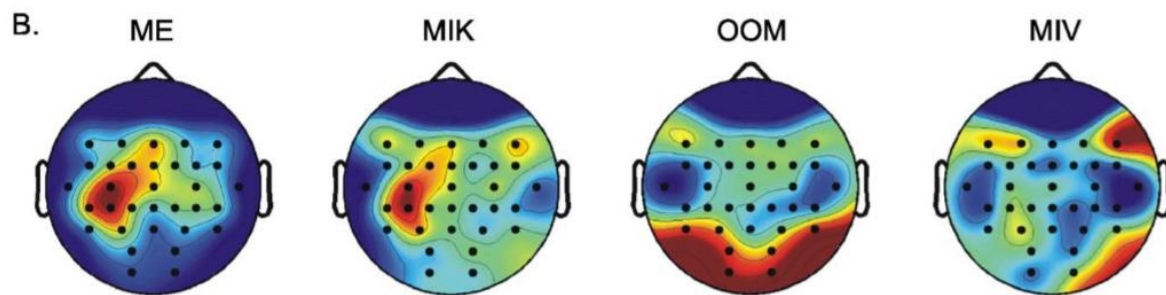
Významný pokrok v této oblasti přinesly EEG experimenty zkoumající mozkovou aktivitu u reálného pohybu a imaginace za účelem vývoje brain interfaces vytvářející „vzorce kortikální aktivity“ k tvorbě systému schopného exekuce pohybu u kybernetických končetin. Příznivě bylo vyhodnoceno frekvenční pásmo beta, které ukazuje nejvýznamnější aktivitu (Morash,

2008). K obdobným výsledkům v EEG studii došli už Pfurscheller a Neuper (1997) při lokalizaci mozkové aktivity v primárním senzomotorickém kortexu ve frekvenčním pásmu beta během několikasekundové imaginace pohybu. Yuan, Perdoni, He (2010) posunuli výzkum mozkové aktivity u reálného pohybu a imaginace ještě dál a ověřili rozdílnou mozkovou aktivaci při různých rychlostech provedení pohybu. Obrázek č. 2. ukazuje změnu distribuce aktivity ve frekvenčním pásmu alfa a beta mezi pohybem reálným a imaginací při různých rychlostech.



Obrázek č. 2: Změna distribuce aktivity ve frekvenčním pásmu alfa a beta u exekuce pohybu a imaginace na fMRI (Yuan, Perdoni, HE, 2010).

Yuan, Perdoni, HE (2010) zároveň popisují (na obrázku č. 3) rozdílnou aktivaci během ME (motor execution), vyšší zapojení v centrální oblasti při MIK (kinesthetic motor imaginary) oproti aktivitě parieto-okcipitálních areí při MIV (visual motor imaginary) a díky svému spojení se zrakovými funkcemi očekávatelnou aktivitu okcipitálního lobu OOM (observation of movement).



Obrázek č. 3: Porovnání mozkové aktivity mezi ME (motor execution), MIK (kinesthetic motor imaginary), OOM (observation of movement), MIV (visual motor imaginary) (Yuan, Perdoni, HE, 2010).

3. CÍLE, ÚKOLY A HYPOTÉZY

3.1. Cíle práce

Cílem práce je vyhodnotit intracerebrální zdrojovou aktivitu v průběhu jednoduchého pohybu paže inspirovaném Feldenkraisovou metodou a porovnat ho jednak s vizuální stimulací téhož pohybu pomocí videozáznamu, jednak s imaginací téhož pohybu. Pohyb vycházející z Feldenkraisovy metody byl zjednodušen na opakovaně provednou flexi dominantní horní končetiny. Zdrojová aktivita byla hodnocena z povrchového EEG a vyhodnocena pomocí sLORETA programu.

3.2. Úkoly práce

Shromáždění nejnovějších poznatků z oblasti rozdělení mozkových oblastí dle funkce a vytvoření literární rešerše s tematikou zrcadlových neuronů a Feldenkraisovy metody.

Vytvoření experimentu obsahujícího neurofyziologická východiska Feldenkraisovy metody včetně imaginace pohybu a vizuální stimulace.

Registrace encefalografické mozkové aktivity a lokalizace jejích změn pomocí sLORETA mezi aktivním pohybem se zavřenými očima inspirovaným Feldenkraisem a imaginací stejného pohybu.

Registrace encefalografické mozkové aktivity a lokalizace jejích změn pomocí sLORETA mezi aktivním pohybem inspirovaným Feldenkraisem s otevřenými očima a vizuální stimulací.

Analýza a interpretace získaných dat.

Vytvoření diskuze shrnující získané poznatky v konfrontaci s dosud známými informacemi a zhodnocení experimentální části práce.

3.3. Hypotézy

H1: Předpokládám, že se objeví rozdílná lokalizace intracerebrální mozkové aktivity při imaginaci pohybu inspirovaném Feldenkraisovou metodou a aktivním provedení téhož pohybu se zavřenýma očima.

H2: Předpokládám, že se objeví rozdílná lokalizace intracerebrální mozkové aktivity při vizuální stimulaci za použití videozáznamu pohybu inspirovaného Feldenkraisovou metodou a aktivním provedením téhož pohybu s otevřenýma očima.

4. METODIKA PRÁCE

4.1. Výzkumný soubor

Experimentu se dobrovolně, bez nároku na honorář, zúčastnilo 12 zdravých osob, 3 muži a 9 žen ve věku 23-60 let, s průměrným věkem 27.2 let, jejichž zdravotní stav nebyl kontraindikován pro danou pohybovou aktivitu, s dobrým zrakem nebo korekcí. Vzorek zdravé populace se v našem případě skládal ze studentů fyzioterapie, studentů jiných, nepříbuzných vysokoškolských oborů a studentů jógy. Studie se nezúčastnili jedinci praktikující FM. Podmínkou účasti byla pravá dominantní horní končetina. Všichni probandi byli před provedením experimentu poučeni o průběhu měření a podepsali informovaný souhlas (Příloha č. 2). Celá studie se konala se souhlasem etické komise UK FTVS pod jednacím číslem 199/2016 (Příloha č. 1).

4.2. Sběr dat

4.2.1. Teoretická část

Teoretická část práce byla zpracována za pomoci tištěných a elektronických zdrojů - monografií, odborných periodik a učebnic. Odborné články byly získány z online databází Pubmed, Medline, Scopus a Sciencedirect prostřednictvím přístupu v Národní technické knihovně ČVUT v Praze. Literatura byla převážně v anglickém jazyce, malá část v jazyce českém. Citace odborné literatury byly upraveny dle citační normy ČS ISO 690.

4.2.2. Experimentální část

Experimentální část zahrnuje měření elektrické aktivity mozku devatenáctikanálovým EEG přístrojem Wireless EEG Nicolet od společnosti NeuroData. Data získaná z EEG byla zpracována programem sLORETA. Za pomoci kortikálního atlasu Cortical Functions: Reference (2012) byly interpretovány výsledky. Ke snímání EEG aktivity byla použita EEG čepice waveguardTM connect s 19 elektrodami.: Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8, T5, T3, C3, Cz, C4, T4, T6, P3, Pz, P4, O1, O2. Povrchový odpor elektrod byl udržován pod 10 k Ω , vzorkovací frekvence byla 512 Hz a pásmová propustnost 0,5 – 70 Hz.

Snímání intracerebrální mozkové aktivity EEG přístrojem probíhalo v poloze vleže na zádech s podložením hlavy pro vyloučení nadbytečných svalových artefaktů. Prvně bylo

zaznamenáno nativní EEG a po něm aktivní pohyb paže. Aktivní pohyb paže byl uskutečněn ve dvou variantách, s otevřenými (Move OE) a zavřenými očima (Move CE). Se zavřenými očima proběhlo měření během imaginace téhož pohybu (Imaginace CE). S očima otevřenými byla naměřena intracerebrální aktivita při vizuální stimulaci (Video OE) za použití videozáznamu opakovaného pohybu paže do flexe, vybraného na základě teoretického zpracování problematiky zrcadlových neuronů.

4.3. Průběh měření

Měření probíhalo v průběhu ledna 2017 v kineziologické laboratoři katedry fyzioterapie v areálu UK FTVS za přiměřeného denního a umělého světla a co největšího možného ticha.

Všichni účastníci byli již dopředu obeznámeni s průběhem měření a po příchodu se toto seznámení opakovalo. Čas doby měření jednoho probanda se pohyboval kolem 60 minut.

Vsedě byla probandům nasazena a upevněna EEG čepice s devatenácti skalpovými elektrodami ve standardním systému 10/20 s referenční elektrodou FCz ve střední čáře. Poté se přistoupilo k aplikaci kontaktního gelu speciální injekční stříkačkou a vytvoření kontaktu skrz kruhové otvory v elektrodách. Povrchový odpor elektrod byl udržen pod 10 k Ω .

Vlastní experiment se skládal z pěti částí. Jednotlivé části jsou popsány na následující straně v tabulce č. 3. Pořadí mezi druhou a třetí částí a mezi čtvrtou a pátou částí bylo vylosováno před zahájením měření pro zajištění naprosté randomizace.

Postup provedení experimentu
1. Etapa – Nativní záznam EEG
Sejmutí nativního záznamu EEG v poloze vleže na zádech po dobu pěti minut se zavřenýma a následně po dobu dvou minut otevřenýma očima.
2. Etapa – Aktivní pohyb s otevřenýma očima
Proband po dobu dvou minut opakovaně provádí aktivní flexi dominantní pravé horní končetiny do zhruba 90° s otevřenýma očima. Proband je instruován k pomalému provádění pohybu a soustředění na celý jeho průběh.
Relaxace: Následuje dvouminutová pauza se zavřenýma očima a poslechem relaxační hudby.
3. Etapa – Aktivní pohyb se zavřenýma očima
Proband po dobu dvou minut opakovaně provádí aktivní flexi dominantní pravé horní končetiny do zhruba 90° se zavřenýma očima. Proband je instruován k pomalému provádění pohybu a soustředění na celý jeho průběh.
Relaxace: Následuje dvouminutová pauza se zavřenýma očima a poslechem relaxační hudby.
4. Etapa – Imaginace pohybu
Proband provádí dvouminutovou imaginaci flexe pravé horní končetiny se zavřenýma očima.
Relaxace: Následuje dvouminutová pauza se zavřenýma očima a poslechem relaxační hudby.
5. Etapa – Vizuální stimulace
Proband sleduje dvouminutový videozáznam zobrazující opakovaný pohyb pravé horní končetiny na tabletu umístěném ve vzdálenosti zhruba 30 centimetrů.

Tabulka č. 3: Popis jednotlivých částí měření

4.4. Analýza a zpracování dat

Za pomoci programu NeuroGuide byl z každého dvouminutového záznamu vybrán třicetisekundový bezartefaktový úsek. K převodu dat z multikanálového EEG slouží modul výpočtu vzájemného spektra v programu sLORETA. Při vyhodnocování byla v programu zahrnuta všechna pásmová rozmezí, tedy pásmo 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). Spektra pro jednotlivá frekvenční pásma byla transformována do souboru formátu slor, který umožňuje 3D zobrazení aktivních korových oblastí a je použit při statistických výpočtech (Pánek, 2016).

4.5. Statistické vyhodnocení dat

Statistické výsledky byly vyhodnoceny v jednotlivých frekvenčních pásmech: TF2 – theta, TF3 – alfa-1, TF4 – alfa-2, TF5 – beta-1, TF6 – beta-2, TF7 – beta-3. Výsledky byly programem vyjádřeny koordináty v Talaraichově zobrazení, dále názvem Brodmannovy oblasti a odpovídající anatomickou mozkovou oblastí (na 3D mapě, v 2D řezech frontální, horizontální a transverzální rovinou).

Statistické vyhodnocení Studentovým t-testem proběhlo ve statistickém modulu programu sLORETA. Bylo použito porovnání párové skupiny (test $A=B$), varianta t-testu s logaritmickou transformací dat s parametrem vyhlazení 0,5 a možnost randomizace dat s hodnotou 5000 (Pánek, 2016).

Porovnány byly interindividuílní rozdíly ve dvou situacích. Jako první data naměřená během aktivního pohybu se zavřenými očima (Move CE) s daty získanými při imaginaci téhož pohybu se zavřenými očima (Imaginace CE) – „Move CE vs. imaginace CE“. V druhé situaci byla porovnána data během aktivního pohybu s otevřenými očima (Move OE) proti vizuální stimulaci (Video OE) – „Move OE vs. video OE“.



Obrázek č. 4: Laboratoř UK FTVS; poloha probanda během experimentu; leden 2017

Zdroj: Autorka



Obrázek č. 5: Laboratoř UK FTVS; aplikace EEG čepice; leden 2017

Zdroj: Autorka

5. VÝSLEDKY

5.1. Statistické vyhodnocení „Move CE vs. imaginace CE“

V první části experimentu je porovnána intracerebrální mozková aktivita všech dvanácti probandů během provedení aktivního pohybu horní dominantní končetinou se zavřenými očima oproti imaginaci totožného pohybu se zavřenými očima – „Move CE vs. imaginace CE“. Ve výsledcích jsou popsány arey, u kterých vyšla diference na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$ ve frekvenčním pásmu theta (Tabulka č. 4).

Statistické vyhodnocení „Move CE vs. imaginace CE“			
Frekvenční pásmo	Výskyt statisticky významné difference	Hladina statistické významnosti	Arey odpovídající statistické diferenci
Theta	Ano	1%	3,4,6,22,42, 43

Tabulka č. 4: Shrnutí intracerebrální mozkové aktivity v jednotlivých BA u „Move CE vs. imaginace CE“ dle frekvenčních pásem

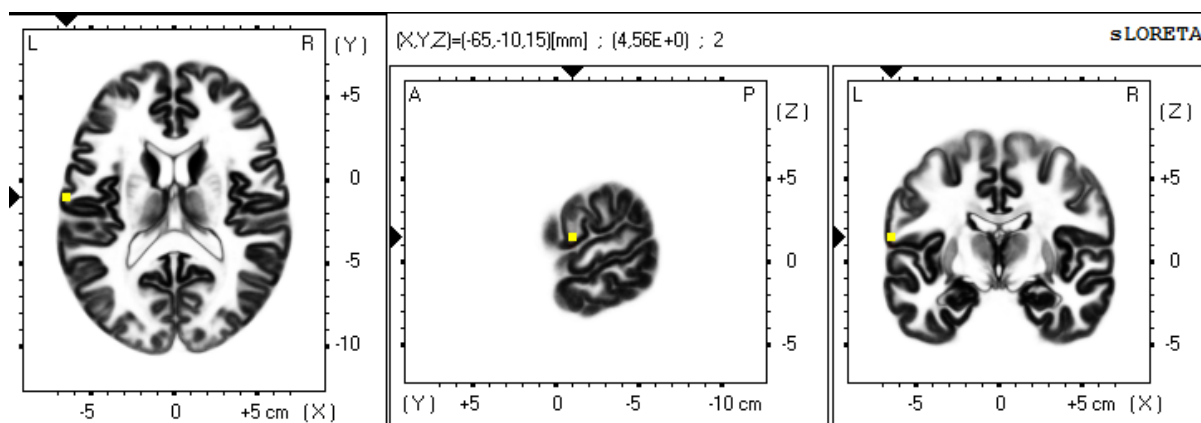
	t(0.01)	t(0.05)	t(0.10)	ExtremeP
One-Tailed (A>B):	4.039	3.500	3.138	0.00240
One-Tailed (A<B):	-4.112	-3.528	-3.193	0.56400
Two-Tailed (A<>B):	4.395	3.739	3.509	0.00540

Tabulka č. 5: Výsledky statistického zpracování „Move CE vs. imaginace CE“

(Legenda: Šedivě zvýrazněná pole označují pozitivní výsledky statistického zpracování mozkové aktivity u pohybu se zavřenými očima oproti imaginaci pohybu ve smyslu existující rozdílné mozkové aktivace u imaginace pohybu, t(0.01) vyjadřuje 1% statistickou významnost, t(0.05) 5% statistickou významnost, t(0.10) 10% statistickou významnost.)

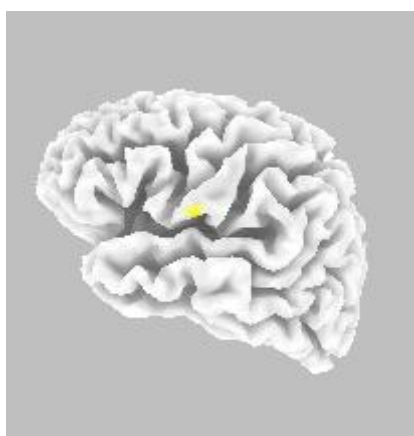
Frekvenční pásmo theta

Statistickým zpracováním dat se ukázala signifikantní diference na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$ ve frekvenčním pásmu theta u BA 43 v parietálním laloku (postcentral gyrus; X=-65, Y=-10, Z=15) a u BA 3, 4, 6, 22, 42 (Obrázek č. 6 a 7). U těchto areí došlo ke zvýšení intracerebrální mozkové aktivity.



Obrázek č. 6: Ukazatel signifikantní diference proudových hustot ve frekvenčním pásmu theta v parietálním laloku (Žluté voxely zobrazují oblasti se zvýšenou aktivitu)

Zdroj: sLORETA systém



Obrázek č. 7: Statisticky významné voxely ve frekvenčním pásmu theta ukazující zvýšenou intracerebrální aktivitu u porovnání „Move CE vs. imaginace CE“ (Žluté voxely zobrazují oblasti se zvýšenou aktivitou)

Zdroj: sLORETA systém

5.2. Statistické vyhodnocení „Move OE vs. video OE“

Ve druhé části experimentu je porovnávána intracerebrální mozková aktivita všech dvanácti probandů během provedení aktivního pohybu dominantní horní končetinou s otevřenými očima oproti vizuální stimulaci uskutečněné za pomoci videozáznamu s totožným pohybem – „Move OE vs. video OE“. Ve výsledcích jsou popsány arey, u kterých vyšla diference na hladině statistické významnosti $p \leq 0,5$ ve frekvenčním pásmu beta-1 a na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$ v pásmech beta-2 a beta-3 (Tabulka č. 6).

Statistické vyhodnocení „Move OE vs. video OE“			
Frekvenční pásmo	Výskyt statisticky významné difference	Hladina statistické významnosti	Arey odpovídající statistické diferenci
Beta-1	Ano	5%	7,13,17,18, 19, 0-23,30-31,36,37,39,40-42
Beta-2	Ano	1%	5,7,13,17-19, 22-23,30-31,35, 37,39,40,42
Beta-3	Ano	1%	7, 17-19,22-23,30-31,37,39

Tabulka č. 6: Shrnutí intracerebrální mozkové aktivity v jednotlivých BA u „Move OE vs. video OE“ dle frekvenčních pásem

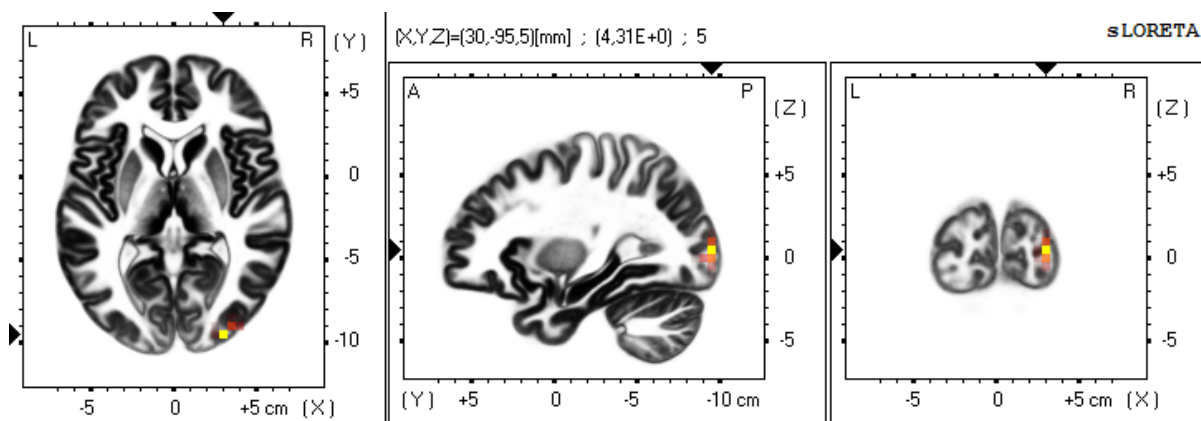
	t(0.01)	t(0.05)	t(0.10)	ExtremeP
One-Tailed (A>B):	4.571	3.283	2.785	0.00040
One-Tailed (A<B):	-4.571	-3.242	-2.758	0.58120
Two-Tailed (A<>B):	4.865	3.828	3.266	0.00060

Tabulka č. 7: Výsledky statistického zpracování „Move OE vs. video OE“

(Legenda: Šedivě zvýrazněná pole označují pozitivní výsledky statistického zpracování mozkové aktivity u pohybu s otevřenými očima oproti sledování stejného pohybu na video záznamu ve smyslu existující rozdílné mozkové aktivace u imaginace pohybu. T(0.01) vyjadřuje 1% statistickou významnost, t(0.05) 5% statistickou významnost, t(0.10) 10% statistickou významnost.)

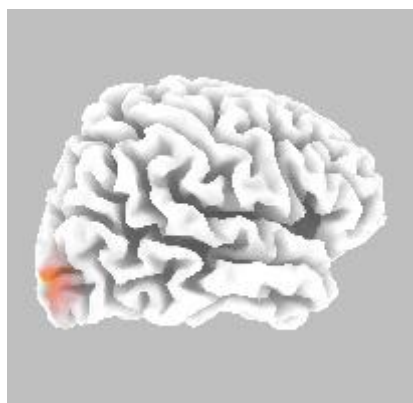
Frekvenční pásmo beta-1

Statistickým zpracováním dat se ukázala signifikantní diference na hladině statistické významnosti $p \leq 0,5$ ve frekvenčním pásmu beta-1 u BA 18 v okcipitálním laloku (middle occipital gyrus; X=30, Y=-95, Z=5) a v areích 7, 13, 17 18- 23, 30, 31, 36, 37, 39, 40-42 (Obrázek č. 8 a 9). U těchto areí došlo ke zvýšení intracerebrální mozkové aktivity.



Obrázek č. 8: Ukazatel signifikantní diference proudových hustot v beta-1 pásmu v okcipitálním laloku (Žlutě a červeně je vyznačena zvýšená aktivita)

Zdroj: sLORETA systém

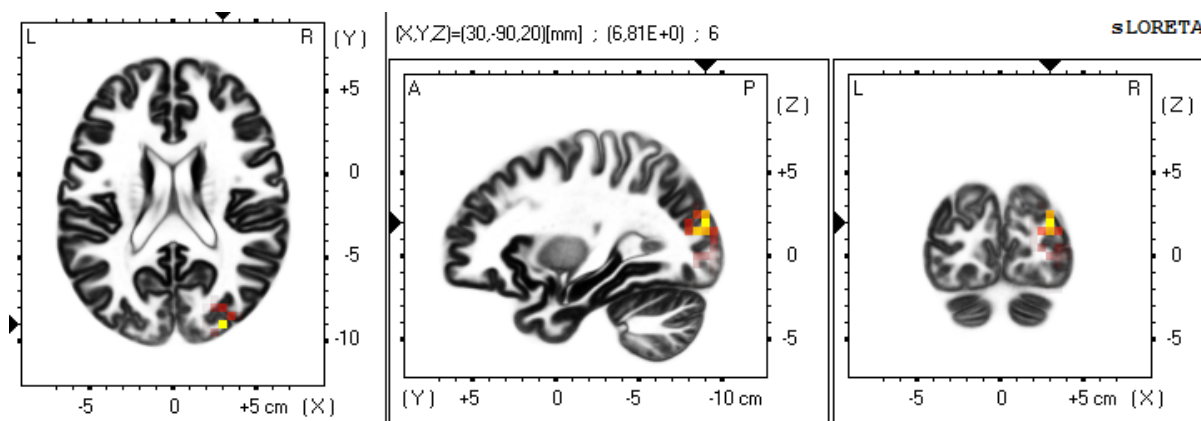


Obrázek č. 9: Statisticky významné voxely ve frekvenčním pásmu beta-1 ukazující zvýšenou intracerebrální aktivitu u porovnání „Move OE vs. video OE“ (Žluté voxely zobrazují oblasti zvýšenou aktivitu)

Zdroj: sLORETA systém

Frekvenční pásmo beta-2

Statistickým zpracováním dat se ukázala signifikantní diference na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$ ve frekvenčním pásmu beta-2 u BA 19 v okcipitálním laloku (inferior occipital gyrus; X=30, Y=-90, Z=20) a dále v BA 5, 7, 13, 17, 18, 22, 23, 30, 31, 35, 37, 39, 40, 42 (Obrázek č. 10 a 11). U těchto areí došlo ke zvýšení intracerebrální mozkové aktivity.



Obrázek č. 10: Ukazatel signifikantní diference proudových hustot v beta-2 pásmu v okcipitálním laloku (Žlutě a červeně je vyznačena zvýšená aktivita)

Zdroj: sLORETA systém

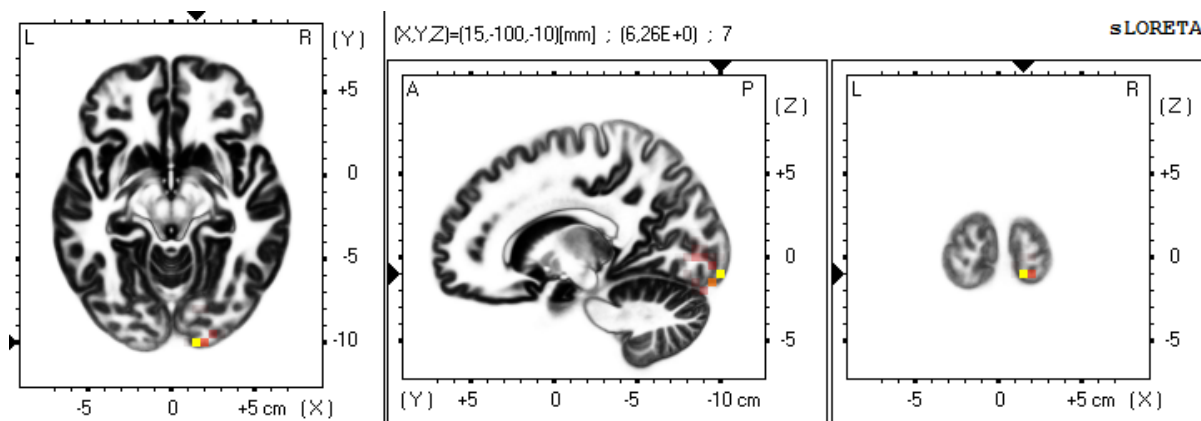


Obrázek č. 11: Statisticky významné voxely ve frekvenčním pásmu beta-2 ukazující zvýšenou intracerebrální aktivitu u porovnání „Move OE vs. video OE“ (Žluté voxely zobrazují oblasti zvýšenou aktivitu)

Zdroj: sLORETA systém

Frekvenční pásmo beta-3

Statistickým zpracováním dat se ukázala signifikantní diference na hladině statistické významnosti $p \leq 0,01$ ve frekvenčním pásmu beta-3 u BA 18 vpravo v okcipitálním laloku (middle occipital gyrus; X=15, Y=-100, Z=-10) a v BA 7, 17-19, 22, 23, 30, 31, 37, 39 (Obrázek č. 12 a 13). Zde došlo ke zvýšení intracerebrální mozkové aktivity.



Obrázek č. 12: Ukazatel signifikantní diference proudových hustot v beta-3 pásmu v okcipitálním laloku (Žlutě a červeně je vyznačena zvýšená aktivita)

Zdroj: sLORETA systém



Obrázek č. 13: Statisticky významné voxely ve frekvenčním pásmu beta-3 ukazující zvýšenou intracerebrální aktivitu u porovnání „Move OE vs. video OE“ (Žluté voxely zobrazují oblasti zvýšenou aktivitu)

Zdroj: sLORETA systém

6. DISKUZE

Již mnoho experimentů zkoumalo přínosy Feldenkraisovy metody na pohybový aparát a fyziologické funkce a pouze okrajově věnovaly pozornost změnám na centrální úrovni, o kterých Moshé Feldenkrais hovoří již v roce 1972 (Feldenkrais, 2014). Tato studie se zabývá změnou distribuce mozkové aktivity u Feldenkraistem inspirovaného aktivního pohybu se zavřenýma očima oproti imaginaci pohybu a u aktivního pohybu s otevřenýma očima oproti sledování videa.

Distribuce mozkové aktivity se při použití imaginace a sledování pohybu k naučení nových komplexních motorických dovedností oproti využití klasického aktivního pohybu mění, ale přesné vysvětlení těchto procesů zůstává nejasné. Autoři se shodují na pozitivních přínosech obou přístupů pro fyzioterapii a při jejich porovnání se sledování videa ukázalo jako efektivnější během motorického učení a provádění komplexních pohybů. Kortikální aktivita byla rozsáhlejší a konzistentnější oproti imaginaci pohybu (Gonzales-Rosa et al., 2014; Lorey et al., 2014). Neuper (2015) tyto závěry potvrzuje a ještě dodává, že i přes tento rozdíl jsou změny kortikální aktivity během imaginace velmi podobné těm, které nastanou při reálném provedení pohybu.

6.1. Diskuze k hypotéze č. 1

H1: Předpokládám, že se objeví rozdílná lokalizace intracerebrální mozkové aktivity při imaginaci pohybu inspirovaném Feldenkraisovou metodou a aktivním provedení téhož pohybu se zavřenýma očima.

Statistickým vyhodnocením aktivovaných mozkových oblastí všech dvanácti probandů se při aktivním pohybu ukázala signifikantní diference, zvýšená aktivita, ve frekvenčním pásmu theta u BA 3, 4, 6, 22, 42 a 43 (Tabulka č. 8). Tedy, i přes inaktivitu na hladině alfa, lze hypotézu pokládat za potvrzenou.

Aktivované arey u „Move CE vs. imaginace CE“ dle lobů	
Lobus	Náležící BA
Frontální	4, 6
Parietální	3, 43
Temporální	22, 42

Tabulka č. 8: Zvýšená intracerebrální aktivita – „Move CE vs. imaginace CE“ dle lobů

Zvýšená intracerebrální aktivace ve frekvenčním pásmu theta byla nalezena u BA 43 v parietálním lobu. O oblasti 43 (primary gustatory cortex) se zatím ví velmi málo. Zdroje uvádějí, že reaguje na mluvenou řeč a na vibrotaktilní stimulaci (dále zdrojem pokud není uvedeno jinak: Cortical Functions: Reference, 2012). Ve frekvenčním pásmu theta byly aktivovány také BA 3, 4, 6, 22 a 42. Area 3 je primární somatosenzorickou oblastí spojenou s propriocepcí, participací na vědomých pohybech ruky a zapojením oblasti do systému zrcadlových neuronů, který hraje rozhodující roli při anticipaci, imitaci a imaginaci. Aktivace BA 3 během motorické akce reflektuje zapojení rozsáhlé sítě zajišťující motoriku. V našem případě může ukazovat na zapojení i dalších podkorových oblastí do procesu imaginace pohybu. BA 4 a 6 jsou dominantními areami při plánování, iniciaci, exekuci a kontrole motoriky, detailně ovládají především pohyby zápěstí, ruky a prstů. Významná je pro nás jejich participace na imaginaci pohybu. Arey kontrolují rytmické pohyby a zapojují se do procesu uložení motorických vzorců do paměti a pracovní paměti. BA 4 slouží k prvotnímu zaměření pozornosti při přípravě motorické akce a vytvoření mentálního obrazu pohybu. BA 6 se navíc podílí na vizuospatiální a vizuomotorické koordinaci, tedy orientaci vlastního těla v prostoru v klidu i pohybu. BA 22 a 42 zpracovávají sluchové stimuly a jejich interpretaci. Area 22 se také účastní deduktivního uvažování, area 42 participuje na pracovní paměti a pravděpodobně na funkci systému zrcadlových neuronů. K uchování mentálního obrazu pohybu při imaginaci pohybu slouží arey 4, 6 a 42. Samotné imaginace pohybu se účastní především oblasti 3, 4 a 6. U představy pohybu se naráží na diversitu způsobů provedení. Bez přesné specifikace, která u tohoto experimentu chyběla, si subjekt může představit „vnitřní provedení pohybu“ (proces z pohledu první osoby), nebo je alternativou představení sebe sama jako další osobu vykonávající daný pohyb (proces z pohledu třetí osoby), tedy mentální představa pohybu. Odlišné způsoby provedení pak aktivují jiné mozkové arey. První možnost je kinestetickou zkušeností, druhá možnost je primárně vizuálního charakteru (Neuper et al, 2005). Výsledky studie Gonzales et al. (2014) indikují obtížnost imaginace u neznámých pohybů ve srovnání s imaginací pohybů již zažitých. I když tato otázka zatím není přesně zodpovězena, byl z tohoto důvodu při experimentu zvolen postup nejdříve aktivního provedení pohybu, a pak až imaginace.

Gonzales (2014) také uvádí obtížnou interpretaci výsledků pro komplexnost kortikálních procesů při imaginaci pohybu. Imaginace pohybu byla tímto způsobem prokázána jako

efektivní nástroj k aktivaci senzomotorického systému. A to jak při zlepšení již naučených stereotypů (Benedek et al., 2011, Di Rienzo et al., 2016), tak i pro osvojení nových motorických dovedností (Ingram, 2016; Krauner et al., 2016). Výzkumy týkající se mentální představy pohybu potvrzují aktivaci příslušné somatotopické oblasti primárního kortexu a suplementární motorické oblasti (Sonkin 2015; Di Rienzo et al., 2016). Sem patří i BA 4 a 6 aktivované v našem experimentu. Autoři se shodují na pozitivním přínosu imaginace jako součásti pohybové terapie či tréninku z důvodu rozsáhlejšího zapojení parietálního lobu (v našem případě BA 3, 43), tedy participaci sensorických procesů, které „obohacují“ prožitek spojený s motorickým učením (BA 4, 6) a podílejí se tak i na uložení paměťové stopy. Dále ukázala signifikantní intracerebrální aktivace temporálního lobu (BA 22, 42), který má také vztah s vizuální a kinestetickou imaginací (Yuan, Perdoni, HE, 2010).

6.2. Diskuze k hypotéze č. 2

H2: Předpokládám, že se objeví rozdílná lokalizace intracerebrální mozkové aktivity při vizuální stimulaci za použití videozáznamu pohybu inspirovaného Feldenkraisovou metodou a aktivním provedením téhož pohybu s otevřenými očima.

Statistickým vyhodnocením aktivovaných mozkových oblastí všech dvanácti probandů se při aktivním pohybu s otevřenými očima ukázala signifikantní difference, zvýšená aktivita, ve frekvenčním pásmu beta-1, beta-2 a beta-3. Tedy i přes inaktivitu na hladině alfa a theta lze hypotézu pokládat za potvrzenou.

Aktivované arey u „Move OE vs. video OE“	
Lobus	Náležící BA
Okcipitální	17-19, 37
Parietální	5, 7, 39, 40
Temporální	20-22, 37, 39, 41, 42

Tabulka č. 9: Zvýšená intracerebrální aktivita – „Move OE vs. video OE“ dle lobů

Skrz všechna frekvenční pásma jsou dominantně aktivované arey 18 a 19, včetně funkčně připojené arey 17, spojené s uchováváním vizuálních podnětů do vědomé paměti. Slotnick a Schacter (2006) k nim ještě připojují areu 37. Arey ventrální části okcipotemporálního kortexu se podle nich podílí i na ukládání vizuálních informací do nevědomí. V experimentu

zkoumajícím zrcadlové neurony se zaměřením na tato paměťová centra se ukázala zvýšená aktivita především BA 17 a 18 během testování nevědomých asociací. Arey 18 a 19 sice nejsou uvedeny mezi primárními oblastmi zrcadlového systému, nicméně jejich spoluúčast byla v mnohých studiích opakovaně prokázána (Molenberghs, 2012). Konzistentní aktivita areí 17-19 v okcipitálním lobu se dá vysvětlit také jejich primární funkcí, jelikož obsahují zraková centra. BA 17 dále participuje na rozpoznávání tváří, vizuální kontrole motorických stereotypů a vizuospeciální pozornosti.

Ve frekvenčním pásmu beta-1 byly kromě dominantní BA 18 aktivovány BA 7, 13, 17 18-23, 30, 31, 36, 37, 39, 40-42. Z nich i BA 7, 13, 20-23, 37 patří do oblastí související s vizuospeciální a vizuomotorickou pozorností.

Frekvenční pásmo beta-2 ukazuje primární aktivitu arey 19 v okcipitálním lobu. Dalšími aktivovanými areami byly BA 5, 7, 13, 17, 18, 22, 23, 30, 31, 35, 37, 39, 40, 42.

Ve frekvenčním pásmu beta-3 se objevuje dominantní aktivace znovu u BA 18.

Dalšími aktivovanými areami byly BA 7, 17-19, 22, 23, 30, 31, 37, 39.

Kromě dominantní aktivity v okcipitálním lobu byla dále naměřena aktivita v lobu parietálním (BA 5, 7, 39, 40) a temporálním (BA 20-22, 37, 39, 41, 42).

Do parietálního lobu se řadí arey 5, 7, 39 a 40. Zapojení areí 7 a 40 bylo očekávatelné pro jejich spojitost s vizuospeciálními procesy vyhodnocujícími okolní prostředí, osobní prostor a sledování pohybu a využití této vizuální zkušenosti k vytvoření vlastní zkušenosti skrz systém zrcadlových neuronů (Buccino et al., 2004). Area 40 dokonce patří mezi nejčastěji zmiňované v souvislosti se zrcadlovým systémem. Molenberghs (2012) dokonce uvádí aktivitu této oblasti ve 48 % všech studií. Řeč je příjemcem vnímána dvěma smyslovými orgány, zrakovými a sluchovými receptory. Na rozdíl od vnímání řeči přes telefon, kdy je posluchačem přijat pouze audiozáznam, zraková kontrola mluveného slova umožňuje zpracování významu slov dalším kanálem – vizuálním. Pohyby úst naše mysl zachycuje jako statické obrazy, kterým je pak na základě zkušenosti přiřazen význam. Calvert, Campbell (2003) při provedení výzkumů měřících odpověď zrcadlového systému na vizuální sledování řeči našli aktivitu sluchového kortexu, areí 41 a 42. Přiřadili jim funkci čtení řeči z mimických výrazů.

U arey 39 není spojitost se ZN jednoznačná, ale i přes to 7 studií z meta-analýzy zrcadlovou aktivitu prokazuje (Molenberghs, 2012). Obyčejně je tato oblast spojována s vizuospeciálním zaměřením pozornosti, somatognózií a schopností imitace gest.

V temporálním lobu došlo k aktivaci BA 20, 21, 22, 37, 39, 41, 42. Arey 21, 22 a 42 se podílejí na deduktivním uvažování a je u nich prokázané zapojení do systému zrcadlových neuronů (Rizzolatti et al. 1996). Samotná area 42 má na starost uchování obrazu do paměti. Area 20 patří do zrakových center, zajišťuje vizuální fixaci pohybujících se předmětů a integraci menších elementů do obrazového celku. Mezi funkce arey 39, součást Wernickeho oblasti, patří vizuospaciální zaměření pozornosti a imitace gest.

Fakt, že se v této části experimentu, zaměřené na ZN, aktivovaly souhlasné dominantní arey na všech frekvencích, může vysvětlit přítomnost podnětu vyžadujícího vyšší pozornost oproti imaginaci pohybu, kde má vědomí možnost se odpoutat a snadněji přejít k jiným myšlenkám. Tyto arey (BA 17-19) patří do primárně okcipitální oblasti zajišťující sledování pohybu (Yuan, Perdoni, HE, 2010).

7. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vyhodnotit intracerebrální zdrojovou aktivitu v průběhu jednoduchého pohybu paže inspirovaném Feldenkraisovou metodou a porovnat ho jednak s vizuální stimulací téhož pohybu pomocí videozáznamu, jednak s imaginací téhož pohybu. Pohyb vycházející z Feldenkraisovy metody byl zjednodušen na opakovaně provednou flexi dominantní horní končetiny.

„Odkoukáváním“, aktivací systému zrcadlových neuronů, se učíme již od dětství. Spolu s imaginací pohybu je to nedílná součást přirozeného vývoje pohybového systému člověka. Zvědomění těchto mechanismů může přinést významný pozitivní vývoj v rehabilitaci i sportovním tréninku. Účelem této práce bylo pochopení těchto procesů a zjištění efektivnosti obou přístupů v porovnání s běžně prováděným aktivním pohybem.

Informace o intracerebrální mozkové aktivitě byly získány EEG analýzou a lokalizace signálu pomocí programu sLORETA. Tím se ukázaly mozkové arey aktivní při výše uvedených pohybech. Ze statistického zpracování těchto údajů vyšla signifikantní diference ve frekvenčních pásmech beta-1, beta-2, beta-3 a theta. Ani u jedné z částí experimentu se neobjevila relevantní změna v distribuci alfa aktivity.

Při porovnání imaginace pohybu paže inspirovaném Feldenkraisovou metodou s aktivním pohybem se zavřenými očima se ukázala signifikantní diference v oblastech klasicky spojovaných s motorickým učením a v oblastech zajišťujících rozsáhlejší sensorické procesy. V druhé části experimentu, porovnání vizuální stimulace s aktivním pohybem s otevřenými očima, došlo ke zvýšení intracerebrální mozkové aktivity ve všech frekvenčních pásmech beta v souhlasných oblastech zajišťujících sledování pohybu, již potvrzených jako „zrcadlové“.

Provedenými experimenty byla lokalizována mozková aktivita při často využívaných způsobech stimulace ve fyzioterapii a výsledky mohou sloužit terapeutům k rozšíření teoretických znalostí a pomoci jim při volbě terapie dle cíle terapeutického plánu.

SEZNAM LITERATURY

AMBLER, Z. *Základy neurologie: [učebnice pro lékařské fakulty]*. 7. vyd. Praha: Galén, c2011. ISBN 978-80-7262-707-3.

BENEŠOVÁ, M., PREISS, M., KULIŠŤÁK, P. (2009): *Neuroplasticita lidského mozku a její význam pro psychologii*. Česká a slovenská psychologie 53(1), str. 55 -67

Cortical Functions: Reference [online]. Hong Kong: Trans Cranial Technologies

ltd., 2012 [cit. 2016-04-16]. Dostupné z:

https://www.transcranial.com/local/manuals/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

BUCHANAN, P. A. (2012). *The Feldenkrais Method® of Somatic Education, A Compendium of Essays on Alternative Therapy*, Dr. Arup Bhattacharya (Ed.), ISBN: 978-953-307-863-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/a-compendium-of-essays-on-alternative-therapy/the-feldenkrais-method-of-somatic-education>

DESPOPOULUS, A., SILBERNAGL, S. *Atlas fyziologie člověka*. 6. vyd. Praha: Grada, 2004. ISBN 80-247-0630-X

FABER, J. *Elektroencefalografie*. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova -

Vydavatelství Karolinum, 1992. ISBN 80-706-6630-7.

FABER, J. *Elektroencefalografie a psychofyziologie*. 1. Praha: ISV nakladatelství, 2001. ISBN 80-858-6674-9

FELDENKRAIS, Moshé. *Silné Já: návod ke spontánnosti*. Hodkovičky [Praha]: Pragma, c2014. ISBN 978-80-7349-405-6.

GUYTON, A. *Textbook of Medical Physiology*. 5. Philadelphia: W.B. Saunders, 1976

MASTERS, R., HOUSTON, J. *Naslouchejte svému tělu: psychofyzická cesta ke zdraví a vědomí sebe sama*. Hodkovičky [Praha]: Pragma, 2006. ISBN 80-734-9027-7

MÍŠUREC, J.; CHMELÁŘ, M. *Elektroencefalografie*. Brno: IDV SZP, 1990, 194s. ISBN 80-7013-065-2

MOHYLOVÁ, J.; KRAJČA, V. *Zpracování biologických signálů*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TUO, 2006. ISBN 978-80-248-1491-9

NOFZINGER, E., MAQUET, P., THORPY, M.J. *Neuroimaging of sleep and sleep disorders*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013. ISBN 11-070-1863-3.

HAMALAINEM, M., ILOMONIEMI, R. *Interpreting measured magnetic fields of the brain: estimates of current distributions*, Report TKK-F- A559. Helsinki: University of Technology, 1984.

PÁNEK, D. *Elektroencefalografické koreláty pohybového chování a výkonnostní zátěže*. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2016. ISBN 978-80-346-3435-7

ROZMAN, J. *Elektronické přístroje v lékařství*. 1. Praha: Academia, 2006. ISBN 80-200-1308-3

STACKEOVÁ, D. *Relaxační techniky ve sportu: [autogenní trénink, dechová cvičení, svalová relaxace]*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3646 4.

Doktorská dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze

ŠOŠ, P. *Měření, sledování a vyhodnocení nových neurofyziologických indikátorů u vybraných psychiatrických onemocnění* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-05

20]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/13369/?lang=cs>.

VÉLE, F. *Kineziologie: Přehled klinické kineziologie a patologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. 2. rozšířené a přepracované vydání. Praha: Triton, 2006. ISBN 80-7254-837-9.

VOKURKA, M. *Patofyziologie pro nelékařské směry*. 3., upr. vyd. Praha: Karolinum, 2012. ISBN 978-80-246-2032-9.

TROJAN, S. et al. *Lékařská fyziologie*. 4. vyd. Praha: Grada, 2003. 772 s. ISBN 80-247-0512-5.

ČLÁNKY

ARBIB, M., NATHAN, A. MUNDHENK, A. Schizophrenia and the mirror system: an essay. *Neuropsychologia* [online]. 2005, **43**(2), 268-280 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2004.11.013. ISSN 00283932. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0028393204002891>

BAREŠ, M., BRUNOVSKÝ, M., KOPEČEK, M., STOPKOVÁ, P., NOVÁK, T., KOŽENÝ, J., ČERMÁK, J., ŠOŠ, P., HOSCHL, C. EEG v predikci odpovědi na antidepresiva u pacientů s depresivní poruchou: Přehled a rozšířená pilotní data. *Psychiatrie*. Psychiatrické centrum Praha, 3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy, Centrum neuropsychiatrických studií, 2006, 10(4): 205-210

BENEDEK M, BERGNER S, KONEN T, FINK A, NEUBAUER AC. EEG alpha synchronization is related to top-down processing in convergent and divergent thinking. *Neuropsychologia* 2011;49(12):3505–11.

BERROL, C. F. Neuroscience meets dance/movement therapy: Mirror neurons, the therapeutic process and empathy. *The Arts in Psychotherapy* [online]. 2006, **33**(4), 302-315 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1016/j.aip.2006.04.001. ISSN 01974556. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0197455606000438>

BUCCINO, G, VOGT, S., RITZL, A., FINK, G. R., ZILLES, K., FREUND, H-J., RIZZOLATTI. G. Neural Circuits Underlying Imitation Learning of Hand Actions. *Neuron* [online]. 2004, **42**(2), 323-334 [cit. 2017-07-07]. DOI: 10.1016/S0896-6273(04)00181-3. ISSN 08966273. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0896627304001813>

BUCCINO, G, A SOLODKIN a S SMALL. Functions of the Mirror Neuron System: Implications for Neurorehabilitation. *Cognitive & Behavioral Neurology* [online]. 2006, **March 2006**(Volume 19 - 1), 55-63 [cit. 2017-08-21]. Dostupné z: http://journals.lww.com/cogbehavneurol/Abstract/2006/03000/Functions_of_the_Mirror_Neu ron_System_.7.aspx

CALVERT, G. A., CAMPBELL, R. Reading Speech from Still and Moving Faces: The Neural Substrates of Visible Speech. *Journal of Cognitive Neuroscience* [online]. 2003, **15**(1), 57-70 [cit. 2017-07-08]. DOI: 10.1162/089892903321107828. ISSN 0898-929x. Dostupné z: <http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/089892903321107828>

CLARK, D., SCHUMANN, F., MOSTOFSKY, S. H.. Mindful movement and skilled attention. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 2015, **9**, - [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00297. ISSN 1662-5161. Dostupné z: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fnhum.2015.00297/abstract>

CONNORS, K. A., GALEA, M. P., SAID, C. M., REMEDIOS, L. J.. Feldenkrais Method balance classes are based on principles of motor learning and postural control retraining: a qualitative research study. *Physiotherapy* [online]. 2010, **96**(4), 324-336 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1016/j.physio.2010.01.004. ISSN 00319406. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031940610000295>

COOPER NR, CROFT RJ, DOMINEY SJ, BURGESS AP, GRUZELIER JH. Paradox lost? Exploring the role of alpha oscillations during externally vs. internally directed attention and the implications for idling and inhibition hypotheses. *Int J Psychophysiol* 2003;47(1):65–74.

DE LA ROSA, S., SCHILLINGER, F. L., BÜLTHOFF, H. H., SCHULTZ, J., ULUDAG, K. fMRI Adaptation between Action Observation and Action Execution Reveals Cortical Areas

with Mirror Neuron Properties in Human BA 44/45. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 2016, **10**, - [cit. 2017-08-02]. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00078. ISSN 1662-5161. Dostupné z:

<http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fnhum.2016.00078/abstract>

DING, S., VAN HOESEN, G. W., CASSELL, M. D., POREMBA, A.. Parcellation of human temporal polar cortex: A combined analysis of multiple cytoarchitectonic, chemoarchitectonic, and pathological markers. *The Journal of Comparative Neurology* [online]. 2009, **514**(6), 595-623 [cit. 2017-07-06]. DOI: 10.1002/cne.22053. ISSN 00219967. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/cne.22053>

DI RIENZO, F., DEBARNOT, U., DALIGAULT, S., SARUCO, E., DELPUECH, C., DOYON, J., COLLET, C., GUILLOT, A. Online and Offline Performance Gains Following Motor Imagery Practice: A Comprehensive Review of Behavioral and Neuroimaging Studies. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 2016, **10**(315), - [cit. 2017-01-17]. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00315. ISSN 1662-5161. Dostupné z: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fnhum.2016.00315/abstract>

DOLAN, R.J, R LANE, P CHUA a P FLETCHER. Dissociable Temporal Lobe Activations during Emotional Episodic Memory Retrieval. *NeuroImage* [online]. 2000, **11**(3), 203-209 [cit. 2017-07-07]. DOI: 10.1006/nimg.2000.0538. ISSN 10538119. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S105381190090538X>

FASOLI, S. E., KREBS, S. H., STEIN, J., FRONTERA, W. R., HOGAN, N.. Effects of robotic therapy on motor impairment and recovery in chronic stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 2003, **84**(4), 477-482 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1053/apmr.2003.50110. ISSN 00039993. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003999302048062>

FONTANA, J. *Funkce buněk a lidského těla* [online]. Praha: 2013 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://fbt.cz/>

GALLESE, V, C KEYSERS a G RIZZOLATTI. A unifying view of the basis of social cognition. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2004, **8**(9), 396-403 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1016/j.tics.2004.07.002. ISSN 13646613. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364661304001846>

GERLACH, C, C.T AASIDE, G.W HUMPHREYS, A GADE, O.B PAULSON a I LAW. Brain activity related to integrative processes in visual object recognition: bottom-up

integration and the modulatory influence of stored knowledge. *Neuropsychologia*[online]. 2002, **40**(8), 1254-1267 [cit. 2017-08-04]. DOI: 10.1016/S0028-3932(01)00222-6. ISSN 00283932. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0028393201002226>

GOBLE, D., COXON, J. VAN IMPE, A., GEURTS, M., DOUMAS, M., WENDEROTH, N., SWINNEN, S. Brain activity during ankle proprioceptive stimulation predicts balance performance in young and older adults. *The Journal of Neuroscience* [online]. 2011, 31(45): 16344-52 [cit. 2015-12-05]. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.4159-11.2011. Dostupné z: <http://www.jneurosci.org/content/31/45/16344.long>

HAMMEL, M.F. a Y. LAJOIE. Mental Imagery. Effects on static balance and attentional demands of the elderly. *Aging Clinical and Experimental Research* [online]. 2004, **17**(No. 3) [cit. 2017-08-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Yves_Lajoie/publication/7649458_Mental_Imagery_Effects_on_static_balance_and_attentional_demands_of_the_elderly/links/09e4150a3bc32db684000000/Mental-Imagery-Effects-on-static-balance-and-attentional-demands-of-the-elderly.pdf

HANAKAWA, T., I. IMMISCH, K. TOMA, M.A. DIMYAN, P. VAN GELDEREN a M. HALLETT. Functional properties of brain areas associated with motor execution and imagery. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2003, **89**(2), 989-1002 [cit. 2016-10-06]. Dostupné z: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-0037322777&origin=inward&txGid=C9128EEF0DECE1BFC81066ABCA5A9488.wsnAw8kcdt7IPYLO0V48gA%3a1>

HASHIMOTO, Y., USHIBA, J.. EEG-based classification of imaginary left and right foot movements using beta rebound. *Clinical Neurophysiology* [online]. 2013, **124**(11), 2153-2160 [cit. 2017-01-03]. DOI: 10.1016/j.clinph.2013.05.006. ISSN 13882457. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1388245713006457>

HETU, S., GREGOIRE, M., SAIMPOMT, A., COLL, M.-P. P., EUGENE, F., MICHON, P.-E. E., & JACKSON, P. L. (2013). The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 37(5), 930–49. doi:10.1016/j.neubiorev.2013.03.017

IACOBONI, M. Cortical Mechanisms of Human Imitation. *Science*[online]. **286**(5449), 2526-2528 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1126/science.286.5449.2526. ISSN 00368075. Dostupné z: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.286.5449.2526>

INGRAM, T. G. J., KRAEUTNER, S. N., SOLOMON, J. P., WESTWOOD, D. A., BOE, S. G. Skill acquisition via motor imagery relies on both motor and perceptual learning. *Behavioral Neuroscience* [online]. 2016, **130**(2), 252-260 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1037/bne0000126. ISSN 1939-0084. Dostupné z: <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/bne0000126>

International Feldenkrais Federation [online]. Paris, 2011 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://feldenkrais-method.org/>

IVES, J. C. Comments on “The Feldenkrais Method®: A Dynamic Approach to Changing Motor Behavior”. *Research Quarterly for Exercise and Sport* [online]. 2003, **74**(2), 116-123 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1080/02701367.2003.10609072. ISSN 0270-1367. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02701367.2003.10609072>

KEYSERS, C., GAZZOLA, V.. Expanding the mirror: vicarious activity for actions, emotions, and sensations. *Current Opinion in Neurobiology* [online]. 2009, **19**(6), 666-671 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1016/j.conb.2009.10.006. ISSN 09594388. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959438809001433>

KRAEUTNER, S. N., MACKENZIE, L. A., WESTWOOD, D. A., BOE, S. G.. Characterizing skill acquisition through motor imagery with no prior physical practice. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* [online]. 2016, **42**(2), 257-265 [cit. 2017-01-17]. DOI: 10.1037/xhp0000148. ISSN 1939-1277. Dostupné z: <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/xhp0000148>

LACOURSE, M. G., ORR, L. L. R., CRAMER, S. C., COHEN, M. J.. Brain activation during execution and motor imagery of novel and skilled sequential hand movements. *NeuroImage* [online]. 2005, **27**(E), 505-519 [cit. 2016-10-06]. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2005.04.025. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811905002508>

LESLIE, K. R, JOHNSON-FREY, S. H., GRAFTON, S. T. Functional imaging of face and hand imitation: towards a motor theory of empathy. *NeuroImage* [online]. 2004, **21**(2), 601-607 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2003.09.038. ISSN 10538119. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811903005858>

LEWIS, J. W. Distinct Cortical Pathways for Processing Tool versus Animal Sounds. *Journal of Neuroscience* [online]. 2005, **25**(21), 5148-5158 [cit. 2017-08-21]. DOI:

10.1523/JNEUROSCI.0419-05.2005. ISSN 0270-6474. Dostupné z:
<http://www.jneurosci.org/cgi/doi/10.1523/JNEUROSCI.0419-05.2005>

LOREY, B., NAUMANN, T., PILGRAMM, S., et al. Neural simulation of actions: Effector-versus action-specific motor maps within the human premotor and posterior parietal area? *Human Brain Mapping* [online]. 2014, **35**(4), 1212-1225 [cit. 2017-04-23]. DOI: 10.1002/hbm.22246. ISSN 10659471. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1002/hbm.22246>

LOTZE, M, P MONTOVA, M ERB, E HULSMANN, H FLOR, U KLOSE, N BIRBAUMER a W GRODD. Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *J Cogn Neurosci* [online]. 1999, **11**(5), 491-501 [cit. 2016-10-06]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10511638>

LUI, F, G BUCCINO, D DUZZI, F BENUZZI, G CRISI a P BARALDI. Neural substrates for observing and imagining non-object-directed actions. *Soc Neurosci* [online]. 2008, **3**(3-4), 261-75 [cit. 2017-04-23]. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17470910701458551>

MATTES, J. Attentional Focus in Motor Learning, the Feldenkrais Method, and Mindful Movement. *Accepted version, forthcoming in Perceptual and Motor Skills, 2016* [online]. [cit. 2017-08-21]. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0031512516661275>

MORASH V, BAI O, HURLANI S, LIN P, HALLETT M. Classifying EEG signals preceding right hand, left hand, tongue, and right foot movements and motor imaginaries. *Clin Neurophysiol* 2008; 119(11): 2570-08

MUKAMEL, R., EKSTROM, A. D., KAPLAN, J., IACOBO, M., FRIED, I. Single-Neuron Responses in Humans during Execution and Observation of Actions. *Current Biology*[online]. 2010, **20**(8), 750-756 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1016/j.cub.2010.02.045. ISSN 09609822. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960982210002332>

MULERT, C., JAGER, L., SCHMITT, R., BUSSFELD, P., POGARELL, P., MOLLER, H., HEGERL, U. Integration of fMRI and simultaneous EEG: towards a comprehensive understanding of localization and time-course of brain activity in target detection. *NeuroImage* [online]. 2004, **2**(1): 83-94 [cit. 2015-12-06]. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2003.10.051. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811904000084>

NELISSEN, K. Observing Others: Multiple Action Representation in the Frontal Lobe. *Science* [online]. 2005, **310**(5746), 332-336 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1126/science.1115593. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1115593>

NEUPER, C., SCHERER, R., REINER, M., PFURTSCHHELLER, G.. Imagery of motor actions: Differential effects of kinesthetic and visual–motor mode of imagery in single-trial EEG. *Cognitive Brain Research* [online]. 2005, , 668-677 [cit. 2017-01-03]. DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2005.08.014. ISBN 10.1016/j.cogbrainres.2005.08.014. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926641005002533>

OBERMAN, L. M., HUBBARD, E. M., MCCLEERY, J. P., ALTSCHULER, E. L., RAMACHANDRAN, V. S., PINEDA, J. A.. EEG evidence for mirror neuron dysfunction in autism spectrum disorders. *Cognitive Brain Research*[online]. 2005, **24**(2), 190-198 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1016/j.cogbrainres.2005.01.014. ISSN 09266410. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926641005000224>

OMATA, K, HANAKAWA, T. MORIMOTO, M., HONDA, M, ZANG, Y. Spontaneous Slow Fluctuation of EEG Alpha Rhythm Reflects Activity in Deep-Brain Structures: A Simultaneous EEG-fMRI Study. *PLoS ONE* [online]. 2013-6-18, **8**(6), e66869- [cit. 2017-02-07]. DOI: 10.1371/journal.pone.0066869. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0066869>

OSWALDOVÁ, P. *Petra Oswaldová - Feldenkraisova metoda* [online]. Praha, 2014 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://www.feldenkraisovametoda.cz/>

OVERY, K., MOLNAR-SZAKACS, I. Being Together in Time: Musical Experience and the Mirror Neuron System. *Music Perception* [online]. 2009, **26**(5), 489-504 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1525/mp.2009.26.5.489. ISSN 0730-7829. Dostupné z: <http://mp.ucpress.edu/cgi/doi/10.1525/mp.2009.26.5.489>

ORTIGUE, S., SINIGAGLIA, C., RIZZOLATTI, G., GRAFTON, S. T., TRACTENBERG, R. E.. Understanding Actions of Others: The Electrodynamics of the Left and Right Hemispheres. A High-Density EEG Neuroimaging Study. *PLoS ONE* [online]. 2010-8-13, **5**(8), e12160- [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1371/journal.pone.0012160. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0012160>

PAOLUCCI, T., ZANGRANDO, F., IOSA, M., DE ANGELIS, S., MARZOLI, C., PICCININI, G., SARACENI, V. M. Improved interoceptive awareness in chronic low back

pain: a comparison of Back school versus Feldenkrais method. *Disability and Rehabilitation* [online]. 2016, **39**(10), 994-1001 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1080/09638288.2016.1175035. ISSN 0963-8288. Dostupné z:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09638288.2016.1175035>

PASCUAL-MARQUI, R., MICHEL, C., LEHMANN, D.. Low Resolution Electromagnetic Tomography: A New Method for Localizing Electrical Activity in the Brain. *International Journal of Psychophysiology*. 1994, (18): 49-65

PASCUAL-MARQUI, R, M ESSLEN, K KOCHI a D LEHMANN. Functional imaging with low resolution brain electromagnetic tomography (LORETA): review [online]. The KEY Institute for Brain-Mind Research, University Hospital of Psychiatry, Zurich, Switzerland, 2002 [cit. 2015-12-06]. Dostupné z: <http://www.uzh.ch/keyinst/NewLORETA/LiteratureReview/LiteratureReview.htm>

PIZZAGALLI, D., PASCUAL-MARQUI, R., NITSCHKE, J., OAKES, T., LARSON, C., KOGER, J., BENCA, R., DAVIDSON, R. Anterior cingulate activity as a predictor of degree of treatment response in major depression: evidence from brain electrical tomography analysis. *Am J Psychiatry* [online]. 2001, 158(3): 405-415 [cit. 2015-12-06]. DOI: 10.1176/appi.ajp.158.3.405. Dostupné z: <http://ajp.psychiatryonline.org/doi/full/10.1176/appi.ajp.158.3.405>

PFURTSCHELLER, G., NEUPER, C. Motor imagery activates primary sensorimotor area in humans. *Neuroscience Letters* [online]. 1997, **239**(2-3), 65-68 [cit. 2017-03-29]. DOI: 10.1016/S0304-3940(97)00889-6. ISSN 03043940. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304394097008896>

SONKIN, K. M., STANKEVICH, L. A., KHOMENKO, J. G., NAGORNOVA, Z. V., SHEMYAKINA, N. V. Development of electroencephalographic pattern classifiers for real and imaginary thumb and index finger movements of one hand. *Artificial Intelligence in Medicine* [online]. 2015, **63**(2), 107-117 [cit. 2017-01-03]. DOI: 10.1016/j.artmed.2014.12.006. ISSN 09333657. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0933365714001432>

ŠÓŠ, P. Měření, sledování a vyhodnocení nových neurofyziologických indikátorů u vybraných psychiatrických onemocnění [online]. Psychiatrické centrum Praha, 2013 [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/13369/?lang=en>. Disertační práce. Univerzita Karlova, 3. lékařská fakulta

RAMACHANDRAN, V. S., HIRSTEIN, W. The perception of phantom limbs. The D. O. Hebb lecture. *Brain* [online]. 1998, 121 (9), s. 1603-1630 [cit. 201702-15]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9762952>.

RICHTER, H. O., COSTELLO, P., SPONHEIM, S. R., LEE, J.T., PARDO, J. V.. Functional neuroanatomy of the human near/far response to blur cues: eye-lens accommodation/vergence to point targets varying in depth. *European Journal of Neuroscience* [online]. 2004, **20**(10), 2722-2732 [cit. 2017-08-04]. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2004.03743.x. ISSN 0953-816x. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1460-9568.2004.03743.x>

RIZZOLATTI, G, L FADIGA, M MATELLI, V RETTINARDI, E PAULESU, D PERANI a F FAZIO. Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Exp Brain Res*[online]. 1996, **Sept 111**(2), 242-52 [cit. 2017-07-08]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8891654>

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>.

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=Z39.882003&rfr_dat=cr_pub%3Dpubmed&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org&journalCode=neuro.

ROCCA, M. A., FILIPPI, M. Functional MRI in Multiple Sclerosis. *Journal of Neuroimaging* [online]. 2007, **17**, 36S-41S [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1111/j.1552-6569.2007.00135.x. ISSN 10512284. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1552-6569.2007.00135.x>

SEECK, M, F LAZEYRAS, C.M. MICHEL, O BLANKE, C.A. GERICKE, J IVES, J DELAVELLE, X GOLAY, C.A. HAENGGELI, et al. Non-invasive epileptic focus localization using EEG-triggered functional MRI and electromagnetic tomography. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology* [online]. 1998, 5(106): 508-512 [cit. 2015-12-06]. Dostupné z: http://www.researchgate.net/publication/13543611_Non-

invasive_epileptic_focus_localization_using_EEG-

triggered_functional_MRI_and_electromagnetic_tomography

SLOTNICK, S. D., SCHACTER, D. L.. The nature of memory related activity in early visual areas. *Neuropsychologia* [online]. 2006, **44**(14), 2874-2886 [cit. 2017-07-09]. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.021. ISSN 00283932. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0028393206002454>

TAUBE, W., MOUTHON, M., LEUKEL, C., HOOGEWOU, H., ANNONI, J, KELLER, M. Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks: An fMRI study. *Cortex*. [online]. 2015, March 2015(64): 102-114. [cit. 2015-12-05]. DOI: 10.1016/j.cortex.2014.09.022. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010945214003153>

TKACH, D., J. REIMER a N. G. HATSOPOULOS. Congruent Activity during Action and Action Observation in Motor Cortex. *Journal of Neuroscience* [online]. 2007, **27**(48), 13241-13250 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2895-07.2007. ISSN 0270-6474. Dostupné z: <http://www.jneurosci.org/cgi/doi/10.1523/JNEUROSCI.2895-07.2007>

ULLMANN, G, WILLIAMS, H. G., HUSSEY, J., DURSTINE, J. L., MCCLENAGHAN, B. A.. Effects of Feldenkrais Exercises on Balance, Mobility, Balance Confidence, and Gait Performance in Community-Dwelling Adults Age 65 and Older. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*[online]. 2010, **16**(1), 97-105 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1089/acm.2008.0612. ISSN 1075-5535. Dostupné z: <http://www.liebertonline.com/doi/abs/10.1089/acm.2008.0612>

VERREL, J., ALMAGOR, E., SCHUMANN, F., LINDENBERGER, U., KÜHN, S.. Changes in neural resting state activity in primary and higher-order motor areas induced by a short sensorimotor intervention based on the Feldenkrais method. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 2015, **9**, - [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.3389/fnhum.2015.00232. ISSN 1662-5161. Dostupné z: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnhum.2015.00232/abstract>

VINGERHOETS, G., ACKE, F., VANDEMAELE, P., ACHTEN, P.. Tool responsive regions in the posterior parietal cortex: Effect of differences in motor goal and target object during imagined transitive movements. *NeuroImage* [online]. 2009, **47**(4), 1832-1843 [cit. 2017-08-21]. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.05.100. ISSN 10538119. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811909006156>

YUAN, H., PERDONI, C., HE, B. Relationship between speed and EEG activity during imagined and executed hand movements. *Journal of Neural Engineering* [online]. 2010, 7(2) [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1741-2560/7/2/026001/meta#jne329499fig02>