

UNIVERZITA KARLOVA
Fakulta tělesné výchovy a sportu

DISERTAČNÍ PRÁCE

2022

Milan Martínek

UNIVERZITA KARLOVA

Fakulta tělesné výchovy a sportu

Katedra fyzioterapie

**Změny elektrické mozkové aktivity v průběhu stimulace hrudní
spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu**

Školitel:

Doc. PaedDr. Dagmar Pavlů, CSc.

Vypracoval:

Mgr. Milan Martínek

Praha, březen 2022

Prohlašuji, že jsem disertační práci zpracoval samostatně pod vedením školitelky doc. PaedDr. Dagmar Pavlů, CSc., a že jsem uvedl 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

Poděkování:

Rád bych v první řadě poděkoval své školitelce doc. PaedDr. Dagmar Pavlů, CSc. nejen za její cenné rady a doporučení při vedení disertační práce, ale i za pomoc, konzultace a dohled během celého doktorského studia.

Dále bych rád poděkoval MUDr. Davidovi Pánkovi, Ph.D. za odborné připomínky, doporučení a hlavně věnovaný čas při získávání dat během experimentu. Mé díky stejně tak patří PhDr. Tereze Novákové, Ph.D. za ochotu, pomoc a za sdílení vlastních zkušeností s Vojtovou metodou.

Abstrakt

Název: Změny elektrické mozkové aktivity v průběhu stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu

Cíle: Cílem této práce je posoudit, zda dochází během stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu ke změnám elektrické aktivity mozku v primárních a sekundárních motorických korových oblastech hodnocených pomocí sLORETA programu.

Metody: Výzkumu se zúčastnilo 17 zdravých žen ve věkovém rozmezí 20–30 let (25 ± 6.4). EEG signál byl snímán ze skalpu skrze speciální EEG čepici. Měření elektrické aktivity mozku proběhlo u všech probandů se zavřenýma očima pro minimalizování okulomotorických artefaktů a pro redukci vizuální aferentace. Měření klidového záznamu před stimulací (PRE CE) probíhalo 5 minut. Následně probíhalo měření elektrické aktivity mozku během stimulace hrudní spoušťové zóny (VOJTA CE) po dobu 15 minut. Na závěr proběhlo měření klidového záznamu v 1. – 5. minutě po stimulaci (POST CE). Získaná data byla následně statisticky porovnána v sLORETA programu pomocí párového t-testu s logaritmickou transformací dat o parametru vyhlazení 0.5 za využití permutační metody používající 5000 randomizací na hladině významnosti $p \leq 0,05$ s korelací pro opakované testování. Data se statisticky významnou diferencí byla následně zobrazena v modulu „viewer“ sLORETA programu. Zobrazení dat proběhlo ve dvoudimenzionálním i ve trojdimenzionálním zobrazení využitím Talairachova atlasu. U statisticky významných dat jsme posuzovali změnu proudové hustoty v Brodmannových zónách pro jednotlivá frekvenční pásma.

Výsledky: Analýza prokázala statisticky významné difference ve frekvenčních pásmech alfa-2, beta-1 a beta-2 v Brodmannových zónách 6, 7, 23, 24, a 31 při porovnání stavu před stimulací oproti stavu během stimulace (PRE CE vs VOJTA CE). Statistická analýza dále prokázala statisticky významné difference ve frekvenčních pásmech alfa-1, alfa-2, beta-1 a beta-2 v Brodmannových zónách 3, 4, 6, a 24 při porovnání stavu před stimulací oproti stavu po stimulaci (PRE CE vs POST CE).

Výsledky prokazují, že stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu moduluje elektrickou aktivitu korových oblastí mozku, které zprostředkovávají přípravu, plánování, regulaci a exekuci hybnosti. Výsledky dále prokazují, že změny vyvolané stimulací v primárních, sekundárních a suplementárních motorických korových oblastech zůstávají statisticky signifikantní během 5 minut po ukončení stimulace.

Klíčová slova: Vojtova metoda, Brodmannovy zóny, EEG, sLORETA

Abstract

Title: Changes of intracerebral activity during stimulation of the chest trigger zone according to the Vojta principle

Objective: The aim of this study is to examine whether stimulation of the chest trigger zone according to the Vojta principle results in changes of the brain electrical activity in the primary and secondary motor cortical areas evaluated in the sLORETA program.

Methods: Seventeen healthy women aged 20–30 (25 ± 6.4) were involved in the experiment. Registration of the scalp EEG was performed with a special EEG cap. EEG was measured in all individuals with eyes closed in order to reduce ocular artifacts and to reduce visual afferentation. EEG activity was registered for 5 min at rest (PRE CE) prior to the actual reflex locomotion stimulation. Subsequently, the electrical activity was followed for 15 min during chest trigger zone stimulation (VOJTA CE). The experiment was terminated with the registration of the resting EEG recording until 5 min after the reflex locomotion stimulation of the trigger zone (POST CE). The obtained data were then statistically compared in the sLORETA program using a pairwise t-test with logarithmic transformation of the aliasing parameter 0,5 with permutation method using 5000 randomizations at the significance level $p \leq 0,05$ with correlation for repeated testing. We then depicted statistically significant data in the „viewer“ module of the sLORETA program. The data were displayed in both two-dimensional and three-dimensional representations using the Talairach atlas. For the statistically significant data, we assessed the current density changes in the Brodmann areas for individual frequency bands.

Results: Statistical analysis showed statistically significant differences in the alpha-2, beta-1, and beta-2 frequency bands in Brodmann areas 6, 7, 23, 24, and 31 when comparing the condition prior to the stimulation versus the condition during the stimulation (PRE CE vs VOJTA CE). Statistical analysis also showed statistically significant differences in the alpha-1, alpha-2, beta-1, and beta-2 frequency bands in Brodmann areas 3, 4, 6, and 24 when comparing the condition prior to the stimulation versus the post stimulation condition (PRE CE vs POST CE).

The results show that the stimulation of the chest trigger zone according to the Vojta principle modulates electrical activity in the brain areas responsible for movement planning, regulation, and execution.

The results further demonstrate that the changes induced by stimulation in the primary, secondary and supplemental motor cortical areas remain statistically significant within 5 minutes after the end of the stimulation.

Keywords: Vojta method, Brodmann areas, EEG, sLORETA

Seznam zkratek

AAR	alfa atenuační reakce
ACC	přední cingulární kůra (anterior cingulate cortex)
AEP	sluchové evokované potenciály (auditory evoked potentials)
BA	Brodmannova zóna (Brodmann area)
CMP	cévní mozková příhoda
CNS	centrální nervový systém
CT	výpočetní tomografie (computed tomography)
DFT	diskrétní Fourierova transformace
DMN	default mode network
DTI	diffusion tensor imaging
EEG	elektroencefalografie
EKG	elektrokardiografie
EMG	elektromyografie
EP	evokované potenciály
FEF	frontální oční pole (frontal eye field)
FFT	rychlá Fourierova transformace
fMRI	funkční magnetická rezonance
IFCN	Mezinárodní Federace Klinické Neurofyziologie (International Federation of Clinical Neurophysiology)
LORETA	elektromagnetická mozková tomografie s nízkým rozlišením (low resolution electromagnetic tomography)
M1	primární motorická kůra
MRI	magnetická rezonance
PCC	zadní cingulární kůra (posterior cingulate cortex)
PEEF	premotorické ušní-oční pole (premotor ear eye field)
pEMG	polyelektromyografie

PET	pozitronová emisní tomografie
PM	premotorická korová oblast
RB	reakce blokády
RF	rebound fenomén
RZ	reakce zástavy
S1	primární senzitivní korová oblast
S2	sekundární senzitivní korová oblast
SEP	somatosenzorické evokované potenciály (somatosensory evoked potentials)
sLORETA	standardizovaná elektromagnetická mozková tomografie s nízkým rozlišením (standardized low resolution electromagnetic tomography)
TMS	transkraniální magnetická stimulace
VEP	zrakové evokované potenciály (visual evoked potentials)
vs	versus

Obsah

1.	ÚVOD.....	13
2.	TEORETICKÁ VÝCHODISKA	14
2.1	Vojtův princip.....	14
2.1.1	Pohybové komplexy a vybavovací zóny.....	15
2.1.2	Reflexní plazení	16
2.1.3	Reflexní otáčení	19
2.2	Elektroencefalografie.....	24
2.2.1	Obecné informace	24
2.2.2	Elektrody a jejich rozmístění	24
2.2.3	Analýza a interpretace EEG signálu	26
2.2.4	Základní frekvenční pásma	26
2.2.5	Evokované potenciály	29
2.2.6	Artefakty	30
2.3	Elektromagnetická mozková tomografie s nízkým rozlišením – LORETA... 36	
2.3.1	Inverzní problém.....	36
2.3.2	sLORETA	38
2.4	Brodmann areas – Brodmannovy oblasti.....	38
2.4.1	Brodmannovy zóny 1, 2 a 3	41
2.4.2	Brodmannova zóna 4	41
2.4.3	Brodmannovy zóny 5 a 7	42
2.4.4	Brodmannova zóna 6	43
2.4.5	Brodmannova zóna 8	43
2.4.6	Brodmannovy zóny 9 a 10	44
2.4.7	Brodmannova zóna 11	44

2.4.8	Brodmannovy zóny 17, 18 a 19	45
2.4.9	Brodmannova zóna 20	45
2.4.10	Brodmannova zóna 21	45
2.4.11	Brodmann area 22	46
2.4.12	Brodmannovy zóny 23, 24, 26, 26, 29, 30, 31, 32 a 33	46
2.4.13	Brodmannovy zóny 34, 35 a 36	47
2.4.14	Brodmannova zóna 37.....	48
2.4.15	Brodmannova zóna 38.....	48
2.4.16	Brodmannova zóna 39.....	49
2.4.17	Brodmannova zóna 40.....	49
2.4.18	Brodmannovy zóny 41 a 42	50
2.4.19	Brodmannova zóna 43.....	50
2.4.20	Brodmannova zóna 44.....	50
2.4.21	Brodmannova zóna 45.....	51
2.4.22	Brodmannova zóna 46.....	51
2.4.23	Brodmannova zóna 47.....	51
2.5	Aktuální stav poznání a vymezení problematiky	52
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	56
3.1	Cíle a úkoly práce, výzkumné otázky, hypotézy	56
3.1.1	Cíle práce	56
3.1.2	Úkoly práce	56
3.1.3	Výzkumné otázky	56
3.1.4	Hypotézy	56
4.	METODIKA PRÁCE	58
4.1	Charakteristika výzkumného souboru	58
4.2	Použité metody	58

4.3	Měření a sběr dat	58
4.4	Analýza dat	59
5.	VÝSLEDKY	61
5.1	Stav se zavřenýma očima před stimulací (PRE CE) vs. Stav se zavřenýma očima během stimulace (VOJTA CE).....	61
5.2	Stav během stimulace se zavřenýma očima (VOJTA CE) vs. Stav se zavřenýma očima v prvních pěti minutách po stimulaci (POST CE).....	63
5.3	Stav se zavřenýma očima před stimulací (PRE CE) vs. Stav se zavřenýma očima v prvních pěti minutách po stimulaci (POST CE).....	63
6.	DISKUSE.....	65
6.1	Diskuse k hypotéze č. 1	65
6.2	Diskuse k hypotéze č. 2	71
7.	ZÁVĚR	80
8.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	82

1. ÚVOD

Počátkem 50. let 20. století byly v Čechách položeny základy diagnosticko-terapeutického konceptu, který měl „dotekem“ léčit jedince s atypickým psychomotorickým vývojem a bránit rozvoji cerebrálních paréz. Vojtova metoda reflexní lokomoce díky svým terapeutickým úspěchům brzy expandovala do dalších částí Evropy, a následně i za její hranice. Dnes využití této metody pokrývá celé spektrum nemocí postihující pohybový aparát u všech věkových skupin.

Vojtův princip reflexní lokomoce je koncept založený na pozorování a dodnes spočívá na vědecky převážně neprokázané empirii. Neurobiologické aspekty této metody zůstávají neodhaleny. S rozvojem zobrazovacích metod se naskytují možnosti nahlédnutí na reakci centrální nervové soustavy při stimulaci dle konceptu Vojtova principu. Jednou z těchto metod je sLORETA (standardizovaná elektromagnetická mozková tomografie s nízkým rozlišením), díky které v tomto výzkumu můžeme sledovat změny elektrické mozkové aktivity přímo v průběhu stimulace spouštěvých zón dle konceptu Vojtova principu.

Téma pozorování elektrické aktivity mozku během Vojtovy reflexní lokomoce je téma, kterému jsem se věnoval v rámci své diplomové práce. Aktuální práce staví na získaných poznatcích a předchozí studii rozšiřuje.

Tato disertační práce je teoreticko-empirického charakteru. V první části práce (kapitola 2) popisují témata přímo související s vlastním experimentem. Druhá část práce (kapitoly 3, 4, 5 a 6) se věnuje popisu experimentu, jeho cílům, metodice, výsledkům a diskusi. V závěru (kapitola 7) shrnuji získané poznatky a nastiňuji možnosti budoucího bádání.

2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA

V této části disertační práce popisují témata, která přímo souvisí s vlastním experimentem. Jedná se o koncept Vojtova principu, elektroencefalografii, metodu sLORETA, a Brodmannovy zóny.

2.1 Vojtův princip

Vojtův princip (reflexní lokomoce) je neurorehabilitační diagnosticko-terapeutický koncept původně využívaný k diagnostice a léčbě kojenců ohrožených atypickým psychomotorickým vývojem, zejména spastickou cerebrální parézou. Dnes však využití reflexní lokomoce sahá za hranice kojeneckého období. Metoda je hojně využívána nejen u kojenců a dětí, ale také u dospělých jedinců napříč různými diagnózami postihující pohybový aparát a všechny jeho aspekty (Jung, 2017; Martínek, 2018a a 2018b; Vojta, 1995).

Autorem Vojtova principu je český neurolog prof. Václav Vojta. Základní kameny této metody byly položeny počátkem 50. let 20. století, kdy Vojta pozoroval změnu spasticity při manipulaci s dítětem s infantilní spastickou diparézou. Následující roky pracoval Václav Vojta na vytvoření terapeutického konceptu založeného na jeho pozorování a zkušenostech získaných prací s dětskými pacienty. Na konci 50. let již Vojta popisoval globální pohybové vzory, které využíval ve svém konceptu k léčbě. Zjistil, že specifickou manipulací je možné vyvolat změny ve svalových souhrách nemocných jedinců, a tím umožnil svalům provádět pravidelné a automatické funkce, které byly doposud vyřazeny kvůli onemocnění CNS. Jsou-li tyto změny jednou vyvolány, opětovným vyvoláváním dochází k jejich integraci do spontánní motoriky. Vojta dále také pozoroval, že kromě motorické odpovědi vyvolává reakci vegetativní, jako je zčervenání kůže, zpocení určitých svalových skupin, změna krevního tlaku, změna pulzu. Jak motorická, tak vegetativní reakce je vyvolána reakcí na určité podněty, proto jsou tyto reakce označovány jako reflexní. Z tohoto označení také vyplývá pojem Vojtův princip reflexní lokomoce (Gajewska, 2018; Martínek, 2018a; Trojan, 1991; Pavlů, 2002; Vařeka, 2000; Vojta, 1995; Vojta, 2010).

Vojtův princip reflexní lokomoce měl včasnou diagnostikou a terapií bránit vývoji cerebrální parézy, a to hlavně u jedinců, kteří jasně neprokazovali spastický syndrom, ale projevovali se atypickým psychomotorickým vývojem. Těmto jedincům reflexní lokomoce odemykala blokováné motorické schopnosti (Gajewska, 2012; Khan, 2018; Vojta, 2010).

Vojta došel k závěru, že každý jedinec má globální motorické vzory uložené a programované geneticky, tedy vrozené. Tyto motorické vzory je možné specifickým stimulem – polohou těla a vyvolávacími podněty – aktivovat a tříbit. Výsledkem je projev modelů držení těla v motorické ontogenezi. Jsou to tedy jakési „stavební kameny“ pro vzpřímení a pohyb vpřed (Vojta, 1995).

Po emigraci Vojta pravidelně přednášel své poznatky na různých kurzech nejen ve Spolkové republice Německo, ale také v Itálii, Japonsku, Švédsku, Rakousku, Koreji, Francii, Norsku a Španělsku. Tím zásadně přispěl k šíření svého konceptu po světě. V rámci šíření znalostí ohledně Vojtova principu je také namístě zmínit práci Annegret Petersové. Ta systematicky zpracovávala veškeré přednášky Vojty. Dále, od roku 1976, pracovala jako lektorka metodiky Vojtova principu v Německu a spolu s Vojtou vydali knižní formu Vojtova principu, kterou následně i mnohokrát přepracovali a znovu vydali (Vojta, 1995; Vojta, 2010).

2.1.1 Pohybové komplexy a vybavovací zóny

Pro vyvolání reflexní lokomoce popisuje Vojta několik základních pravidel. V první řadě je zásadní správná výchozí poloha pacienta. Ve výchozích polohách se využívá několik stimulačních faktorů. Jedním z nich je tah svalů. Autoři popisují důležitost vstupního protažení svalů, které následně reflexně stimuluje daný sval ke kontrakci a podílí se pak na fyziologickém zapojení svalových skupin u vyvolaných globálních motorických vzorů. „Je známo, že každý sval reaguje na vstupní protažení kontrakcí.“ (Vojta, 2010). Podrážděním vybavovacích zón se z výchozí polohy stává aktivní poloha se vstupním protažením svalů, které udržují tuto polohu. Dalším faktorem je tah a tlak v kloubech. Odlišné výchozí polohy nastavují v různých kloubech buď tlak, nebo tah. Stejně tak, jako protažení svalů, tak nastavení tahu a tlaku v kloubech je jeden z aferentních mechanismů. Samotné zaujetí správné výchozí polohy nevyvolá celý globální vzor pohybu. Dalším důležitým faktorem je nastavení výchozího úhlu v kloubech: „Již nastavení kloubů směřuje ke vzpřímení.“ (Vojta, 2010). (Vařeka, 2000; Vojta, 1995; Vojta 2010).

Stěžejním mechanismem vyvolávání reflexní lokomoce je stimulace tzv. vybavovacích/spoušťových/stimulačních zón (všechny tři termíny jsou synonyma a jsou v běžné praxi používány). Podle Vojty je k dispozici 10 spoušťových zón a rozlišují se na spoušťové zóny na končetinách, spoušťové zóny v oblasti ramenního a pánevního pletence a spoušťové zóny trupu. Tyto zóny jsou stimulovány tlakem, konkrétně tedy terapeut prsty tlakově stimuluje tyto oblasti za účelem vyvolání reflexní odpovědi. Tlakovou stimulací spoušťových zón na končetinách je drážděn zejména periost. V oblastech ramenního

a pánevního pletence stimulací spoušťových zón stimulujeme nejen periost, ale i konkrétní svalové skupiny protažením. Tlakovou stimulací spoušťových zón na trupu stimulujeme autochtonní muskulaturu. Tlakovou stimulací v oblasti kloubů také ovlivňujeme kloubní plochy a vazy. Stimulace všech těchto struktur je propioceptivního charakteru. Vojta také uvádí, že mezi jednotlivými spoušťovými zónami není z terapeutického hlediska žádný rozdíl (Vojta, 1995; Vojta 2010).

Při stimulaci spoušťových zón metoda využívá prostorové a časové sumace signálů. Vojta tvrdí, že tlakovou stimulací více spoušťových zón dochází k lepší a rychlejší reflexní odpovědi skrze prostorovou sumaci. Variací různých spoušťových zón tedy dochází ke znásobení aferentních impulzů. Dostatečně dlouhou stimulací spoušťových zón – časovou sumací – dojde k vyvolání izometrické kontrakce. Izometrickou kontrakci můžeme dále cíleně eskalovat tím, že budeme pokračovat ve stimulaci spoušťových zón, anebo zapojením odporu proti vzniklému pohybu. Vojta dále popisuje, že odporem je možné izotonicko-dynamickou kontrakci proměnit v izomericko-dynamickou. Izometrická kontrakce má podle Vojtova principu lokomoční vektor, tedy z výchozí pozice se stává pozice aktivní. Tento stav Vojta přirovnává k napnutému luku, kdy spuštěním směřuje luk ke konkrétnímu cíli. Stimulací jedné spoušťové zóny můžeme vyvolat reflexní lokální odpověď – první náznaky motorické odpovědi ve stimulovaném místě, zarudnutí. Až využitím prostorové a časové sumace dojde k rozšíření lokální odpovědi na tzv. globální vzor (Kolář, 2012; Vojta, 2010).

Manifestaci globálních vzorů pozorujeme při terapiích (využitím reflexní lokomoce) jako jednotlivé pohybové komplexy. Vojta popsal dva základní pohybové komplexy, a to reflexní plazení a reflexní otáčení. Oba pohybové komplexy mají za cíl pohyb vpřed. Reflexní plazení vyvolává druh plazivého pohybu, reflexní otáčení pak vyvolává otočení z výchozí polohy do polohy na čtyřech a následné lezení po čtyřech. Tyto komplexy mohou být vyvolány stimulací (míněno zaujetím správné pozice, tlakovou stimulací spoušťových zón, odpor svalům) a dále využity pro „odemčení“ těchto vzorů spontánní motorice (Vojta, 1995; Vojta 2010).

2.1.2 Reflexní plazení

Ačkoliv se tento pohybový komplex u spontánní motoriky člověka nevyskytuje, využívá se v rámci terapie reflexní lokomocí. Vojta tento pohybový komplex označuje jako „pohybovou vlohu, která musí být nastartována“. Stále se však jedná o pohybový komplex vyvolaný reflexně. Vojta ozřejmuje možnost vyvolání toho komplexu, který se u člověka nevyskytuje, fylogenetickou analogií s plazením čtyřnožců.

Výchozí polohou pro reflexní plazení je poloha na břicho. Skrze stimulaci dojde k reflexní globální svalové aktivitě a z pasivní polohy na břicho se stává tzv. aktivovaná labilní poloha těla, ze které pak vychází pohybový komplex reflexního plazení.

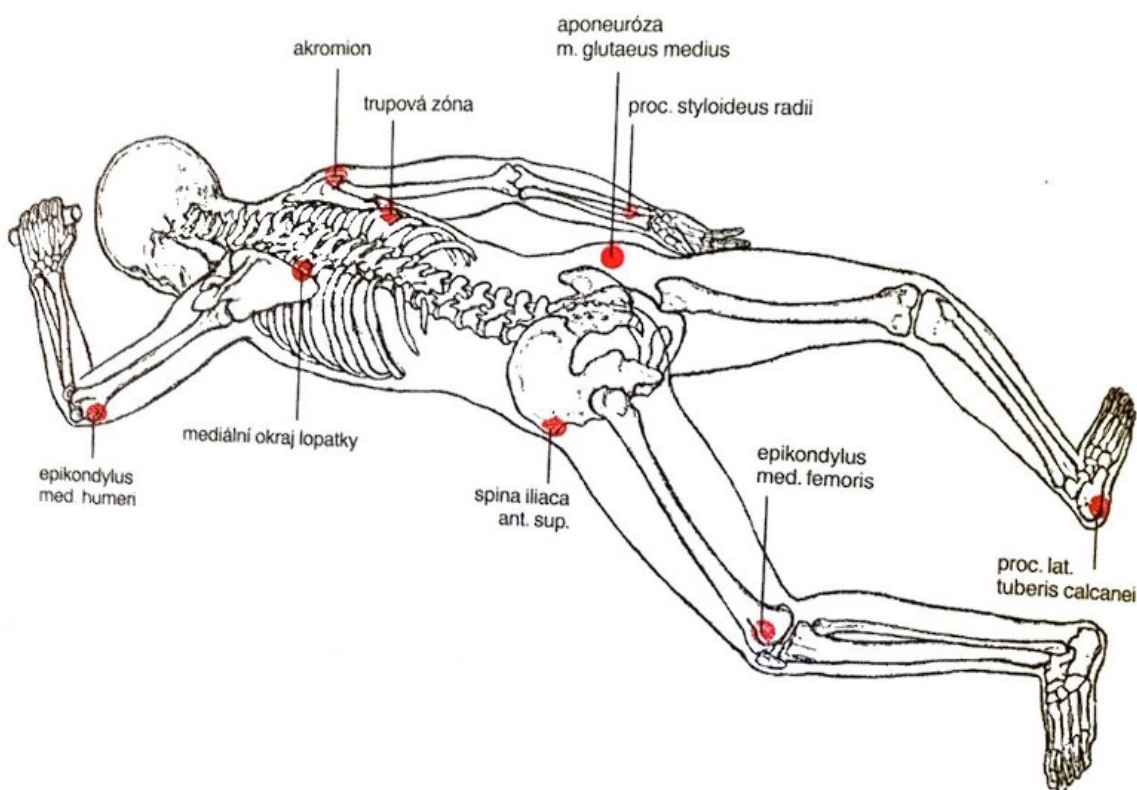
Výchozí postavení těla pro stimulaci:

- Hlava je pasivně nastavena do rotace 30° tak, aby byl tuber frontale čelní kosti opřen o podložku. Zároveň hlava zůstává v ose páteře a napřímená tím způsobem, aby došlo k narovnání krční lordózy.
- Čelistní horní končetina (označení čelistní končetina = končetina na straně obličeje) je pasivně nastavena do flexe v ramenním kloubu mezi 120° a 135°, zároveň však musí být abdukována do 30°. Epicondylus medialis humeri je opřen o podložku a loketní kloub flektován do zhruba 45°. Zápěstí se pak nachází v pomyslné linii ramenního kloubu.
- Záhlavní horní končetina (označení záhlavní končetina = končetina na straně záhlaví, tedy opačná strana, než je strana obličejová) leží volně podél těla s nulovým (0°) nastavením ramenního i loketního kloubu. Ruka a prsty zůstávají volně.
- Čelistní dolní končetina a záhlavní dolní končetina mají u kojenců a malých dětí stejné výchozí postavení. Postavení v kyčelních kloubech je cíleno tak, aby condylus medialis femoris obou dolních končetin spočíval na podložce. Toto postavení odpovídá flexi v kyčelním kloubu 30–40°, abdukci 60° a zevní rotaci 40°. Kolenní kloub je nastaven do flexe 40°, hlezenní kloub spočívá volně na podložce tak, aby se nacházel v pomyslné spojnici kloubů rameno-kyčel-kotník. Rozdíl mezi čelistní dolní končetinou a záhlavní dolní končetinou činí pohyb, který bude vyvolán stimulací. Z toho důvodu je při stimulaci následně terapeutem držena čelistní dolní končetina v úhlu 90° s inverzí nohy.

Vybavovací zóny pro reflexní plazení (Obrázek č. 1):

- Na **záhlavní dolní končetině** se využívá spoušťová zóna na processus lateralis tuberis calcanei v místě počátku musculus abductor digiti minimi.
- U **čelistní dolní končetiny** se stimuluje epicondylus medialis femoris.
- Na **záhlavní horní končetině** je stimulována zóna 1 cm proximálně od processus styloideus radii na medio-ventrální straně radia.

- **Čelistní horní končetina** obsahuje spoušťovou zónu na epicondylus medialis humeri.
- **Trupová spoušťová zóna** leží na záhlavní polovině trupu bezprostředně pod dolním úhlem lopatky, a to na hranici musculus erector trunci ve vertebro-skapulární linii.
- Spoušťová zóna **ramenního pletence čelistní strany** se nachází na hranici střední a spodní části lopatky při jejím mediálním okraji.
- Na **čelistní straně pánevního pletence** se stimuluje spina iliaca anterior superior.
- Na **záhlavní straně ramenního pletence** se spoušťová zóna nachází na ventrálním okraji acromionu.
- **Záhlavní strana pletence pánevního** obsahuje spoušťovou zónu ve střední části aponeurózy musculus gluteus medius.



Obrázek 1 Vybavovací zóny reflexního plazení (Vojta, 2010)

Správnou kombinací výchozí polohy, nastavení úhlů v kloubech, stahu svalů a stimulace spoušťových zón dojde k vybavení pohybového komplexu reflexního plazení. Během reflexního plazení dochází k postupnému zvedání trupu od podložky, jeho napřímení a následně

pohybu trupu vpřed směrem k opěrným končetinám (čelistní horní a dolní končetina). V reflexním plazení můžeme odlišovat čtyři fáze krokového cyklu, kterým prochází každá končetina: 1) flekční fáze, 2) relaxační fáze, 3) opěrná (stojná) fáze, 4) odrazová fáze. Tyto fáze jsou přímo závislé na pozici hlavy, respektive na jejím otáčení. Čelistní strana těla indikuje tu stranu, na které bude následovat opěrná fáze (Kolář, 2012; Lim, 2013; Vařeka, 2000; Vojta, 1995; Vojta, 2010).

2.1.3 Reflexní otáčení

Podobně jako reflexní plazení je i vzor reflexního otáčení vzor umělý, protože se jako celek neobjevuje ve spontánní motorice člověka. Nicméně se vzor reflexního otáčení řadí do motorické ontogeneze. Důvodem je výskyt pohybových průběhů a komponentů vyvolaných během reflexního otáčení, které přirozeně pozorujeme při otáčení v motorické ontogenezi během prvního roku života (zhruba do konce 4. trimenonu). Dílčí pohybové vzory reflexního plazení pozorujeme až do volné bipedální lokomoce vpřed (do 5. trimenonu). Můžeme tedy říct, že v rámci motorické ontogeneze vzory reflexního plazení sahají dále než vzory reflexního otáčení. Z tohoto důvodu vyplývá, že tyto dva pohybové vzory není možné terapeuticky zaměňovat. Dalším zásadním důvodem je, že během pohybového komplexu reflexního plazení se u opěrných končetin vyskytuje abdukce s flexí metakarpů i metatarzů. Tedy pozorujeme úchopovou funkci aker horních i dolních končetin. U pohybového komplexu reflexního otáčení při opěrné funkci sice také pozorujeme abdukci aker, ale s extenzí falangeálních kloubů s dorsálním pohybem v zápěstí. Nejedná se tedy o funkci úchopovou, ale čistě o funkci opory. Rozdíl tedy nespočívá pouze v aktivované muskulatuře u jednotlivých pohybových komplexů, ale zejména v centrálně řízených koordinačních procesech a pohybových strategiích zvolených pro daný pohyb a funkci (Vojta, 1995; Vojta, 2010).

Pro pohybový komplex reflexního otáčení bylo zásadním milníkem objevení hrudní spoušťové zóny. Pohybový vzor reflexního plazení byl poprvé publikován roku 1965 na prvním světovém kongresu neurologie. Definování celého vzoru reflexního otáčení bylo možné až po objevení hrudní spoušťové zóny roku 1967, kdy bylo možné propojit již popsany vzorec svalové souhry při otáčení z polohy na boku s polohou na zádech a otáčením z této polohy do polohy na boku: „Použití hrudní zóny je předpokladem pro vznik aktivní polohy na zádech, která je zase bází pro spuštění procesu otáčení.“ (Vojta, 2010). (Gajewska, 2018; Kolář, 2012; Vojta, 1995; Vojta, 2010).

Jak již bylo výše zmíněno, pohybový vzor reflexního otáčení můžeme dělit na dvě fáze, a to reflexní otáčení z polohy na zádech a reflexní otáčení z polohy na boku. Toto dělení vzniklo zejména z praktického hlediska. Celý průběh otáčení z polohy na zádech do polohy na boku a dále do polohy a chůze na čtyřech je velmi komplikovaný i pro zkušeného terapeuta. Obtížnost spočívá hlavně včasné a správné reakci na vyvolané pohyby, a tudíž je komplikované zachovat plynulost průběhu otáčení. Proto Vojta rozdělil reflexní otáčení na tyto dvě fáze.

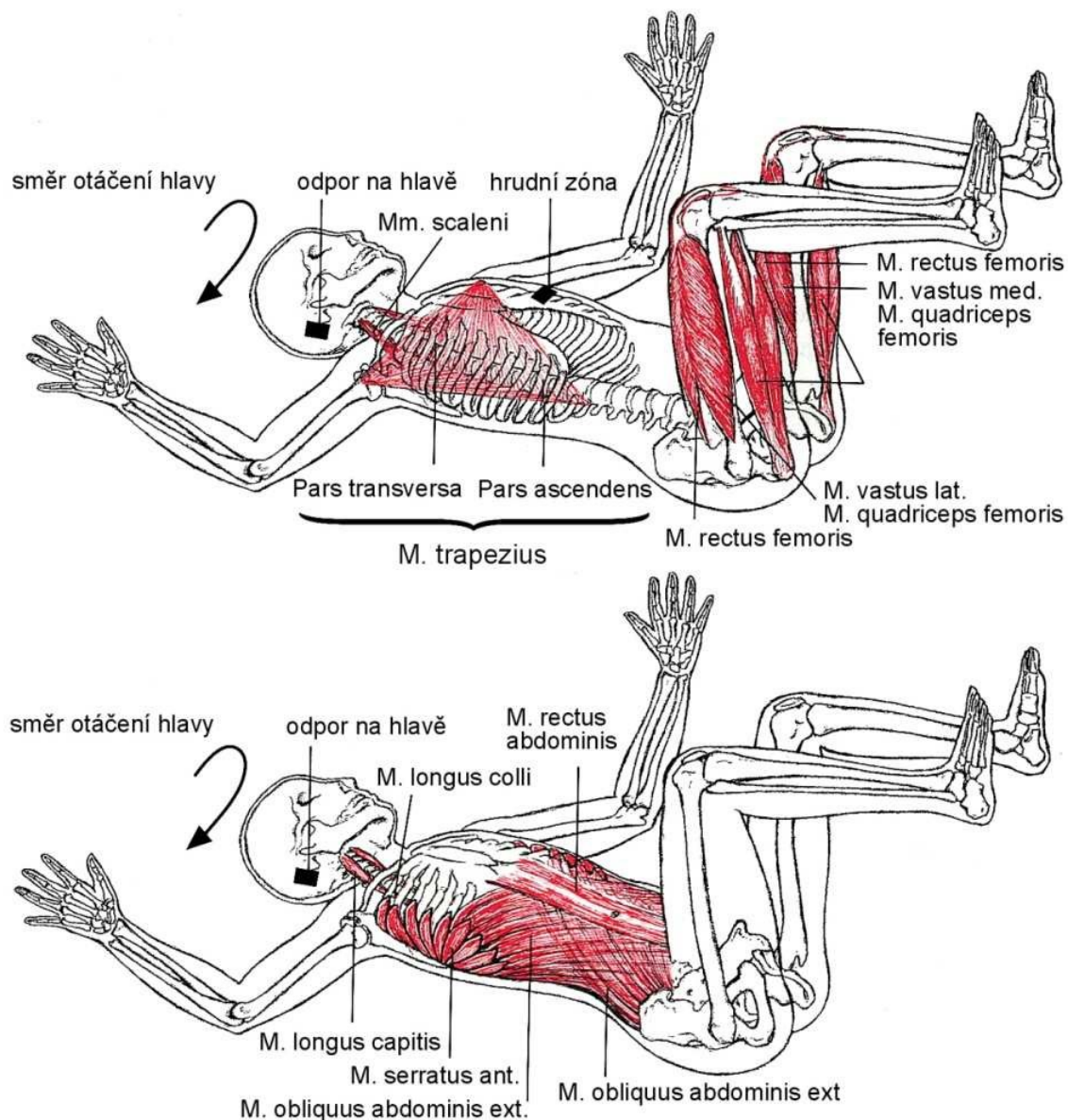
Fáze reflexního otáčení z polohy na zádech – 1. fáze reflexního otáčení

Výchozí polohou je vleže na zádech, končetiny volně podél těla a hlava je nastavená do rotace 30° na jednu stranu tak, aby zůstala v prodloužení osy páteře (Obrázek č. 2). Je možné polohu modifikovat podložením dolních končetin válcem pro nastavení 90° v kyčelních i kolenních kloubech.

Vybavovací zóny pro první fázi reflexního otáčení:

- V první fázi reflexního otáčení se využívá pouze jedna spoušťová zóna a to hrudní. Tato zóna se nachází ve výši 6. žebra v oblasti mezi 5. a 6. žebrem, nebo mezi 6. a 7. žebrem.

Stimulací hrudní spoušťové zóny dochází k vyvolání pohybového komplexu s cílem chůze po čtyřech skrze otočení přes bok. V poloze na zádech dochází postupně k zevní rotaci s flexí ve všech klíčovách kloubech. Zároveň dochází k přenesení opěrných bodů kranialně do oblasti střední hrudní páteře, kde opěrnou plochu vytváří kontrahovaný musculus trapezius. Zevní rotace s flexí klíčovách kloubů je významná pro diferenciaci pohybů končetin. Přenesení váhy kranialně je nezbytná příprava pro rotaci pánve a ramenního pletence do polohy na boku. Pánev se v průběhu stimulace zešikmuje do retroflexe, na čelistní straně kranialněji. Pokračujeme-li ve stimulaci hrudní zóny, dochází postupně k otáčení jedince. Otáčivý pohyb vede spina iliaca anterior superior čelistní strany a je vyvolán propojením břišního rotačního řetězce – musculus obliquus abdominis internus čelistní strany přes musculus transversus abdominis k musculus obliquus abdominis externus záhlavní strany. Koncová poloha první fáze otáčení je v poloze na boku, kdy oporu tvoří laterální strana trupu, paže a stehno.



Obrázek 2 První fáze reflexního otáčení (Vojta, 2010)

Reflexní otáčení z polohy na boku – 2. fáze reflexního otáčení

Reflexní otáčení z polohy na boku přímo navazuje na předchozí fázi. Výchozí polohou je zákonitě koncová poloha první fáze reflexního otáčení.

Výchozí postavení těla pro stimulaci:

- **Spodní horní končetina** (opěrná horní končetina) je opřena o podložku v 90° k hrudníku. Loketní kloub může být jak extendovaný, tak flektovaný.

- **Spodní dolní končetina** (opěrná dolní končetina) může být nastavena do dvou variant. První způsob je s flexí v kyčelním kloubu mezi 30° a 40° se 40° flexí kolenního kloubu. Pata se nachází v linii s tuber ossis ischii. Opora zde spočívá zejména na kyčelním kloubu a laterální straně stehna. Druhý způsob je s 90° flexí kolenního i kyčelního kloubu. U této varianty je oporná báze zejména na laterálním okraji stehna.
- **Svrchní horní končetina** spočívá na trupu s mírnou vnitřní rotací ramenního kloubu, extendovaným loktem a s pronačním postavením zápěstí.
- **Svrchní dolní končetina** může zaujímat dvě různá postavení, stejně jako spodní dolní končetina. První varianta je identická s první variantou spodní dolní končetiny, tedy kyčelní kloub drží flekční postavení mezi 30° a 40°. Kolenní kloub zaujímá 40° flexi. Druhá varianta je téměř totožná druhé variantě spodní dolní končetiny. Kyčelní a kolenní kloub zaujímají 90° flexi. Kyčelní kloub je dále v mírné abdukci.

Vybavovací zóny pro druhou fázi reflexního otáčení (Obrázek č. 3):

Pro tuto fázi reflexního otáčení rozdělujeme vybavovací zóny na zóny, které se nacházejí na svrchní polovině těla, a na zóny uložené na končetinách.

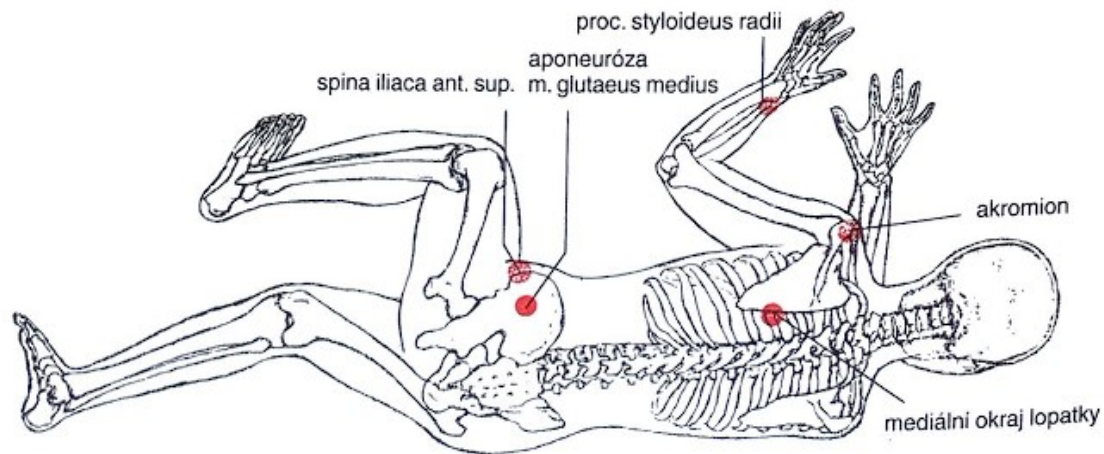
1. Vybavovací zóny na svrchní polovině těla

- Mediální hrana lopatky mezi její střední a dolní třetinou
- Ventrální hrana akromionu
- Spina iliaca anterior superior
- Střední díl aponeurózy musculus gluteus medius

2. Vybavovací zóny na končetinách

- Epicondylus medialis humeri **spodní horní končetiny**
- Epicondylus lateralis femoris **spodní dolní končetiny**
- Processus lateralis tuberi calcanei při origu musculus abductor digiti minimi **spodní dolní končetiny**
- Epicondylus medialis femoris **svrchní dolní končetiny**
- 1 cm proximálně od processus styloideus radii **svrchní horní končetiny**

- **Hrudní zóna** ve výši 6. žebra v oblasti mezi 5. a 6. žebrem, nebo mezi 6. a 7. žebrem



Obrázek 3 Vybavovací zóny druhé fáze reflexního otáčení (Vojta, 2010)

Cílem druhé fáze reflexního otáčení je dosažení polohy na čtyřech z polohy na boku a následně chůze po čtyřech. Obecně můžeme říct, že dochází ke kraniokaudální a proximodistální aktivaci muskulatury. Opora spodní horní končetiny se přesouvá od ramene přes loket až k ruce, kde je zřetelná pronace a dorzální flexe zápěstí. Jedná se o přípravu pro budoucí oporu ruky pro chůzi po čtyřech. U spodní dolní končetiny se opora šíří po laterální straně ke koleni. Tato končetina bude po vertikalizaci do polohy na čtyřech následně využita pro odrazovou fázi lokomočního vzoru. Svrchní horní končetina se také připravuje na oporu. Dochází k zevní rotaci, abdukci a flexi v rameni, loket zůstává po celou dobu mírně flektován. V zápěstí se pak rozvíjí dorzální flexe s radiální dukcí. Svrchní dolní končetina zaujímá abdukci, zevní rotaci a flexi v kyčelním kloubu. Kolenní kloub zachovává flexi odpovídající následující chůzi po čtyřech (Gajewska, 2018; Kolář, 2012; Lim, 2013; Martínek, 2018a; Vařeka, 2000; Vojta, 1995; Vojta, 2010).

Vojtova metoda reflexní lokomoce je dodnes hojně používaný neurorehabilitační postup. Využití reflexní lokomoce sahá za hranice České republiky jak u dětských, tak dospělých jedinců, nicméně použití této metody se stále převážně opírá o poznatky z klinické praxe, tedy empirii. S rozvojem zobrazovacích techniky se nabízí mnoho způsobů, jak pozorovat neurobiologické aspekty a mechanismy reflexní lokomoce. Jedním z nejvhodnějších postupů je využitím elektroencefalografie (Martínek, 2018b; Martínek, 2022; Sanz-Esteban, 2021).

2.2 Elektroencefalografie

2.2.1 Obecné informace

Elektroencefalografie (EEG) je neurofyzilogická diagnostická metoda, která slouží ke sledování funkcí mozku. První zmínky o snahách pozorování elektrické aktivity mozku pocházejí z roku 1924 od německého psychiatra Hanze Bergera. EEG je v dnešní době nejpoužívanější neinvazivní metoda pozorující elektrickou mozkovou aktivitu (Kennett, 2012).

Elektrická aktivita detekovaná během EEG vyšetření je generována pohybem iontů uvnitř dendritických membrán pyramidových neuronů ve IV. – V. kortikální vrstvě. Pohyb iontů způsobuje změny elektrického napětí, které je zachyceno povrchovými elektrodami umístěnými na skalpu. Záznam této aktivity v časovém pásmu je označován jako elektroencefalogram. Povrchovými elektrodami nelze zaznamenat intracelulární změny elektrického napětí, protože buněčná membrána je elektrický izolátor. Akční potenciály nepřispívají k detekovanému EEG signálu kvůli svému relativně náhodnému a krátkému výskytu (Beniczky, 2020; Kennett, 2012, Müller-Putz, 2020).

Veškeré procesy CNS, jako je například myšlení, jsou vždy doprovázeny změnou elektrického napětí vyvolanou komunikací jednotlivých neuronů mezi sebou a tím tedy i pohybem iontů uvnitř dendritických membrán. Elektroencefalogram je tedy grafickým znázorněním intenzity a lokalizace této neuronální komunikace (Beniczky, 2020; Müller-Putz, 2020).

Jednou z výhod EEG, oproti ostatním zobrazovacím metodám jako je magnetická rezonance (MRI) a výpočetní tomografie (CT), je výrazně nižší cenová nákladnost. Další výhodou EEG je možnost opakovaného hodnocení mozkových funkcí v delším časovém období bez větší zátěže pacienta. (Faber, 2001; Niedermeyer, 2011).

Pomocí mikroelektrod je možné odlišit tři různé druhy elektrického signálu šedé kůry mozkové, které se liší ve své intenzitě a délce. Tzv. jednotkové potenciály jsou produkovány těly neuronů a trvají pouze několik milisekund. Synaptické potenciály vznikají na synapsích neuronů a trvají do 40 milisekund. Dendritické potenciály vznikají na dostředivých výběžkách neuronů a trvají až 100 milisekund (Hovorka, 2003).

2.2.2 Elektrody a jejich rozmístění

Snímání samotného EEG signálu probíhá pomocí elektrod. Rozlišujeme elektrody invazivní a neinvazivní, respektive subdurální/hluboké, nebo povrchové. Subdurální elektrody

jsou výrazně méně využívány, a to pouze při invazivním EEG, které bývá součástí neurochirurgických zákroků. V běžné praxi se používají elektrody povrchové (skalповé), které bývají běžně zabudovány do EEG čepice pro snadnější a rychlejší aplikaci. Povrchové registrační elektrody jsou tvořené z nepolarizovaných materiálů, obvykle jsou potažené chloridem stříbrným, nebo zlatem. Mají tvar disku o průměru do 10 mm s dutinou uprostřed, která může být vyplněna elektrolytickou pastou. Ideální přenos snímaných potenciálů závisí na impedanci elektrod. Impedance elektrod dále přímo souvisí s elektrickým odporem kůže a kontaktem mezi kůží a elektrolytickou pastou. Impedance by neměla překročit 10 000 Ohmů a zároveň by neměla být nižší než 100 Ohmů. Je-li odpor elektrod příliš vysoký, pro jeho snížení se do centrálních otvorů elektrod aplikuje vodivý gel (Kennett, 2012, Müller-Putz, 2020).

Elektrické potenciály snímané během EEG dosahují nízkých hodnot (10 mA a potenciál 5–100 μ V). Z tohoto důvodu jsou během měření využívány zesilovače, které signál mnohokrát znásobí. Pro ideální přenos snímaných potenciálů je nutná správná aplikace EEG čepice (Pánek, 2016).

EEG čepice jsou v dnešní době rutinně používány pro snímání EEG záznamu. Obsahují 19–64 elektrod, které jsou rozmístěny na skalpu v souladu s guidelines Mezinárodní Federace Klinické Neurofyziologie (International Federation of Clinical Neurophysiology – IFCN). IFCN využívá rozšířenou verzi původního systému tzv. „10-20“. Původní znění systému 10-20 navrhl H.H. Jasper roku 1958. Toto rozložení elektrod na skalpu zajišťuje lokalizaci jednotlivých elektrod tak, aby byla zachována symetrická vzdálenost jednotlivých elektrod mezi sebou. Označení „10-20“ vychází z procentuálního rozdělení skalpu na oblasti, kam jsou jednotlivé elektrody umístěny. Oblast mezi kořenem nosu a týlem je rozdělena na šest přesně definovaných úseků: čelní (Fp), frontální (F), centrální (C), temporální (T), parietální (P) a okcipitální (O). Elektrody v čelní oblasti jsou v 10% celkové vzdálenosti od nasionu, zbylé elektrody jsou pak od sebe vzdáleny 20%. Roku 1958 byl tento systém schválen na mezinárodním kongresu EEG. Pro rozlišení laterality elektrod se dále používají číslice. Liché značí umístění na levé hemisféře, sudé na pravé. Elektrody, které se nacházejí ve střední linii skalpu, jsou označeny indexem „z“, a elektrody umístěné na čele nesou index „p“ (Beniczky, 2020; Klem, 1999; Kolář, 2012; Müller-Putz, 2020).

Rozšířením původního systému „10-20“ o další elektrody dosáhneme vyššího prostorového rozlišení. Tyto rozšířené a detailnější systémy se pak nazývají 10-10 nebo 10-5 na základě počtu přidávaných elektrod a tedy změně procentuálního rozložení elektrod na skalpu mezi sebou (Beniczky, 2020).

Způsob snímání je určen počtem snímacích elektrod a tím pádem i množstvím záznamových kanálů. Používají se zejména zapojení unipolární/monopolární a bipolární. Při unipolárním zapojení je detekované napětí určováno mezi aktivní a referenční elektrodou/svorkou. Dále se u unipolárního zapojení rozlišuje zapojení dle směru: předo – zadní (longitudální), či levo – pravé (transversální). Bipolární zapojení snímá rozdíl potenciálů mezi dvěma aktivními elektrodami. Hlavní rozdíl mezi unipolárním a bipolárním zapojením je tedy v tom, že při unipolárním zapojení jsou všechny zapojené elektrody porovnávány s jednou referenční, a při zapojení bipolárním se vždy porovnávají dvě elektrody mezi sebou (Beniczky, 2020; Kennett, 2012; Pánek, 2016).

2.2.3 Analýza a interpretace EEG signálu

Analýzu/rozbor EEG signálu používáme k získání podrobných informací o stavu CNS. Tyto informace pak vyhodnocuje lékař, zpravidla elektroencefalografista, ke stanovení diagnózy. Díky technologickým pokrokům posledních let, které jsou pro EEG vyšetření nezbytné, se EEG diagnostika stále více využívá (Kennett, 2012; Moráň, 1995).

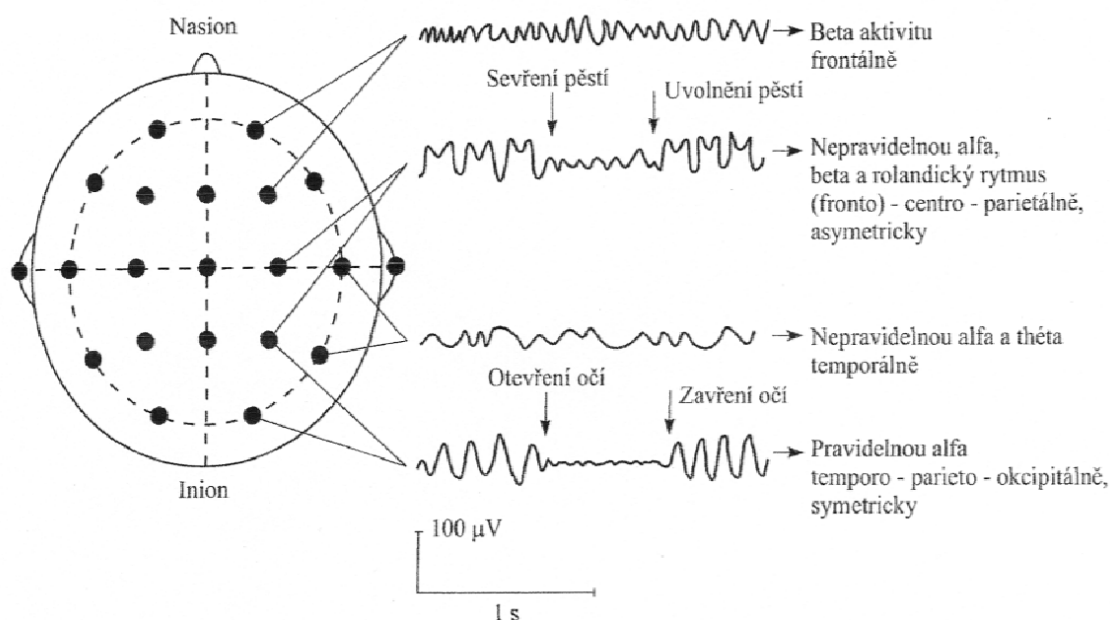
Pro stanovení diagnózy pomocí EEG se využívá zejména frekvenční charakteristika EEG signálu. Elektroencefalografista hodnotí mozkové frekvence získaného záznamu. Při diagnostice se pracuje s konečným počtem vzorků – hodnotí se jak časová doména, tak frekvenční doména, respektive periodičita. Transformaci získaných dat mezi časovou a frekvenční doménou zajišťuje počítač, respektive specifický program. Transformace umožňující přechody mezi časovou doménou a frekvenční doménou se nazývá diskrétní Fourierova transformace (DFT). Pro rychlý a efektivní výpočet těchto transformací byly vyhotoveny specifické algoritmy. Znamé jsou díky využití na číslicovém počítači a jsou označovány názvem „rychlá Fourierova transformace“ (FFT). Díky vysoké rychlosti výpočtu FFT se DFT stala důležitým a často používaným prostředkem v analýze EEG, zejména při tzv. frekvenční analýze. Z frekvenčních analýz využívajících FFT získává elektroencefalografista jak amplitudové spektrum, tak i fázové spektrum. Tato spektra se pak využívají pro výpočet dalších charakteristických signálů, jako jsou výkonové spektrální hustoty, korelační funkce a další (Kennett, 2012, Moráň, 1995).

2.2.4 Základní frekvenční pásma

V rámci EEG diagnostiky se rozlišují dva základní druhy neinvazivního EEG záznamu – spontánní EEG (nebo také kontinuální či endogenní) a evokované potenciály.

Termín spontánní EEG označuje měřitelnou elektrickou mozkovou aktivitu, která je neustále přítomná u zdravých jedinců a v bdělém stavu vrcholy amplitud elektrické aktivity dosahují maximálně do intenzity 75–100 μV . Významná část EEG signálu pochází z rytmických oscilací ve frekvenčních pásmech od 0,5 do 40 Hz, s méně častějšími frekvencemi až do 100 Hz (Niedermeyer, 2011; Parasuraman, 2006).

Na základě dat získaných ze studií EEG křivek zdravé populace byla stanovena kritéria určující tzv. normální EEG aktivitu. Tato kritéria berou v potaz věk a stav bdělosti (např. spánek), ve kterém se měření odehrávalo. Jako normální EEG aktivita je určován takový stav CNS, kde jsou přítomny základní frekvence mozkových vln, které se vyskytují u většiny zdravé populace (Obrázek č. 4).



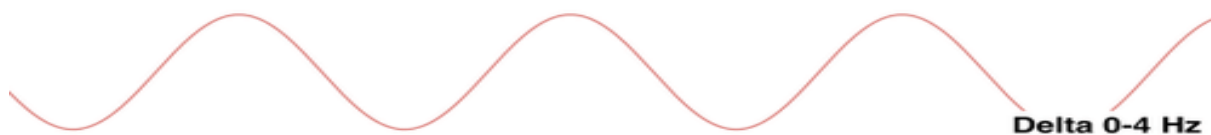
Obrázek 4 Základní frekvenční pásma a oblasti jejich výskytu z povrchový elektrod (Faber, 2001)

Základní frekvenční pásma rozlišujeme, jak je již z označení patrné, na základě frekvence oscilací. Rozeznávání frekvencí, tzv. mozkových vln, je zásadní pro správnou interpretaci EEG. Frekvence jsou měřeny v hertzech (Hz) a popisujeme s nimi výskyt vln za vteřinu. Rozdělujeme čtyři základní frekvenční pásma:

Frekvenční pásmo delta má nejnižší frekvenci a to 0,5 – 4 Hz. Při normálním bdělém stavu by vlny delta neměly být pozorovatelné u zdravého jedince. Vlny delta můžeme u zdravých jedinců pozorovat v hlubokém spánku, obvykle v nejhlubší fázi nonREM, kde dosahují amplitudy 20–200 μV . Přirozeně se aktivita delta postupně vytrácí s věkem.

Přítomnost vlna delta, mimo výše zmíněné případy, je spojována s patologickými stavy CNS, jako jsou ztráty vědomí a koma (Faber, 2001; Hobson, 2002; Knyazev, 2005; Pánek, 2016).

„Předpokládá se, že delta aktivita hraje specifickou roli v kódování a uvolňování informací a tím je spojená s celkovou inteligencí jedince.“ (Pánek, 2016).



Obrázek 5 Vlny delta (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/terminology-and-waveforms>

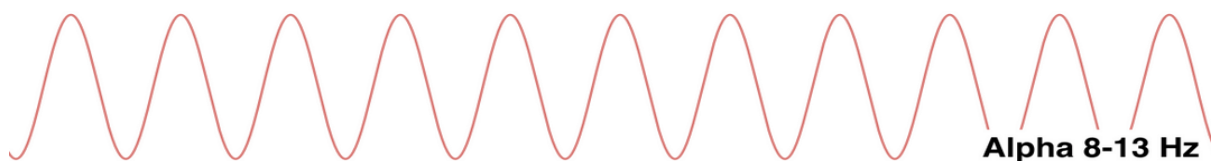
Vlny théta oscilují o frekvenci 4–8 Hz s amplitudou 5–100 μ V. Typicky se objevují ve specifických fázích spánku, při ospalosti, nebo při hluboké meditaci. Občas dochází k její propagaci během emočního vzrušení, nejčastěji u dětí a kojenců (Cahn, 2006; Cannon, 2009; Faber, 2001; Pánek, 2016).



Obrázek 6 Vlny théta (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/terminology-and-waveforms>

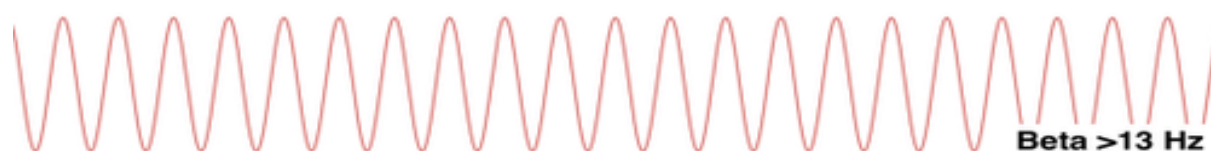
Alfa aktivita je charakteristická frekvencí 8–13 Hz a považuje se za indikátor relaxovaného stavu při bdělosti u zdravých jedinců. Bývá také označována jako „zdravá vlastnost mozku“ z důvodu jejího vymizení při centrálních onemocněních. Amplituda alfa aktivity je 20–80 μ V. Nejvyšších amplitud dosahuje alfa aktivita při bdělém stavu se zavřenými očima. Při zvýšení pozornosti, nebo při otevření očí se amplituda naopak snižuje. Tento fenomén je označován jako alfa atenuační reakce (AAR), reakce zástavy (RZ), či jako reakce blokády (RB) a je způsoben desynchronizací v thalamokortikálních okruzích. Při opětovném zavření očí můžeme pozorovat tzv. rebound fenomén (RF), který se projevuje dalším zvýšením amplitudy. Alfa aktivita se dále rozděluje na menší subpásma, která mají odlišné zastoupení

v procesech pozornosti. Jedná se o pásma alfa-1 (8–10 Hz) a alfa-2 (10–13 Hz) (Cannon, 2009; Faber, 2001; Jobert, 2012; Moráň, 1995; Pánek, 2016; Vojtěch, 2005).



Obrázek 7 Vlny alfa (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/terminology-and-waveforms>

Beta aktivita má frekvenci 13–30 Hz s amplitudou nižší než 20 μV . Je spojená s aktivací CNS, jako je aktivní koncentrace, pozornost, nadšení, úzkost a další. Přítomnost beta vln také značí senzomotorickou aktivitu. Nejvýraznější je nad frontálními laloky v bdělém stavu s otevřenými očima a s přibývajícím věkem se její zastoupení zvyšuje (Cannon, 2009; Faber, 2001; Moráň, 1995; Pánek, 2016).



Obrázek 8 Vlny beta (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/terminology-and-waveforms>

Gama aktivita se považuje za součást beta aktivity a je charakteristická svou velmi vysokou frekvencí oscilace 30–200 Hz v rozmezí 2–10 μV , ale tradičním EEG nejsou frekvence nad 100 Hz měřitelné. Gama vlny jsou spojovány s tzv. vazebnými mechanismy, jako je například integrace různých aspektů stimulu do celkové percepce (Hughes, 2008; Moráň, 1995).

2.2.5 Evokované potenciály

V rámci specializované EEG diagnostiky se kromě elektrické aktivity mozku hodnotí také funkční stav celých nervových drah tzv. evokovanými potenciály. Vyšetření evokovaných potenciálů (EP) napomáhá v odhalení tzv. subklinických poruch (Kolář, 2012; Müller-Putz, 2020).

Vyšetřením EP můžeme testovat jak odstředivé, tak dostředivé dráhy. Z dostředivých drah se standardně testuje dráha somatosenzorická (somatosensory evoked potentials – SEP), dráha zraková (visual evoked potentials – VEP) a dráha sluchová (auditory evoked potentials – AEP). Testování odstředivých drah je o něco složitější. Pro testování odstředivých drah musí

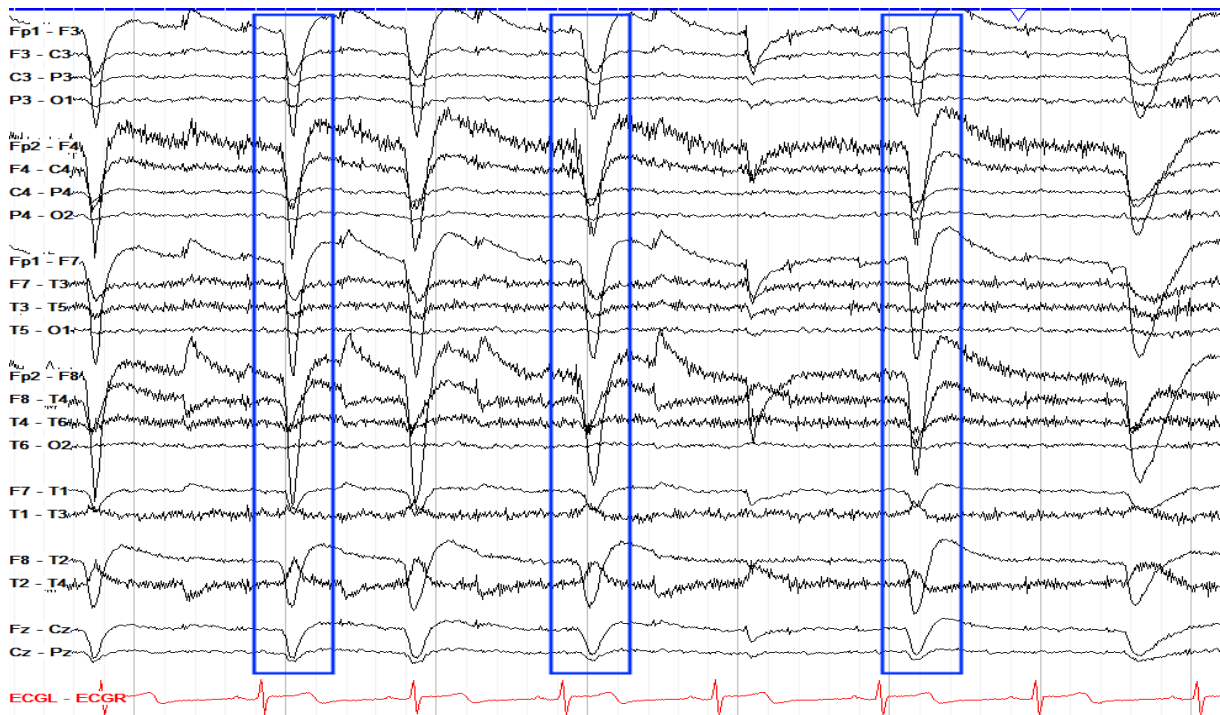
docházet k elektrické stimulaci začátku dráhy skrz skalp. Jelikož je tato stimulace příliš bolestivá, provádí se pouze v celkové anestézii při neurochirurgických operacích. Ambulantně se dá ke stimulaci odstředivých drah využít stimulace magnetickým polem – transkraniální magnetická stimulace (TMS). Při testování odstředivých drah se nejčastěji testuje dráha kortikospinální (Müller-Putz, 2020; Niedermeyer, 2011).

2.2.6 Artefakty

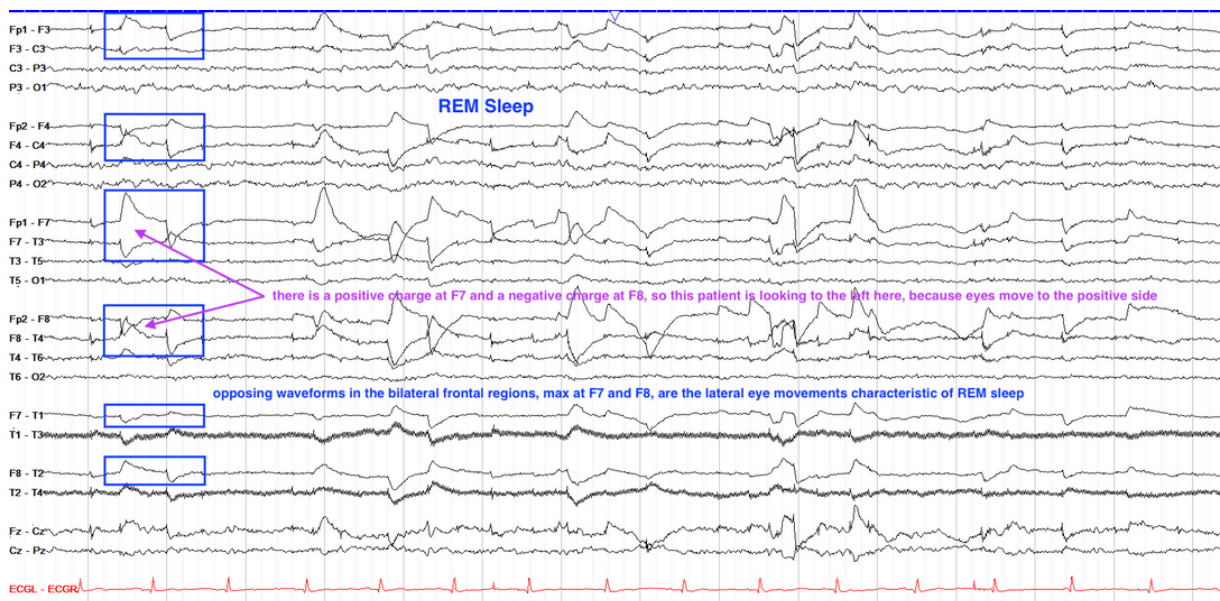
Během rutinního EEG záznamu je zásadní získat tzv. bezartefaktový úsek dat. Nicméně, během snímání elektrické aktivity mozku je prakticky neustálé riziko „kontaminace“ EEG signálu, a proto je důležité artefakty znát a eliminovat, ačkoliv velké množství artefaktů již moderní programy rozpoznají samy a vyruší je. Za EEG artefakty je považováno všechno, co přímo nepochází z mozku a nějakým způsobem ovlivňuje elektroencefalogram. EEG artefakty mají etiologii fyziologickou, elektrickou, nebo pocházejí z prostředí měření, nicméně dnes se artefakty řadí do dvou základních skupin, a to artefakty biologické a technické (Beniczky, 2020; Mareček, 2011; Müller-Putz, 2020).

Biologické artefakty:

1. Oční – mezi oční artefakty řadíme artefakty svalové, a to z okohybných svalů (nejčastěji při horizontálním pohybu bulbu z m. rectus lateralis bulbi), nebo při mrknutí. Mrknutí je artefakt, kterému se během EEG záznamu nevyhneme a je jasně jednoduše pozorovatelný díky své krátké a jasné elevaci amplitudy během mrknutí. Artefakty z mrknutí vznikají díky tzv. Bellovu fenoménu (palpebrální – okulogyrický reflex), kdy při zavření víčka dochází k pohybu očního bulbu směrem vzhůru. Rohovka má pozitivní elektrický náboj, sítnice naopak negativní a při mrknutí se rohovky pohybem bulbu přiblíží k elektrodám Fp1 a Fp2 a my můžeme pozorovat změnu amplitudy bifrontálně (Obrázek č. 9). Na stejném principu pozorujeme artefakty při pohybu očí do stran, kdy například při pohybu očí vpravo se pravá rohovka přiblíží elektrodě F8 (a detekuje pozitivní náboj) a levá sítnice se se přiblíží elektrodě F7 (detekuje negativní náboj) (Obrázek č. 10).
2. EMG – EMG artefakty jsou jedny z nejčastěji pozorovaných artefaktů v rámci EEG záznamu. Díky zesílení EEG signálu často pozorujeme EMG signál obličejových svalů. Signál je jednoduše rozpoznán díky své vysoké frekvenci i amplitudě – tzv. rychlá skupinová hrotová aktivita (Obrázek č. 11). Tento artefakt také můžeme pozorovat při nedostatečné relaxaci pacienta, nebo u stavů neustálé svalové tenze.



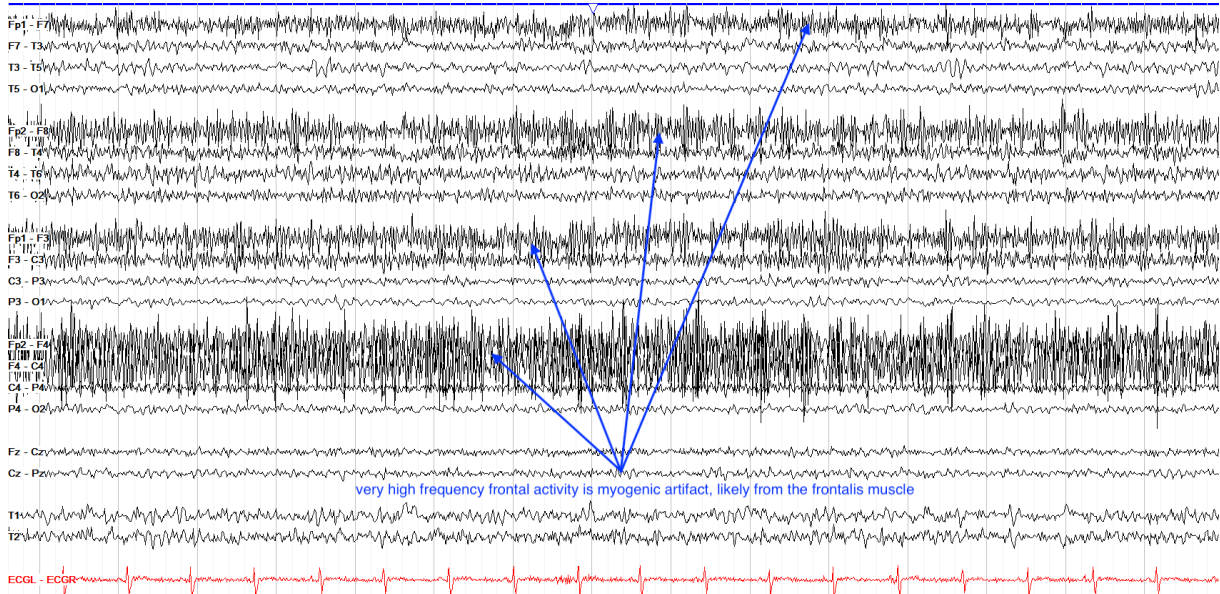
Obrázek 9 Biologický oční artefakt způsobený mrknutím – Bellův fenomén (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/artifacts>



Obrázek 10 Biologický oční artefakt způsobený pohybem očí do stran. Fialový text: „Na elektrodě F7 je kladný náboj a na F8 záporný, takže tento pacient se dívá doleva, protože oči se pohybují na stranu s kladným nábojem.“ Modrý text: „Opačné křivky bilaterálně ve frontální oblasti, s maximem na F7 a F8, jsou laterální pohyby očí charakteristické pro REM spánek.“ (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/artifacts>

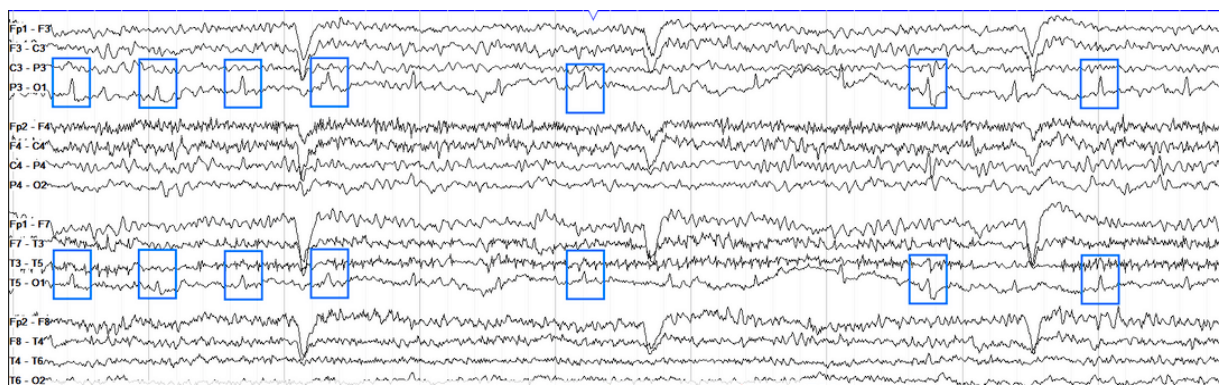
3. EKG – Díky výraznému zesílení EEG signálu pro rozpoznání křivek se může stát, že v záznamu pozorujeme klasickou EKG křivku (Obrázek č. 12). Tento artefakt jednoduše poznáme díky své neměnné časové vazbě na QRS komplexu pozorovatelným

klasickým EKG. Artefakt je častěji pozorovatelný na levé straně těla díky anatomické lokalizaci srdce. Tento artefakt jednoduše odstraníme mírným posunem elektrod. Artefakt nejčastěji pozorujeme při zapojení elektrod k ušním lalůčkům, nebo u osob s nadváhou.



Obrázek 11 Biologický EMG artefakt způsobený aktivitou obličejových svalů. Modrý text: “Velmi vysoká frekvence frontální aktivity je svalový artefakt, pravděpodobně způsobený musculus frontalis.” (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/artifacts>

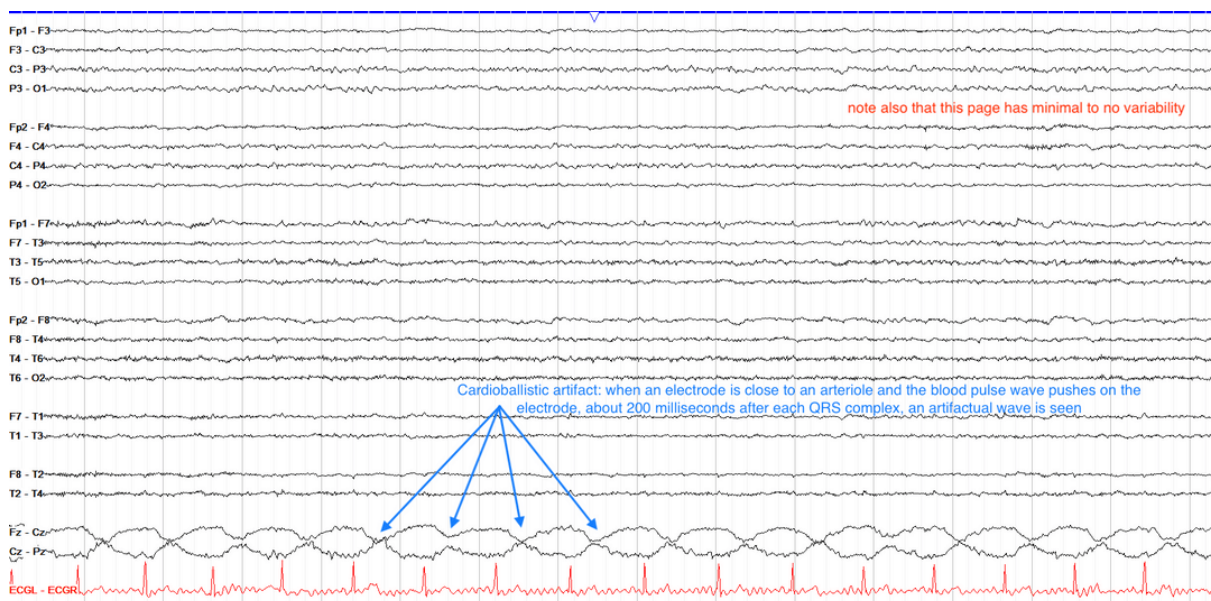
4. Pulzní – „Pulzní, nebo také kardiobalistický artefakt (Obrázek č. 13) se vyznačuje kvaziperiodickými vlnami časově svázanými s R vlnou EKG signálu. Tyto vlny mají amplitudy i frekvenční spektrum podobné jako fyziologické EEG a často připomínají ostré vlny či hroty interiktálního EEG záznamu u pacientů s epilepsií. Tento artefakt nejspíše vzniká díky pohybu vodivých součástí EEG systému v magnetickém poli, který souvisí se srdečním rytmem. Samotný pohyb pak způsobuje indukci rušivého napětí. Artefakt pozorujeme při umístění elektrody nad arterií. Pozorujeme artefakty, které mají



Obrázek 12 Biologický EKG artefakt – detekce QRS komplexu skalpovými elektrodami díky výraznému zesílení EEG signálu. Modrý text: “ (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/artifacts>

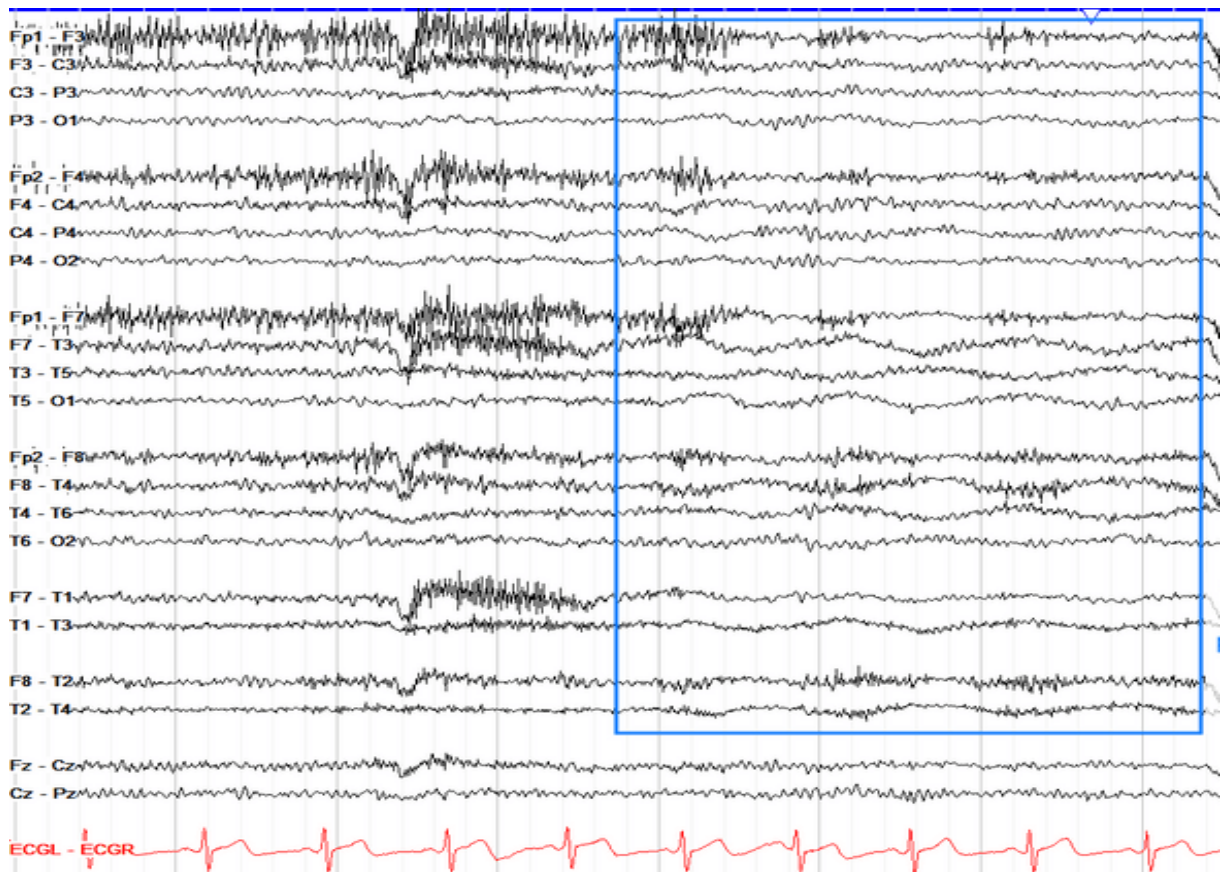
stejnou frekvenci výskytu, jako je tepová frekvence jedince. Artefakt vyřešíme posunem elektrody.

5. Pohybové – pohybové artefakty jsou způsobené pohybem pacienta během měření. Jedná se o velké nepravidelné vlny odlišné od typického EEG: Artefakt také může vzniknout posunem elektrody na skalpu, kdy na EEG záznamu pozorujeme tzv. skluz elektrody (Obrázek č. 14), nebo se může jednat o artefakt způsobený pohybem kabelů vůči sobě vedoucích z EEG čepice.

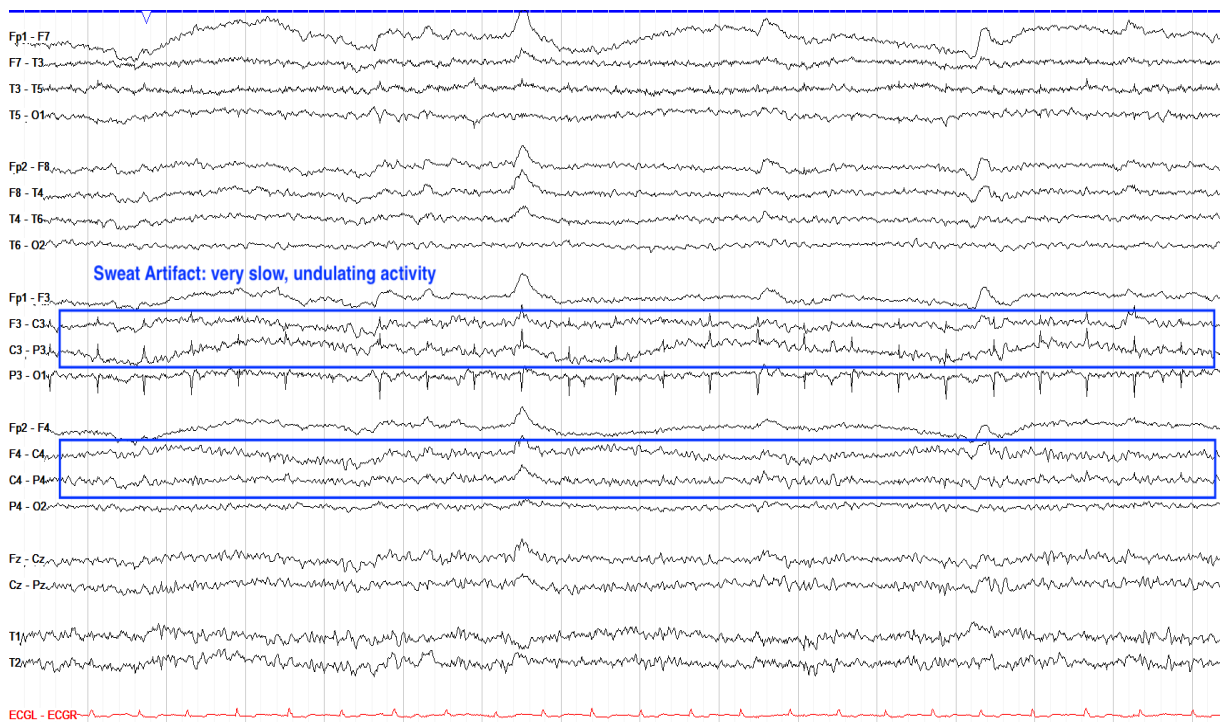


Obrázek 13 Biologický pulzní artefakt. Modrý text: “Kardiobalistickej artefakt: když je elektroda blízko arterioly a vlny krevního pulzu tlačí na elektrodu, asi 200 milisekund po každém QRS komplexu je vidět artefaktová vlna.” (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/artifacts>

6. Z pocení – během pocení může dojít k tomu, že se pot dostane na místo kontaktu elektrody s pokožkou. Pot v sobě obsahuje chlorid sodný, který nese náboj. Tím dochází ke snížení vodivosti kůže a k následné změně signálu, který je nestabilní (Obrázek č. 15). Také může díky potu dojít ke skluzu elektrody.
7. Breech – jedná se o artefakt způsobený kostním defektem. Díky absenci kosti je signál výrazně silnější pouze v oblasti kostního defektu (Beniczky, 2020; Mareček, 2011; Müller-Putz, 2020; Niedermeyer, 2011).



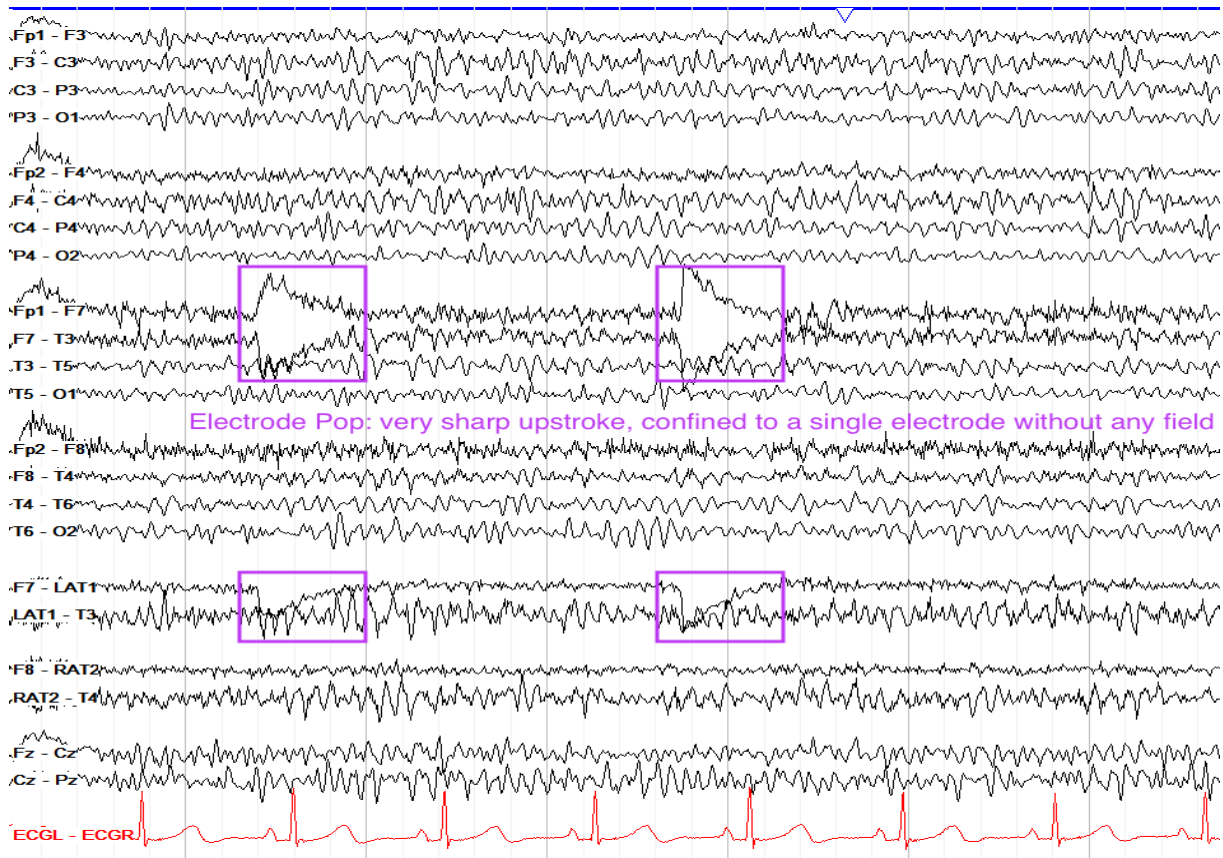
Obrázek 14 Biologický pohybový artefakt způsobený skluzem elektrody (Valentine, 2020).
Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/artifacts>



Obrázek 15 Biologický artefakt z pocení – změna signálu způsobená snížením vodivosti kůže kvůli potu. Modrý text: “Artefakt z pocení: velmi pomalá, vlnitá aktivita.” (Valentine, 2020).
Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/artifacts>

Technické artefakty:

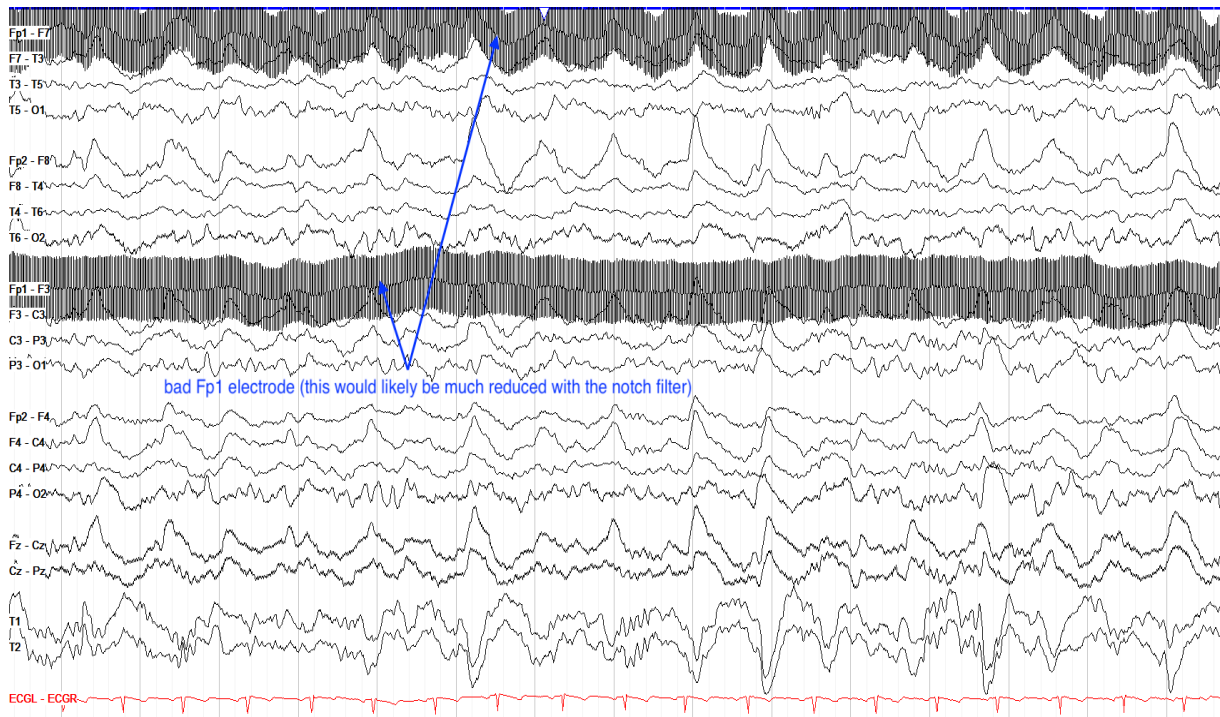
1. Přístrojové – pozorujeme různé druhy nepravidelných vln, které nepřipomínají žádné jiné artefakty. Tyto artefakt mohou vzniknout nedokonalým kontaktem kabelů elektrod.
2. Elektrodové – jedná se o artefakt způsobený odlupující se elektrodou, kde dochází k dočasnému zvýšení odporu (Obrázek č. 16). Signál neodpovídá klasickému EEG a je dobře rozeznatelný – fenomén skluzu.



Obrázek 16 Technický elektrodový artefakt způsobený odlupující se elektrodou. Fialový text: “Odloupení elektrody: velmi ostrý zdvih vázaný pouze na jednu elektrodu bez jakéhokoliv pole.” (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/artifacts>

3. Síťové artefakty – tento druh artefaktu může být způsoben elektromagnetickou indukcí z jiných přístrojů nebo různými rozvody elektrické sítě v blízkém okolí. Například, leželi vyšetřovaný pacient na terapeutickém lehátku, které je zapojené do sítě, pozorujeme tuto frekvenci v EEG záznamu (Obrázek č. 17). Síťové artefakty jsou jednoduše rozeznatelné díky své vysoké frekvenci a monotónní aktivitě (60 Hz v USA, 50 Hz Evropa).
4. Rušení síťovým brumem – artefakt pozorujeme u všech zapojených elektrod naráz. Na EEG záznamu pozorujeme frekvenci střídavého proudu 50 Hz. Tento artefakt bývá

nejčastěji způsoben špatným uzemněním – tedy při odpojení zemnicí elektrody (Beniczky, 2020; Mareček, 2011; Müller-Putz, 2020; Niedermeyer, 2011).



Obrázek 17 Technický síťový artefakt způsobený elektromagnetickou indukcí. Modrý text: „Špatná elektroda Fp1 (tento artefakt by byl pravděpodobně výrazně potlačen při zapnutí filtru notch).“ (Valentine, 2020). Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/artifacts>

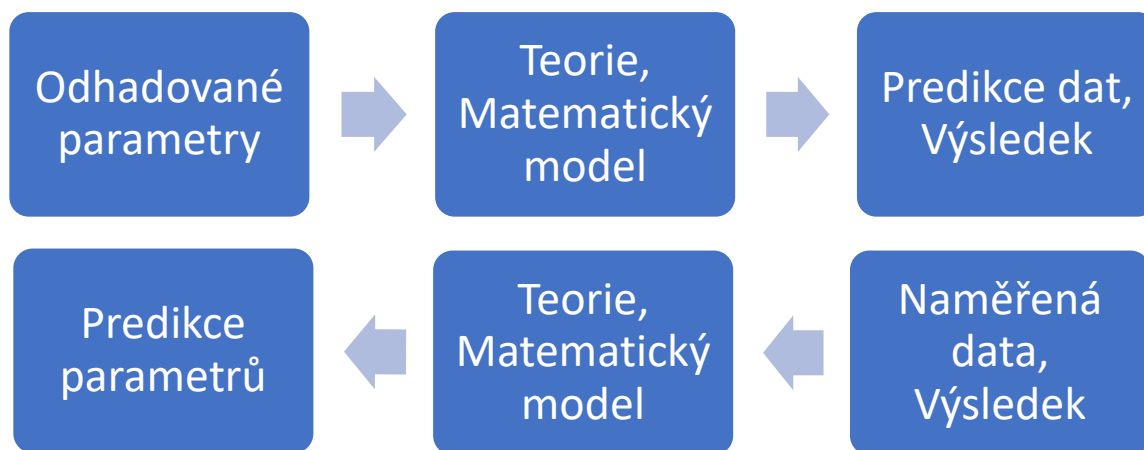
2.3 Elektromagnetická mozková tomografie s nízkým rozlišením – LORETA

LORETA, neboli elektromagnetická mozková tomografie s nízkým rozlišením, je metoda schopná vypočítat ze skalpových elektrod elektrickou aktivitu mozku a zobrazit ji ve 3D obraze. LORETA byla představena roku 1994 a jako první metoda využívající principy EEG představila řešení tzv. inverzního problému (Cannon, 2012; Pascual-Marqui, 1994).

2.3.1 Inverzní problém

V mnoha vědních oborech modelové příklady zahrnují predikci účinků nebo výsledků pro sadu známých parametrů. Tento postup je označován jako „forward modeling“, nebo také „forward problem“. Inverzní problém nastává, máme-li výsledky měření/měřená data a snažíme se určit, jaké parametry zapříčinily naměřený výsledek (Obrázek č. 18).

Inverzní problém u EEG spočívá v nalezení – přesné lokalizaci – elektrického signálu, který zapříčiňuje změny detekované elektrodami na skalpu, tedy námi měřené výsledky. V neurovědách je inverzní problém zásadní. Řešení odhalující zdroje elektrické aktivity mozku nejen přispívá k porozumění fungování CNS, ale hlavně pomáhá nalézt místa v CNS s poruchou vodivosti, a tedy k diagnostice centrálních poruch obecně (Pascual-Marqui, 1999; Lopez Rincon, 2016).



Obrázek 18 Diagram modelových příkladů tzv. „Forward modeling“ (nahore) a inverzního problému (dole)

EEG inverzní problém nemá jedno unikátní řešení; existuje nekonečně mnoho kombinací konfigurací zdrojů elektrické mozkové aktivity, které vysvětlují elektrodami naměřené výsledky. Inverzní problém byl dlouholetým problémem a nevýhodou EEG. Částečně tuto problematiku vyřešili Hamalainen a Ilmoniemi roku 1984 skrze „minimum norm solution“, ovšem touto metodou byli schopni detekce a správného výpočtu pouze u povrchových signálů. S řešením přichází autor metody LORETA Pascual-Marqui se svými kolegy roku 1994:

„The way to obtain a meaningful 3D solution despite the curse of non-uniqueness is by sacrificing spatial resolution. Instead of estimating point dipoles we compute distributed activity throughout the brain volume, which is discretized as a dense 3D grid where electric sources are located on each grid point.“ (Pascual-Marqui, 1994). (Hämäläinen, 1984; Pascual-Marqui, 1994).

Pro dosažení správných výpočtů využívají Pascual-Marqui a spol. fakt, že sousedící neurony velmi často prokazují synchronní a simultánní aktivitu.

Jak již bylo výše zmíněné, metoda LORETA převádí hodnoty skalpové EEG do map proudových hustot implementovaných do 3D modelu mozku. Hodnoty proudových hustot jsou

reprezentovány tzv. voxely (nejmenší možný čtverec na mapě proudové hustoty, tedy nejvyšší možné rozlišení), které jsou definovány v Talairachově atlasu. LORETA vypočítává 3D rozložení 2394 voxelů šedé kůry mozkové generující elektrickou aktivitu s prostorovým rozlišením 7x7x7 mm (Cannon, 2012; Pascual-Marqui, 1994; Pascual-Marqui, 2002).

2.3.2 sLORETA

sLORETA – standardized low resolution electromagnetic tomography – je nejmodernější verzí LORETA programu. Na rozdíl od původní verze, sLORETA vytváří mapy proudových hustot s minimální prostorovou chybovostí, a to díky tomu, že disponuje výrazně vyšším prostorovým rozlišením. sLORETA stanovuje proudové hustoty v celkem 6239 voxelech s prostorovým rozlišením 5x5x5mm (Pánek, 2016; Pascual-Marqui, 2007, Pascual-Marqui, 2002; Talairach, 1988).

Výhodou sLORETY, respektive celé elektroencefalografie, oproti jiným zobrazovacím metodám (jako jsou například pozitronové emisní tomografie (PET), nebo funkční magnetické rezonance (fMRI)) je, že pacienta nezatěžuje záření a dále celková nižší finanční náročnost. Dalším výrazným benefitem EEG je, že pacient/proband nemusí být během měření v absolutním klidu, oproti MRI nebo CT. Naopak nevýhodou LORETY je, že měření a zobrazování struktur mozku je limitováno pouze na kortikální struktury.

Ačkoliv je elektroencefalografie neurofyziologická diagnostická zobrazovací metoda, tak v dnešní době pozorujeme její využití daleko za hranicí klinické praxe. Díky rozvoji zobrazovacích a technických možností zkoumání pozorujeme využití různých zobrazovacích metod v oborech, jako je rehabilitace za účelem porozumění mechanismům různých terapeutických konceptů (Cannon, 2012; Coutin-Churchman, 2008; Hedrich, 2017; Kim, 2009; Lehnem, 2006; Pascual-Marqui, 2012; Zumsteg, 2006).

2.4 Brodmann areas – Brodmannovy oblasti

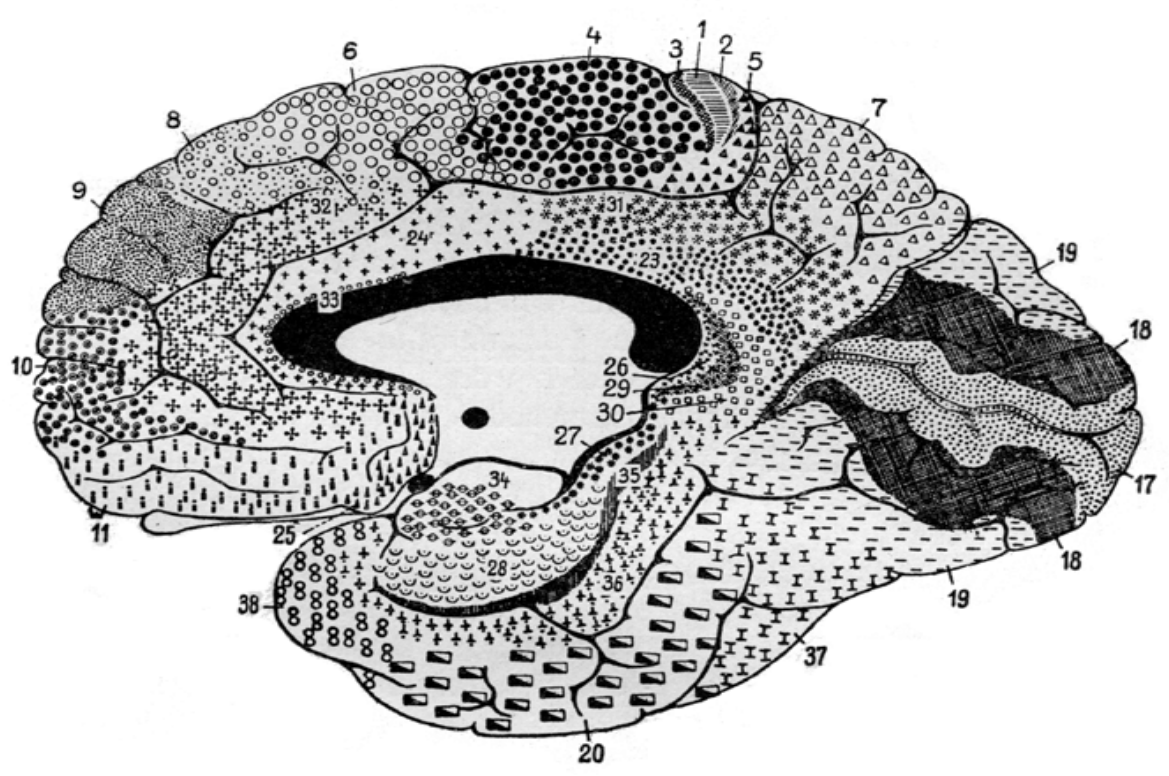
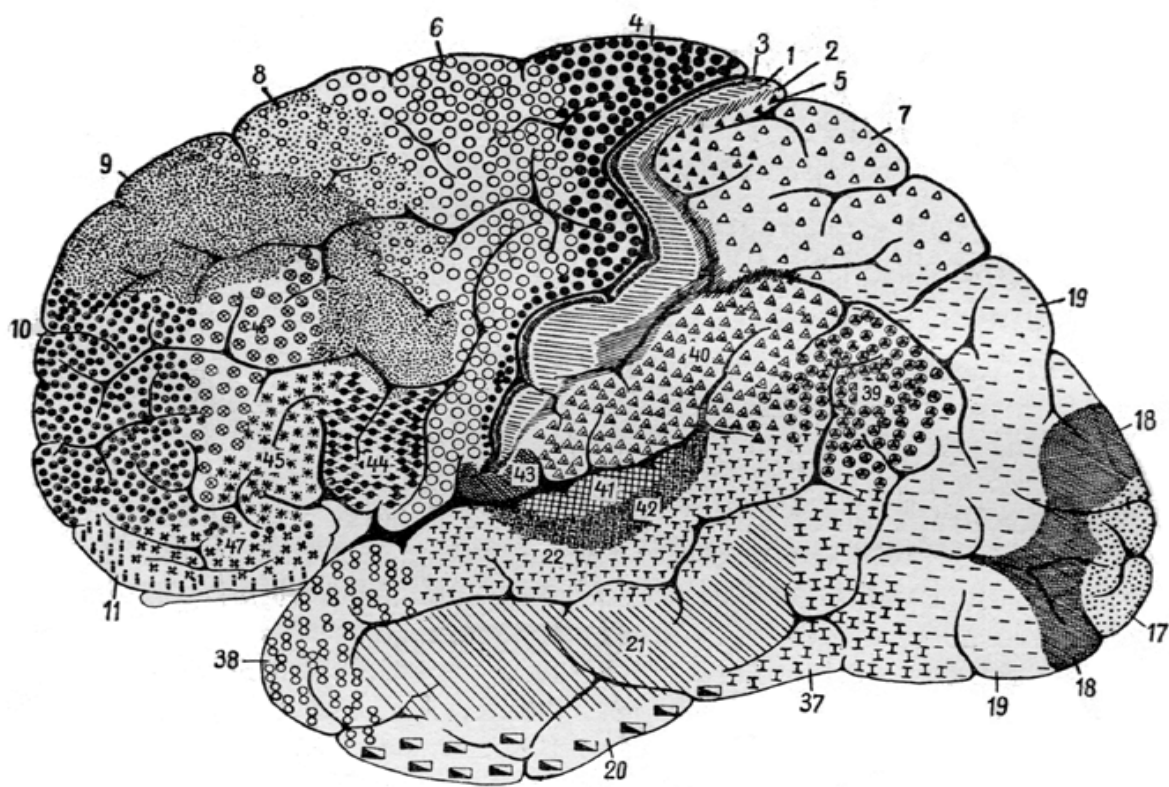
Brodman areas (BA) je označení pro rozdělení mozkové kůry na základě regionálních rozdílů v distribuci, hustotě, tvaru a velikosti buněčných těl, neboli dle cytoarchitektury. Autorem tohoto druhu dělení, a tedy i prvních cytoarchitektonických map kůry, je Korbinian Brodmann (Brodmann, 1909).

Korbinian Brodmann byl německý neurolog a dnes je označován za průkopníka v oboru mapování mozku. Proslavil se publikací svého výzkumu cytoarchitektury roku 1909, kde také

poprvé prezentoval mapu mozkové kůry (Obrázek č. 19) rozdělené právě na základě cytoarchitektury. Brodmannovou vizí bylo sloučit tehdejší evoluční myšlenky a histologické nálezy z mozkové kůry s funkční lokalizací. Jeho funkční rozdělení mozkové kůry bylo od původního vydání několikrát upraveno a stalo se jakousi předlohou pro budoucí neurovizuální texty a učebnice. Právě s rozvojem zobrazovacích metod nabraly Brodmannovy oblasti nové popularity. Jedním z nejznámějších způsobů využití Brodmannových oblastí je 3D Talairachovův atlas (Brodmann, 1909; Zilles, 2018; Nowinski, 2005).

K. Brodmann původně rozděluje mozkovou kůru savců na 52 regionů s odlišnou architekturou a funkcí. Ovšem u lidí již některé z těchto oblastí nenalzáme, proto je také nenajdeme na jeho mapách lidské kůry. Jedná se o oblasti 12–16 a 48–51. Lidskou kůru tedy rozdělil do 43 oblastí (Amunts, 2015; Brodmann, 1909; Judaš, 2012; Zilles, 2018).

V následující části práce se zaměřuji na popis jednotlivých Brodmannových zón s důrazem na oblasti, které jsou relevantní k vlastnímu experimentu: motorické korové oblasti, senzitivní korové oblasti a cingulární kůra.



Obrázek 19 Mapa mozkové kůry rozdělená na základě cytoarchitektury (Brodmann, 1909)

2.4.1 Brodmannovy zóny 1, 2 a 3

Brodmannovy zóny 1, 2 a 3 leží v gyrus postcentralis a dohromady tvoří primární senzitivní korovou oblast (S1). Obecně je známo, že tyto oblasti zajišťují funkci somatosenzorické percepce, tedy vnímání dotyku, diskriminační cití a propiocepce z celého těla. Tyto oblasti jsou dále děleny na menší podoblasti (např. BA 3a, 3b) pro upřesnění svých konkrétních funkcí. Každá z těchto oblastí integruje somatosenzorické signály z různých částí těla. Studií popisujících reakci senzitivní kůry na různé somatosenzorické stimuly je mnoho a z jejich výsledků můžeme pozorovat interindividuální rozdíly v interpretaci senzitivních signálů z celého těla.

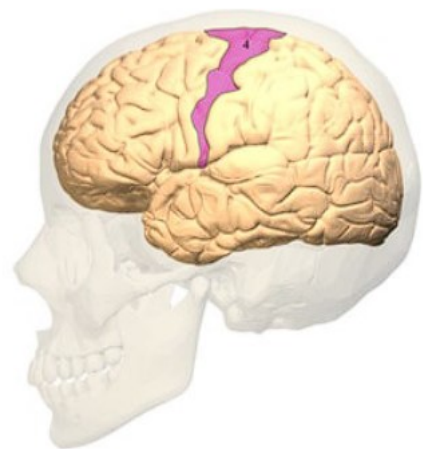
Tedy u někoho může specifický signál vyvolat aktivitu např. v BA 1 a 2, u někoho pouze v BA 2. Primární senzitivní kůra se dále podílí na vnímání a integraci různých druhů bolesti spolu se sekundární senzitivní mozkovou kůrou. V neposlední řadě se také podílí na organizaci určitých pohybů nejen díky propioceptivní aferenci, ale také kvůli aktivaci zrcadlových neuronů, které obsahuje (Eickhoff, 2008; Fabri, 2005; Gastl, 2014; Hofbauer, 2018; Holmes, 2019; Krause, 2001; Oh, 2017; Overduin, 2004; Pfanmüller, 2016; Ploner, 1999; Yam, 2018).



Obrázek 20 Brodmannovy zóny 1, 2, 3 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.4.2 Brodmannova zóna 4

Brodmannova oblast 4 je označovaná za primární motorickou kůru (M1). Leží v gyrus precentralis, kde sousedí s S1, a v přední části gyrus paracentralis. Tato oblast zastupuje hlavní centrum volní motoriky. Skrze kortikospinální (pyramidální) trakt vysílá impulzy do kontralaterální poloviny těla. BA 4 dále reaguje na senzitivní podněty přípravou potenciálního pohybu – tzv. „attention to action“. Hlavní funkcí BA 4 ovšem není „posílání signálů“ do jednotlivých svalů. Mnohé výzkumy prokázaly, že elektrickou stimulací i těch



Obrázek 21 Brodmannova zóna 4 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

nejmenších populací neuronů v M1 nedochází k vyvolání aktivity drobných motorických jednotek, či samotných svalů, ale spíše ke komplexní motorické odpovědi. Jedná se o větší motorické synergie, jakési stavební kameny základního motorického chování. BA4 také prokazuje aktivitu při dekodování non-sémantických procesů (Carson, 2021; Kapreli, 2006; Lotze, 2000; Sanes, 2000; Sánchez-Panchuelo, 2014; Schellekens, 2018; Schieber, 2001; Schieber, 2020; Švestková, 2017).

2.4.3 Brodmannovy zóny 5 a 7

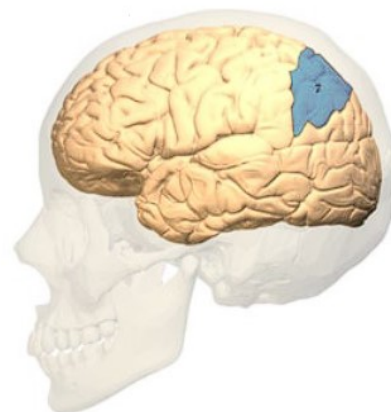
Brodmannovy zóny 5 a 7 dohromady tvoří sekundární senzitivní korovou oblast (S2). Brodmannova zóna 5 je frontálně ohraničena primární senzoricou kůrou (BAs 1, 2, 3), parietálně BA 7 a temporálně BA 40. BA 7 je dále temporoparietálně ohraničena zónami 40, 39 a 19.

Sekundární senzitivní korová oblast se podílí na percepci, sjednocování a integraci somatosenzorických stimulů, ačkoliv tuto funkci převážně zastupuje S1. Aktivitu S2 pozorujeme při sjednocování hlubokých a povrchových vjemů. S2 také zastupuje percepci, zpracování a integraci bolestivých a nebolestivých stimulů a to zejména při soustředění se na lokalizaci a intenzitu daného stimulu. Dále tato oblast rozhoduje, zda tyto stimuly jsou potřeba dále vyhodnocovat jinými oblastmi.

S2 dále vykazuje silnou eferenci se suplementární motorickou korovou oblastí (BA 6) a s S1. Aferentně pak komunikuje s thalamem a s M1. S2 se také zapojuje při vnímání pohybu těla a je tím pádem funkční součástí pohybové paměti (Chen, 2008; Kropf, 2018; Hofbauer, 2018; Ploner, 1999; Timmermann, 2001; Hoehstetter, 2001).



Obrázek 22 Brodmanova zóna 5 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf



Obrázek 23 Brodmanova zóna 7 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

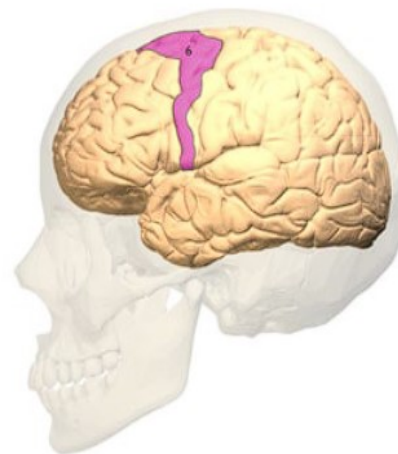
2.4.4 Brodmannova zóna 6

Brodmannova zóna 6 je označovaná za premotorickou korovou oblastí díky svému anatomickému uložení před primární motorickou kůrou (BA 4). Zároveň se jedná o jednu z největších Brodmannových zón. BA 6 je považována za jedno z vyšších řídicích motorických center. Tomu odpovídá i fakt, že část kortikospinálního traktu má počátek právě v této zóně. Některé studie také naznačují nemotorické kognitivní funkce určitých částí BA 6, jako jsou například kognitivní aktualizace verbálních a prostorových reprezentací. BA 6 je v dnešní době dále dělená na menší podjednotky. Jednou z nejdůležitějších z nich je suplementární motorická oblast (SMA). BA 6 je součástí funkčního okruhu striatum – palidum – thalamus – kůra. Dále je také BA 6 napojená na ostatní struktury které řídí nebo ovlivňují motoriku, jako jsou nucleus ruber, retikulární formace a motorická jádra kmene a míchy.

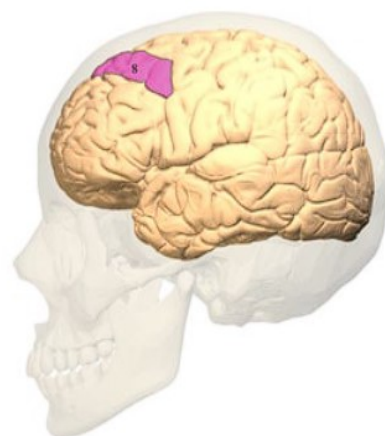
Obecně se jako hlavní funkce BA 6 označují příprava a plánování složitých volných pohybů, pohybový feedback fungující na bázi sensorického řízení pohybu. Aktivitu této zóny také můžeme pozorovat i při pouhé představě pohybu (Ardila, 2020; Bunno, 2020; Busan, 2020; Derek, 2020; Fried, 1991; Kermadi, 2000; Kim, 2020; Lemon, 2008; McNeal, 2010; Schieber, 2020; Teitti, 2008).

2.4.5 Brodmannova zóna 8

Brodmannova zóna 8 leží v zadní části gyrus frontalis medius a přímo sousedí s BA 6. Funkčně se BA 8 rozděluje na dvě podoblasti: BA 8A – frontální oční pole (frontal eye field „FEF“) a BA 8B – premotorické ušní oční pole (premotor ear eye field „PEEF“). Hlavní funkcí BA 8 je koordinace pohybů hlavy, krku a očí. Konkrétně tedy pohyb hlavy za audiovizuálním stimulem. Dále se BA 8 funkčně podílí i na paměťových procesech, nebo jazykových schopnostech (Anderson, 1994; Inoue, 2000; Vernet, 2014).



Obrázek 24 Brodmanova zóna 6 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf



Obrázek 25 Brodmanova zóna 8 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.4.6 Brodmannovy zóny 9 a 10

Arey 9 a 10 okupují oblast gyrus frontalis superior a gyrus frontalis medialis těsně před BA 8. Společně BA 9 a 10 zastupují funkce paměťového kódování (ukládání a vyhledávání). Společně se také podílejí na integraci senzorických funkcí. Díky svému funkčnímu spojení s prefrontální a cingulární kůrou se mohou podílet na regulaci a organizaci pohybu. BA 9 je zapojena do funkčních okruhů krátkodobé paměti, plynulosti verbálních projevů a pozornosti na zvukově-verbální podněty. BA 10 prokazuje aktivitu v procesech rozhodování, riskování, posuzování konfliktů a odměn, nebo také při hodnocení zápachu. Některé studie také naznačují, že BA 10 se podílí při hodnocení a zpracování kontextu bolesti (Blumenfeld, 2011; Ranganath, 2003; Peng, 2017; Pochon, 2002; Slotnick, 2006; Kübler, 2006).



Obrázek 26 Brodmanovy zóny 9 a 10 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.4.7 Brodmannova zóna 11

Brodmannova zóna 11 tvoří ventromediální hranici frontálního laloku. Tato oblast je také označována jako orbitofrontální kůra. Funkce BA 11 leží na rozmezí emocí a kognice. Podílí se na širokém spektru funkcí, jako je například kódování nových informací do dlouhodobé paměti a rozhodování. Jednou z hlavních funkcí BA 11 je predikování důsledků potenciálních akcí (Rudebeck, 2018; Ueda, 2017).



Obrázek 27 Brodmanova zóna 11 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.4.8 Brodmannovy zóny 17, 18 a 19

Primární zraková oblast (BA 17) leží vně a podél sulcus calcarinus. Na ní pak naléhají sekundární a asociační zraková oblast (BA 18 a 19). Tyto tři oblasti dohromady zajišťují veškeré zpracování vizuálních podnětů, jako jsou detekce intenzity světla, rozpoznávání vzorů a barev, prostorová orientace a sledování pohybu. Aktivaci tyto zóny prokazují i při specifických paměťových procesech zahrnující lidské tváře (Herholz, 2001; Moradi, 2003; Slotnick, 2006).

2.4.9 Brodmannova zóna 20

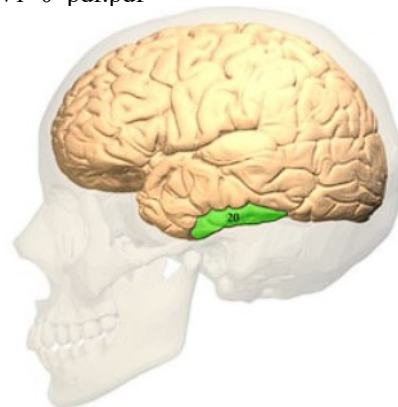
Brodmannova zóna 20 leží ve spodní části spánkového laloku. Proto také bývá často označovaná jako „inferior temporal area 20“. Funkčně participuje v jazykových, vizuálních a paměťových procesech, jako je zpracování lexiko-sémantických podnětů, porozumění sémantických nejednoznačností a metafor, produkce a porozumění řeči a vizuální fixace. (Chang, 2014; Jenson, 2012).

2.4.10 Brodmannova zóna 21

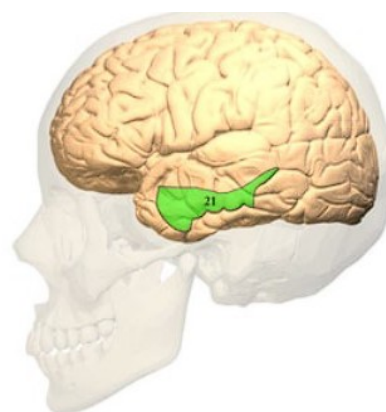
Brodmannova zóna 21 se nachází mezi sulcus temporalis inferior, gyrus temporalis inferior a gyrus temporalis superior. Podobně jako BA 20 je tato zóna označovaná dle své lokalizace jako „middle temporal area 21“. Funkčně se zapojuje do jazykových a audiovizuálních procesů. Aktivitu BA 20 pozorujeme při tvorbě slov a vět, zpracovávání významu slov či při selektivním zpracovávání textu a řeči. Dále je BA 21 aktivní při učících procesech nezatěžujících dlouhodobou paměť (Brown, 2006; Chou, 2006; Friedman, 1998; Giraud, 2004; Jenson, 2012; Rizzolatti, 1996).



Obrázek 28 Brodmanova zóna 17 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf



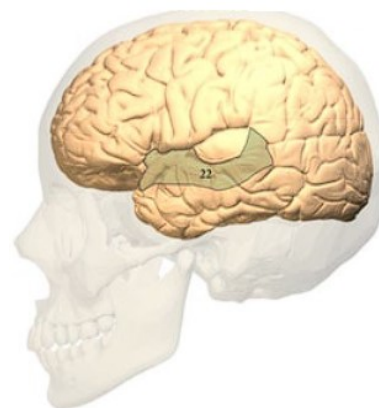
Obrázek 29 Brodmanova zóna 20 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf



Obrázek 30 Brodmanova zóna 21 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.4.11 Brodmann area 22

Obdobně jako BA 20 a 21, tak i Brodmannova zóna 22 leží v temporálním laloku a nachází se nejvýše z těchto tří, a proto je také označovaná jako „superior temporal area 22“ nebo jako „gyrus temporalis superior“. Díky své anatomické lokalizaci sdílí obdobné funkce jako BAs 20 a 21, tedy jazykové a audiovizuální, jako jsou zpracovávání významu slov a tvorba slov a vět. Jednou ze zásadních funkcí BA 22 je zpracování a extrakce smysluplných rysů z řeči (mluveného projevu). Populace neuronů v BA 22 snímají a rozeznávají všechny akusticko-fonetické rysy souhlásek a samohlásek. Tato funkce je významně modulována zkušeností.



Obrázek 31 Brodmanova zóna 22 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

Zadní část levé Brodmannovy zóny 22 – gyrus temporalis superior posterior – je součástí funkční oblasti Wernickeova centra. Wernickeovo centrum zastupuje funkci tzv. „fonologické vyhledávání/načítání“ (phonologic retrieval). Při lézi této oblasti vzniká tzv. Wernickeova afázie – obtíže s vyvoláním slov (retrieval) a vznik fonematických parafází. Nedochozí ovšem k poruše porozumění řeči (Binder, 2015; Brown, 2006; Chou, 2006; Friedman, 1998; Grves, 2008; Yi, 2019).

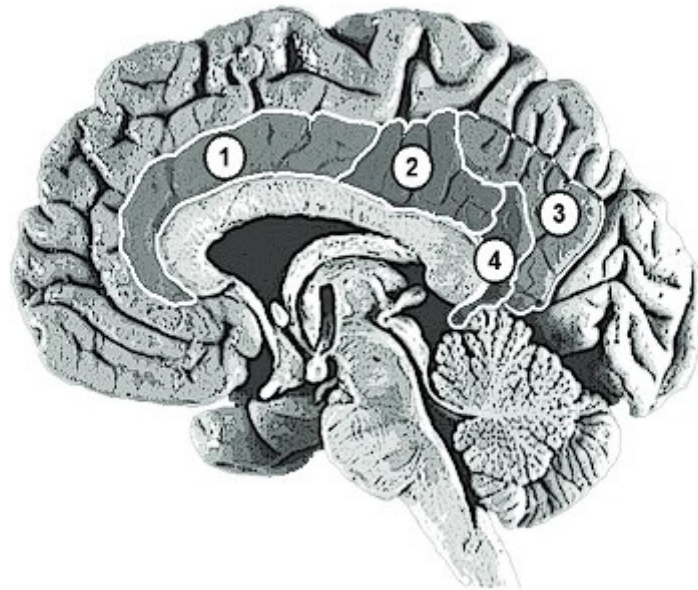
2.4.12 Brodmannovy zóny 23, 24, 26, 26, 29, 30, 31, 32 a 33

Všechny tyto zóny dohromady tvoří cingulární kůru, která je dále dělena na funkční podoblasti: cingulum anterior (BAs 24, 32 a 33), cingulum posterior ventrální část (BA 23), cingulum posterior dorsální část (BA 31) a retrosplenální cingulum (BAs 26, 29, 30). V mnoha zdrojích se také používá rozdělení pouze na přední (BAs 24, 32, 33) a zadní (23, 26, 29, 30, 31) cingulární kůru.

Celá cingulární kůra dále spadá do větší funkční nadskupiny limbického systému a tvoří část Papezova okruhu. Tím pádem částečně zastává funkci emoční reaktivity. Aferentně je cingulum spojeno s předními jádry thalamu, eferentně pak posílá signály do hypocampu, a frontálního, temporálního i okcipitálního laloku.

Cingulum anterior prokazuje aktivitu při úkonech zahrnujících kognitivní kontrolu, jako je detekce chyb, nebo udržování selektivní pozornosti či pozornosti na více úkolů naráz. Dále se tato část zapojuje v paměťových procesech, zejména při využití pracovní paměti. Zásadní je

také zapojení přední cingulární kůry během motoriky. BA 24 je součástí tzv. cingulárního premotorického pole a podílí se na plánování hybnosti.



Obrázek 32 Cingulární korová oblast – 1) Cingulum anterior: BAs 24, 33. 2) Cingulum posterior ventrální část: BA 23. 3) Cingulum posterior dorsální část: BA 31. 4) Retrosplenální cingulum: BAs 26, 29, 30 (Kozlovskiy, 2012)

Cingulum posterior se také aktivuje během paměťových procesů, zejména při využití epizodické, topografické a topokinetické paměti. Tato část se také zapojuje během rozpoznávání povědomých míst, tváří, předmětů a slov. Dále můžeme pozorovat aktivitu zadního cingula během preventivních úvah a pocitu strachu. V rámci motoriky se zadní cingulum aktivuje při učení komplexních pohybů (Apps, 2018; Botvinick, 2004; Derek, 2020; Devinsky, 1995; Kozlovskiy, 2012; Lavin, 2013; Leech, 2014; Švestková, 2017; Wang, 2019; Whitlock, 2017).

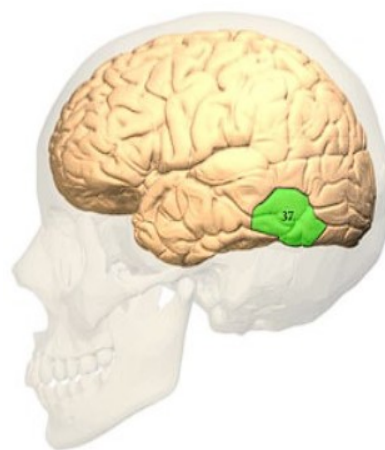
2.4.13 Brodmannovy zóny 34, 35 a 36

Brodmannovy zóny 34, 35 a 36 okupují oblasti kolem fisura rhinalis v mediální části temporálního laloku a dohromady tvoří tzv. rhinální kůru. Oblast rhinální kůry se dále dělí na entorhinální oblast (BA 34) a perirhinální oblast (BA 35 a 36). Oblasti entorhinální a perirhinální kůry tvoří zásadní spojnicí drah mezi neokortexem a hippokampální formací s amygdalou. Perirhinální kůra je aferentně spojena s cingulární a insulární kůrou a s temporálním, parietálním a okcipitálním lalokem. Tyto aference dále putují z perirhinální kůry do hippokampu skrze entorhinální kůru. Entorhinální kůra je jedním z hlavních zdrojů excitačních impulsů putujících do hippokampu.

Díky svým výrazným funkčním spojkám s okolními strukturami se rhinální kůra podílí na mnoha funkcích. Aktivitu tato oblast vykazuje například při paměťových procesech využívajících pracovní a epizodickou paměť, ukládání paměťových stop ohledně emocí, zvuků, obrazců, nebo obličejů. Kromě zapamatování nepříjemných a strašidelných emocí se tato oblast podílí na rozpoznávání emocí z obličeje. Funkčně se tyto oblasti také podílejí při navigačních schopnostech (Augustinack, 2013; Kim, 2021; Meade, 2008).

2.4.14 Brodmannova zóna 37

Brodmannova zóna 37 leží v temporálním laloku a okupuje oblast gyrus fusiformis. Funkce BA 37 je vázaná na aktivitu jiných BAs. Jednou z hlavních funkcí BA 37 je vizuální percepce a rozeznávání, a asociace vizuální percepce se slovem. Během vizuální percepce je BA 37 funkčně navázaná na aktivitu BAs 9, 45 a 46. Při asociaci vizuální percepce se slovem spolupracuje BA 37 s BAs 6, 19 a 47. BA 37 se dále podílí například na rozeznávání lidských tváří, nebo na tzv. face-name association (Ardila, 2015).



Obrázek 33 Brodmanova zóna 37 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.4.15 Brodmannova zóna 38

Brodmannova zóna 38 leží v anteriorní části temporálního laloku a díky své pozici bývá také označovaná jako temporální pól. BA 38 je na základě své funkční konektivity rozdělována na 3 (dorsální, laterální, mediální), nebo 5 (dorsální, ventromediální, mediální, anterolaterální, rostrální) částí. Tato zóna prokazuje aktivitu během vizuálního rozeznávání (povědomé obličeje, povědomé a nepovědomé stimuly, geometrické vzory). BA 38 se zapojuje při autobiografických paměťových pochodech a při rozpoznávání pravdivých vzpomínek a nepravdivých vzpomínek. Z jazykových funkcí tato zóna spolupracuje při čtení příběhů, vybavování seznamu slov nebo při snaze vybavit si příběh. Dále se tato oblast aktivuje při expresi různých emocí, nebo při pozorování emotivních scén.



Obrázek 34 Brodmanova zóna 38 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

Dysfunkce této oblasti bývá často spojovaná s výskytem neurologických a psychiatrických onemocnění, jako jsou Alzheimerova choroba, schizofrenie, určité druhy epilepsie a další (Herlin, 2021).

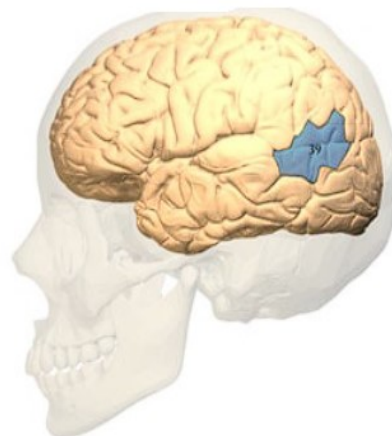
2.4.16 Brodmannova zóna 39

Brodmannova zóna 39 leží v gyrus angularis parietálního laloku a nachází se tedy na pomezí okcipitálního, temporálního a parietálního laloku. Díky své lokalizaci je BA 39 považována za důležitou „křižovatku“, která přenáší a integruje informace mezi různými modalitami a procesy dalších subsystémů. To dokazují mnohé anatomické dráhy propojující BA 39 s dalšími korovými a subkortikálními regiony.

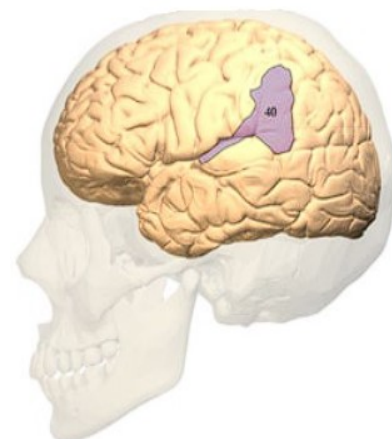
Jednou z hlavních funkcí této oblasti je sémantické zpracovávání audiovizuálních stimulů. Dále se zapojuje při chápání čteného jazyka, verbálního kódování čísel, matematických operacích, procesech přesouvání pozornosti a uvědomování si prostoru kolem sebe. BA 39 je také zásadní v procesech vyvolání vzpomínek, zejména u slovní a epizodické paměti (Seghier, 2013).

2.4.17 Brodmannova zóna 40

Brodmannova zóna 40 tvoří gyrus supramarginalis parietálního laloku. Jednou z hlavních funkcí této oblasti je fonologické zpracovávání mluveného jazyka a k tomu zároveň přiřazení mínění těchto slov. Při lézi této oblasti dochází k fonologickým poruchám, výjimečně se také vyskytuje Wernickeova afázie (porucha porozumění řeči), proto je občas BA 40 řazena do Wernickeova centra (Chou, 2006; Hartwigsen, 2010; McDermott, 2003).



Obrázek 35 Brodmanova zóna 39 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf



Obrázek 36 Brodmanova zóna 40 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.4.18 Brodmannovy zóny 41 a 42

Brodmannovy zóny 41 a 42 leží v gyri temporales transversis temporálního laloku, známé také jako Heschlovy závitky, a dohromady tvoří korové centrum sluchu. Funkcí těchto oblastí je veškeré zpracovávání zvuku. Skrze své funkční spojky tato oblast neustále monitoruje a opravuje vlastní mluvenou řeč díky obousměrné komunikaci s motorickým centrem řeči. Některé studie také naznačují roli BAs 41 a 42 v procesech pracovní paměti (Fernández, 2020; Yu, 2021).



Obrázek 37 Brodmanovy zóny 41 a 42 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_re

2.4.19 Brodmannova zóna 43

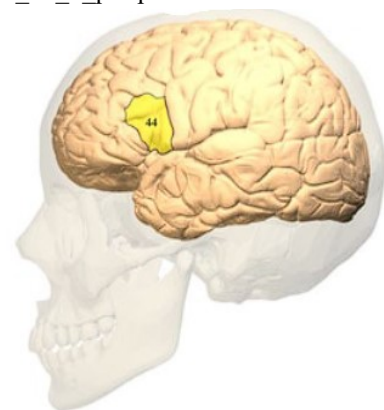
Brodmannova zóna 43 se nachází v gyrus frontalis inferior pars opercularis a je označována jako „primary gustatory cortex“, tedy centrum chuti. Tato zóna prokazuje aktivaci při percepci základních chutí, jako je sladká, slaná, kyselá a hořká. Některé studie dále naznačují, že BA 43 se podílí na funkci motorické inhibice (Chikazoe, 2019; Curley, 2018).



Obrázek 38 Brodmannova zóna 43 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.4.20 Brodmannova zóna 44

Brodmannova zóna 44 přímo sousedí s BA 43 a tedy leží v zadní části gyrus frontalis inferior pars opercularis v dominantní hemisféře. BA 44 spolu s BA 45 tvoří tzv. Brocovu oblast. Ta zodpovídá za celkovou plynulost řeči. Ačkoliv BA 44 a 45 tvoří funkční celek, každá z oblastí má odlišné funkce. BA 44 pravděpodobně zajišťuje „vyšší úroveň“ programování řeči. Vzhledem ke své úzké anatomické spojitosti s premotorickou kůrou se může funkčně podílet na motorických funkcích. Při lézi této oblasti dochází k tzv. Brocově afázii – expresivní porucha vyjadřování (Amunts, 2004; Chang, 2014).



Obrázek 39 Brodmannova zóna 44 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.4.21 Brodmannova zóna 45

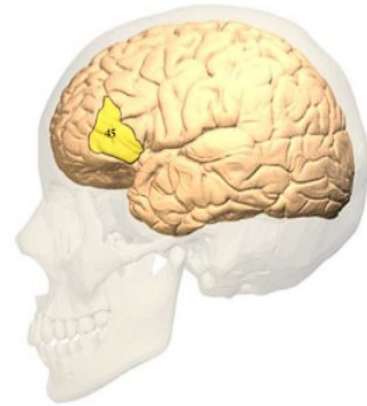
Jak již bylo výše zmíněno, BA 45 tvoří spolu s BA 44 Brocovu oblast. BA 45 se nachází v gyrus frontalis inferior pars triangularis. Na rozdíl od BA 44, BA 45 je více zapojena do sémantických aspektů jazykového zpracování – BA 45 prokazuje vyšší aktivaci (než BA 44) při testech sémantické plynulosti. Obdobně jako u BA 44, při lézi této oblasti vzniká Brocova afázie (Amunts, 2004; Chang, 2014).

2.4.22 Brodmannova zóna 46

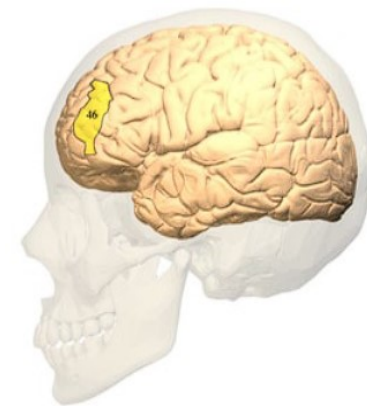
Brodmannova zóna 46 se nachází ve frontálním laloku a okupuje nejrostrálnější část gyrus frontalis inferior a střední část gyrus frontalis medialis. Spolu s BA 9 tvoří tzv. dorsolaterální prefrontální kůru. BA 46 se podílí na plánování organizaci a omezení pohybu. Aktivita této oblasti je také zřejmá při imitacích pohybu. Dále se tato oblast funkčně podílí na vyvolávání vzpomínek a při kódování epizodické paměti (Buccino, 2004; Kapur, 1994; Kübler, 2006; Rugg, 1996).

2.4.23 Brodmannova zóna 47

Brodmannova zóna 47 leží ve frontálním laloku v gyrus frontalis inferior pars orbitalis. BA 47 se zapojuje do mnoha jazykových funkcí, jako je zpracovávání a kódování významu jazyka, fonologické zpracovávání, skloňování slov a skládání vět. Dále se tato oblast podílí v paměťových procesech a to zejména při zapojování pracovní paměti a při využívání dlouhodobé epizodické paměti. V neposlední řadě se BA 47 aktivuje během deduktivního uvažování (Ardila, 2017; Kapur, 1994).



Obrázek 40 Brodmanova zóna 45 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_function



Obrázek 41 Brodmanova zóna 46 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf



Obrázek 42 Brodmanova zóna 47 (TCT, 2012). Dostupné z: https://www.transcranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf

2.5 Aktuální stav poznání a vymezení problematiky

Jak již bylo naznačeno v kapitole 2.1, Vojtova metoda reflexní lokomoce se po desítkách let používání napříč celým světem stále opírá o empirické poznatky. Nicméně s rozvojem zobrazovacích postupů se objevují první vědecké práce, které se pokoušejí objasnit mechanismy fungování této metody.

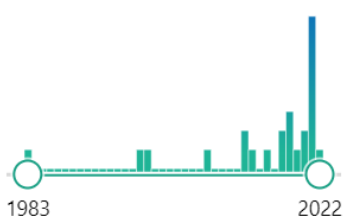
V databázi Web of Science (<https://www.webofscience.com/wos/woscc/basic-search>) za použití exaktního vyhledávání hesla „Vojta therapy“ je k dohledání 96 publikací, z toho 16 z nich neodpovídá danému tématu. Většina z těchto prací se zaměřuje na prokázání efektu Vojtovy metody v klinické praxi. Pouze 9 článků popisuje různé aspekty mechanismů fungování Vojtovy metody a to pozorováním změn v CNS za využití MRI či DTI (speciální technika MRI pro zobrazování organizace bílé hmoty mozkové), pozorováním změn tepové frekvence a srdečního tlaku, pozorováním změn na svalech využitím elektromyografie (EMG), a nebo pozorování změn v mozkové kůře využitím EEG.



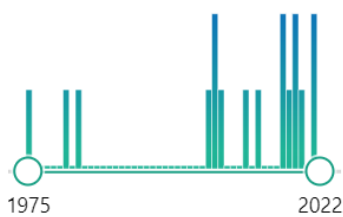
Obrázek 43 Publikace pod heslem "Vojta therapy" v databázi Web of Science a jejich rozdělení do kategorií-generováno z webu Web of Science

Při vyhledávání hesel „Vojta therapy“ a „Vojta Method“ v databázi MEDLINE skrze rozhraní PubMed je zřejmé, že počet publikací na dané téma postupně přibývá. Při zadání hesla „Vojta therapy“ (s podmínkou výskytu hesla v textu) databáze našla 23 publikací. Pod heslem „Vojta method“ databáze našla 16 publikací a při kombinaci hesel za využití indexu „OR“,

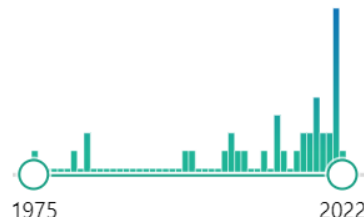
tedy vyhledání termínu Vojta therapy nebo Vojta method databáze našla 37 publikací. Roční počet publikací na dané téma sice kolísá, ale je patrný výrazný nárůst v posledních letech.



Obrázek 44 Množství publikací pod heslem "Vojta therapy" do roku 2022 v databázi PubMed



Obrázek 45 Množství publikací pod heslem "Vojta method" do roku 2022 v databázi PubMed



Obrázek 46 Množství publikací pod kombinací hesel "Vojta therapy" OR "Vojta method" do roku 2022 v databázi PubMed

Stimulací spoušťových zón dle konceptu Vojtova principu působí terapeut tlakem na jasně definované oblasti – spoušťové zóny. Při pozorování změn v CNS vzniklých důsledkem stimulace dle Vojtova principu je nutné odlišit reakce na somatosenzorický stimul. Téma odezvy CNS na různé druhy stimulů je poměrně populární, zejména kvůli odhalení a definování funkcí jednotlivých částí mozku. Existuje velké množství publikací popisujících reakce CNS na taktilní stimulaci různých částí těla. Například publikace Eickhoff a spol. (2008) a Gastl a spol. (2014) popisují reakci mozkové kůry na somatosenzorickou stimulaci obličeje. Autoři Fabri a spol. (2005), Holmes a Tamè (2019), Oh a spol. (2017), Pfanmüller a spol. (2016), a Sánchez-Panchuelo a spol. (2014) popisují reakci mozkové kůry na somatosenzorickou stimulaci horní a dolní části trupu. Eickhoff a spol. (2008) a Holmes a Tamè (2019) popisují odezvu kortexu na somatosenzorickou stimulaci rukou a dlaně. Mnoho dalších studií popisuje reakce na somatosenzorickou stimulaci na ostatních částech těla. Díky těmto publikacím je možné zřetelně odlišit reakci CNS na somatosenzorickou stimulaci od změn vyvolaných stimulací dle Vojtova principu (Akselrod, 2017; Eickhoff, 2008; Fabri, 2005; Gastl, 2014; Holmes, 2019; Oh, 2017; Pfanmüller, 2016; Sánchez-Panchuelo, 2014; Singh, 2014).

Studie zabývající se různými aspekty mechanismů Vojtovy reflexní lokomoce naznačují, k jakým změnám dochází následkem stimulace v CNS a jak se mohou manifestovat na periférii. Gajewska a spol. (2018) ve své pilotní studii popisují změny svalového napětí pomocí polyelektromyografie (pEMG) následkem stimulace dle Vojtova principu. Této studii se zúčastnilo 25 jedinců a u všech byly stimulovány stejné spoušťové zóny ze stejných výchozích poloh: stimulace ventrální plochy akromionu na záhlavní straně ramenního pletence z výchozí polohy reflexního plazení, a epicondylus medialis femoris svrchní dolní končetiny z výchozí polohy reflexního otáčení na boku. pEMG byla sledována z obou mm. deltoidei a z obou

mm. recti femoris. Výsledky studie popisují nejen změnu svalového napětí vyvolanou stimulací, ale také směr, kterým se globální svalová reakce šíří. Dále také popisují, že intenzita kontrakce vyvolaná stimulací dle Vojtova principu dosahuje zhruba 60% intenzity maximální volní svalové kontrakce (Gajewska, 2018).

Hok a spol. ve své studii z roku 2017 zkoumají aktivační změny v CNS vyvolané stimulací dle Vojtova principu (stav před stimulací vs. stav po stimulaci) v porovnání s kontrolní skupinou (stimulace oblasti, která není označená jako spoušťová zóna). Pro pozorování CNS využívají fMRI. Výzkumu se zúčastnilo 30 jedinců, u všech došlo k tlakové stimulaci z výchozí polohy vleže na břiše. U jedné skupiny proběhla stimulace pravé patní spoušťové zóny, u kontrolní skupiny došlo ke stimulaci oblasti nad kotníkem (nepravá spoušťová zóna). Výsledky prokazují, že následkem stimulace dochází k aktivačním změnám v mozgovém kmeni a mozečku ve smyslu zvýšení aktivity (Hok, 2017).

Hok a spol. se ve své další fMRI studii (2019) zaměřují na změny v CNS přímo během stimulace dle Vojtova principu. Tato studie má velmi podobný design, jako jejich studie z roku 2017. Účastnilo se jí 30 jedinců, kteří ve výchozí poloze vleže na břiše byli stimulováni buď dle konceptu Vojtova principu, nebo na nepravém stimulačním místě. Oproti kontrolní skupině, jedinci stimulováni na patní spoušťové zóně prokázali statisticky významné změny v motorické kůře, konkrétně v Brodmannových zónách BA 4 a 6 (Hok, 2019).

Publikace Opavského a spol. (2018) se zaměřuje na odhalení změn v autonomní regulaci srdeční tepové frekvence způsobených stimulací dle Vojtova principu. Ovšem tato studie neodhalila žádné statisticky významné změny (Opavský, 2018).

Sanz-Esteban a spol. (2018) ve své studii používají fMRI pro odhalení změn v CNS vyvolaných stimulací dle Vojtova principu. Tato studie má obdobný design, jako fMRI studie Hoka a spol. Tohoto výzkumu se zúčastnilo 16 jedinců, kteří byli rozděleni do dvou skupin. Jedna skupina byla stimulována na hrudní spoušťové zóně mezi 7. a 8. žebrem v mamilární linii, dle konceptu Vojtova principu. Druhá skupina byla stimulována na nepravém stimulačním místě – quadriceps femoris mimo spoušťové zóny. Tato studie odhalila aktivační změny v Brodmannových zónách 6, 21, 28, a dále v jádru bazálních ganglií putamen a v mozečku (Sanz-Esteban, 2018).

Ze zmíněných výzkumů vyplývá, že stimulací spoušťových zón dle konceptu Vojtova principu dochází ke změnám v CNS, které následně zprostředkovávají adekvátní reakci. Ovšem konkrétní oblasti mozku zajišťující tuto komunikaci a odezvu nejsou zcela objasněné. Dále výše

zmíněné studie popisují zejména změny v CNS v závislosti na stimulaci dle Vojtova principu, nicméně zůstávají výrazně limitovány. Jednou z hlavních limitací zůstává nutnost absolutního klidu při zobrazování pomocí MRI. Stimulace spoušťových zón dle Vojtova principu je zpravidla doprovázena motorickou reakcí. Aby během MRI studií nedošlo k pohybu během pořizování snímků, musely být stimulace buď pravidelně přerušovány (aby nedošlo k dostatečně velké sumaci signálů pro vyvolání pohybu), nebo musely být snímky pořizovány až po stimulaci. Z toho důvodu je zřejmou volbou využití v našem experimentu EEG, kdy měření není ovlivňováno pohybem. Dalším omezením by mohla být délka stimulace. Jak sám autor metody píše, v rámci vyvolání odpovědi na stimulaci využíváme jak prostorové, tak časové sumace. Dostatečně dlouhá doba stimulace spoušťových zón by měla být dalším zásadním parametrem po pozorování změn v CNS.

Díky EEG a metodě LORETA je nově možné velmi přesně popsat přímý efekt Vojtovy reflexní lokomoce na mozkovou kůru a tím pádem následně specifikovat efekt a využití této metody v klinické praxi. V době vzniku projektu této disertační práce a začátku získávání dat a měření experimentu jsme tento výzkum považovali za jedinečný. Nicméně je důležité zmínit, že výzkumný tým Sanz-Estebana roku 2021 publikoval článek s velmi podobným designem naší studie, tedy pozorování změn elektrické aktivity mozku během stimulace spoušťových zón dle Vojtova principu za využití metody sLORETA. Popisují změny v cingulární, premotorické a suplementární motorické kůře během osmiminutové stimulace. V našem vlastním experimentu porovnáváme změny v mozkové kůře napříč stavem před stimulací, během stimulace a několik minut po stimulaci. Tím rozšiřujeme nálezy týmu Sanz-Estebana a spol. (Martínek, 2022; Sanz-Esteban, 2021).

3. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část disertační práce se věnuje popisu experimentu, který byl představen v projektu disertační práce a následně proveden během doktorského studia.

3.1 Cíle a úkoly práce, výzkumné otázky, hypotézy

3.1.1 Cíle práce

Cílem této práce je posoudit, zda dochází během stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu ke změnám elektrické aktivity mozku v primárních a sekundárních motorických korových oblastech hodnocených pomocí sLORETA programu.

3.1.2 Úkoly práce

- Shromáždění tuzemské a zahraniční literatury na témata Vojtova principu, elektroencefalografie, metody LORETA, funkce jednotlivých Brodmannových zón a aktuálním stavu poznání v rámci ovlivnění CNS stimulací dle Vojtova principu
- Vytvoření experimentu, výběr výzkumného souboru
- Uskutečnění vlastního experimentu, získání dat
- Provedení statistické analýzy, vyhodnocení a interpretace získaných dat
- Vytvoření diskuse, konfrontace hypotéz, zhodnocení experimentu

3.1.3 Výzkumné otázky

- V1: Existují změny v elektrické aktivitě jednotlivých mozkových oblastí (Brodmannových zónách) hodnocené pomocí sLORETA programu mezi stavem před stimulací a po stimulaci hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu?
- V2: Dochází vlivem stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu ke změnám v primárních a sekundárních motorických korových oblastech?

3.1.4 Hypotézy

- H1: Předpokládám, že existuje statisticky významná diference mezi elektrickou aktivitou hodnocenou pomocí sLORETA programu v jednotlivých mozkových oblastech mezi stavem před stimulací a po stimulaci hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu.

- H2: Předpokládám, že vlivem stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu dochází ke statisticky významným změnám v primárních či sekundárních motorických korových oblastech.

4. METODIKA PRÁCE

4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Výzkumu se zúčastnilo 17 zdravých žen ve věkovém rozmezí 20–30 let (25 ± 6.4) (Tabulka č. 1). Výběr probandů byl záměrný, probandi museli splňovat následující kritéria: pro zajištění homogenity vzorku bylo zvoleno ženské pohlaví; žádná neurologická onemocnění v předchozí anamnéze; žádná aktuální zánětlivá onemocnění, či probíhající těhotenství; žádná předchozí zkušenost s Vojtovou metodou reflexní lokomoce. Lateralita probandů nebyla určena jako kritérium výběru. Dále nebylo určeno žádné kritérium týkající se citlivosti a výbavnosti ke stimulaci spoušťových zón z konceptu Vojtova principu. Senzitivita probandů nebyla před samotným experimentem testována. Všichni probandi se experimentu zúčastnili dobrovolně. Před vlastním měřením byli seznámeni s celým průběhem a s anonymním zpracováním výsledků v rámci informovaného souhlasu (Příloha č. 1). Celý experiment byl schválen a odsouhlasen Etickou komisí FTVS UK pod jednacím číslem 090/2019 (Příloha č. 2).

Tabulka 1 Parametry výzkumného souboru: Věk v letech; výška v cm; váha v kg.

Velikost souboru	Pohlaví	Věk	Výška	Váha	BMI
17	Ženy	25 ± 6.4	170 ± 15.7	64.0 ± 3.9	22.23 ± 1.9

4.2 Použité metody

Záznam signálu elektrické aktivity mozku proběhl pomocí telemetrického 32kanálového EEG přístroje Nicolet EEG wireless 32/64 Amplifier firmy Natus Neurology (USA). Vlastní EEG signál byl snímán ze skalpu skrze speciální EEG čepici (Electro-Cap). EEG čepice disponuje celkem 19 již zabudovanými registračními elektrodami (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F8, T5, T3, C3, Cz, C4, T4, T6, P3, Pz, P4, O1, O2), které jsou rozmístěny dle [systému 10-20](#) v souladu se směrnicemi IFCN (Klem, 1999). Vzorkovací frekvence byla nastavena na 512 Hz s pásmovou propustností 0,5 – 70 Hz a s impedančním odporem pod 10 k Ω . Celý experiment byl také dokumentován videozáznamem.

4.3 Měření a sběr dat

Veškeré měření a sběr dat proběhlo na FTVS UK v kineziologické laboratoři. Správnost přípravy a měření elektroencefalografem zajišťoval neurolog specialista. Podmínkou

aplikování stimulace hrudní spoušťové zóny bylo, aby byla prováděna certifikovaným terapeutem Vojtovy metody. Cílem měření bylo získání dat ze skalpového EEG během tří základních fází experimentu: klidový záznam před stimulací, záznam během stimulace a klidový záznam po stimulaci hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu. Měření elektrické aktivity mozku proběhlo u všech pacientů se zavřenýma očima pro minimalizování okulomotorických artefaktů a pro redukci vizuální aferentace. Měření klidového záznamu před stimulací (PRE CE) probíhalo 5 minut. Následně probíhalo měření elektrické aktivity mozku během stimulace hrudní spoušťové zóny (VOJTA CE) po dobu 15 minut. Na závěr proběhlo měření klidového záznamu v 1. – 5. minutě po stimulaci (POST CE).

Během celého experimentu probandi leželi v poloze vleže na zádech. Pro stimulaci byla vždy zvolena levá hrudní spoušťová zóna dle konceptu Vojtova principu, která se nachází mezi 5. – 7. žebrem v mamilární linii. Stimulace probíhala z výchozí napřímené polohy vleže na zádech s hlavou umístěnou v prodloužení osy krční páteře rotovanou 30° směrem ke stimulované straně. Horní končetiny byly uloženy volně podél těla a dolní končetiny v mírné flexi v kyčelních i kolenních kloubech podložené válcem. Během celé stimulace všech probandů nebyla pozorovaná algická reakce na stimulaci.

Před vlastním měřením proběhlo odborné nasazení EEG čepice (Electro-Cap) a aplikování vodivého gelu skrze otvory v čepici pro snížení odporu.

4.4 Analýza dat

Data získaná z experimentu byla exportovaná do programu NeuroGuide (Applied Neuroscience). V tomto programu byl elektroencefalografistou vybrán třicetisekundový bezartefaktový úsek z posledních 3 minut každé fáze měření každého probanda (PRE CE; VOJTA CE; POST CE). Tyto bezartefaktové úseky byly následně převedeny do textových souborů a načteny do sLORETA programu. Zde, za použití parametrického modelu pro multikanálová EEG data, došlo ke konverzi dat do vzájemného spektra pro všechna pásmová rozmezí, tedy pásma delta, théta, alfa (alfa-1 a alfa-2), beta (beta,1, beta-2, beta-3) a gama. Pro zobrazení dat v Talairachově atlasu došlo k převedení spektra jednotlivých frekvenčních pásem do formátu „slor“.

Statistická analýza dat proběhla ve statistickém modulu sLORETA programu. Došlo k porovnání 3 párových skupin. Při porovnávání párových skupin dochází k porovnání intraindividuálních rozdílů elektrické mozkové aktivity pro daný úsek měření všech probandů.

Ve statistické analýze byly vůči sobě porovnány všechny fáze experimentu, tedy následující stavy:

- PRE CE vs. VOJTA CE: Stav se zavřenýma očima před stimulací oproti stavu během stimulace se zavřenýma očima
- VOJTA CE vs. POST CE: Stav během stimulace se zavřenýma očima oproti stavu po stimulaci se zavřenýma očima
- PRE CE vs. POST CE: Stav se zavřenýma očima před stimulací oproti stavu po stimulaci se zavřenýma očima

Pro vyhodnocení změn elektrické aktivity mozku byl v programu sLORETA využit párový t-test s logaritmicou transformací dat s parametrem vyhlazení nastaveným na 0,5 s využitím permutační metody (Nichols, 2002) používající 5000 randomizací na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ s korelací pro opakované testování. Data se statisticky významnou diferencí byla následně zobrazena v modulu „viewer“ sLORETA programu. Zobrazení dat proběhlo ve dvoudimenzionálním zobrazení – řezy ve frontální, sagitální a transverzální rovině, i ve trojdimenzionálním zobrazení – 3D sférický model mozku, využitím Talairachova atlasu. Zobrazení dat se statisticky významnou diferencí odhaluje, v jaké konkrétní oblasti mozku (Brodmanových zónách) a v jakém frekvenčním pásmu došlo ke statisticky významné změně proudové hustoty.

5. VÝSLEDKY

Ve statistickém modulu sLORETA programu byly vůči sobě porovnány tři párové skupiny. Tabulka č. 2 znázorňuje, u kterých porovnání byla odhalena statisticky významná diference na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$.

Tabulka 2 Porovnané stavy a jejich frekvenční pásma se statisticky významnou diferencí na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$. Modrá barva znázorňuje porovnané stavy a jejich frekvenční pásma, ve kterých byla nalezena statisticky významná diference. (PRE CE – klidový stav před stimulací; VOJTA CE – stav během stimulace; POST CE – klidový stav po stimulaci).

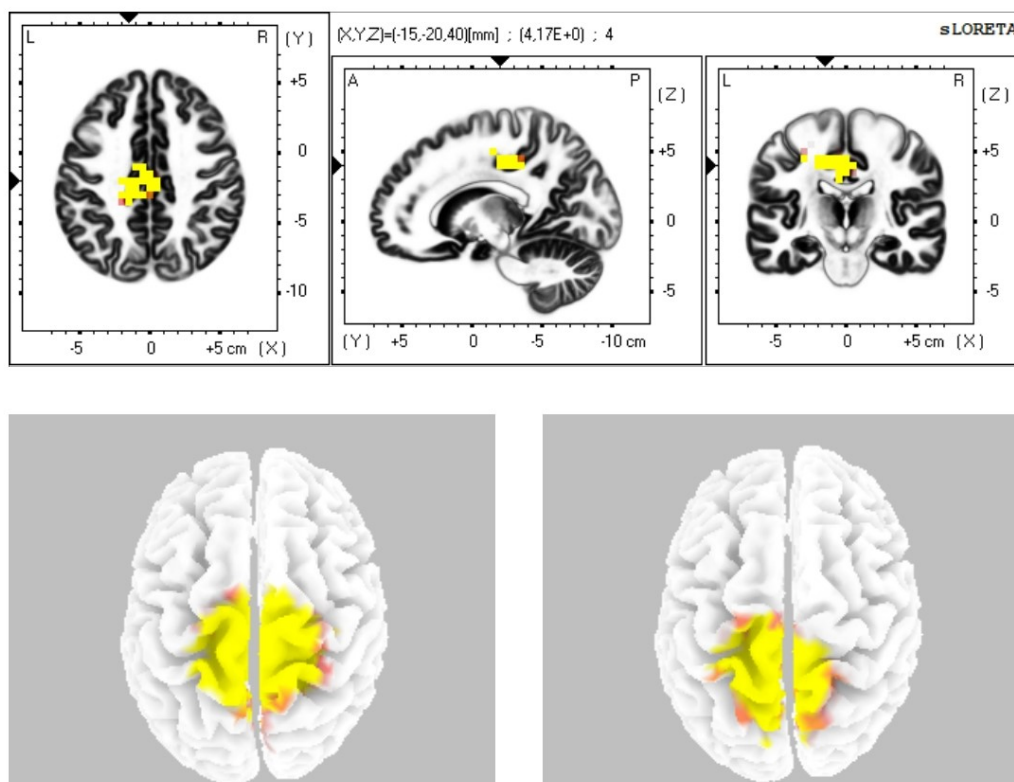
Porovnané stavy	Frekvenční pásma se statisticky významnou diferencí
PRE CE X VOJTA CE	Alfa-2, Beta-1, Beta-2
VOJTA CE X POST CE	Bez statisticky významné diference
PRE CE x POST CE	Alfa-1, Alfa-2, Beta-1, Beta-2

5.1 Stav se zavřenýma očima před stimulací (PRE CE) vs. Stav se zavřenýma očima během stimulace (VOJTA CE)

V programu sLORETA byly vůči sobě porovnány stav se zavřenýma očima před stimulací oproti stavu se zavřenýma očima během stimulace. Statistická analýza odhalila diferenci na hladině významnosti $p \leq 0,05$ ve smyslu zvýšení proudové hustoty ve třech frekvenčních pásmech (Tabulka č. 3): ve frekvenčním pásmu alfa-2 v cingulární kůře a v premotorické korové oblasti (BAs 24, 31, 23, 6); ve frekvenčním pásmu beta-1 v premotorické korové oblasti, cingulární kůře, a v sekundární senzitivní korové oblasti (BAs 6, 7, 31); ve frekvenčním pásmu beta-2 v premotorické korové oblasti a v sekundární senzitivní korové oblasti (BAs 6 a 7).

Tabulka 3 Statisticky významné Brodmannovy zóny při porovnání stavu před stimulací (PRE CE) oproti stavu během stimulace (VOJTA CE). Tabulka znázorňuje frekvenční pásma a jejich Brodmannovy zóny, u kterých došlo ke statisticky významným změnám v elektrické aktivitě mozku při porovnání stavu před stimulací se zavřenými očima oproti stavu během stimulace se zavřenými očima (PRE CE X VOJTA CE).

Frekvenční pásma	Brodmannovy zóny a jejich reprezentace dle četnosti výskytu nad 10%
Alfa-2	24, 31, 23, 6
Beta-1	6, 7, 31
Beta-2	6, 7



Obrázek 47 Statisticky významná zdrojová elektrická aktivita mozku v sLORETA zobrazení na hladině významnosti $p \leq 0,05$ pro frekvenční pásmo alfa-2 (horní obrázek), pro frekvenční pásmo beta-1 (obrázek vlevo dole), pro frekvenční pásmo beta-2 (obrázek vpravo dole)

5.2 Stav během stimulace se zavřenými očima (VOJTA CE) vs. Stav se zavřenými očima v prvních pěti minutách po stimulaci (POST CE)

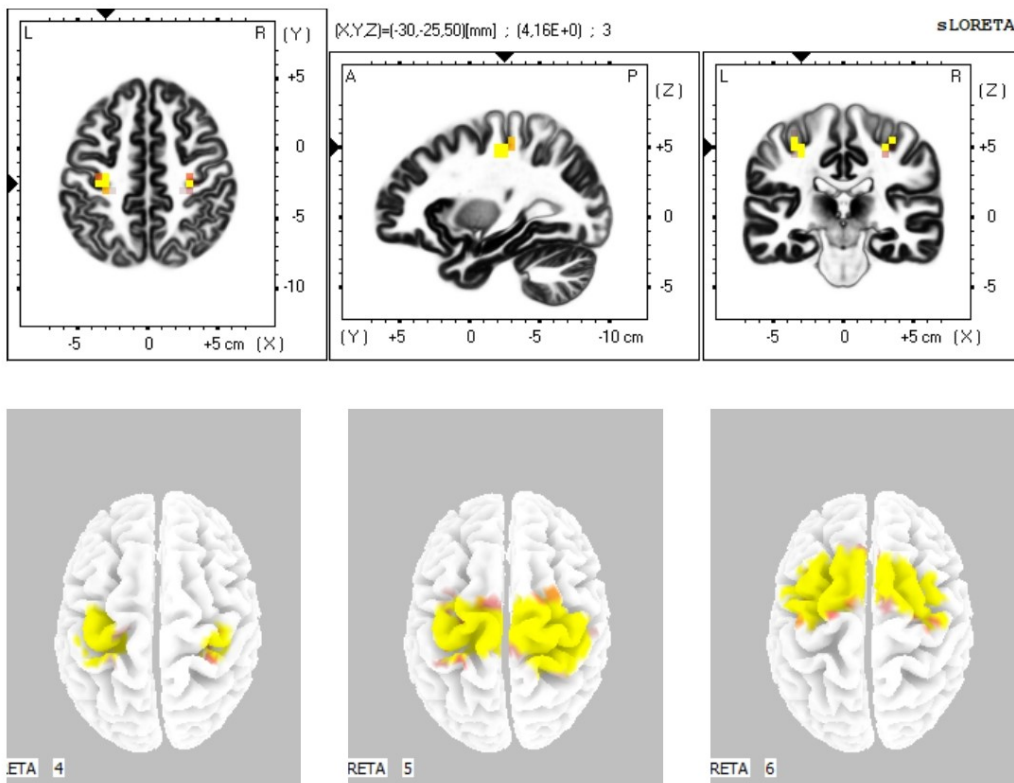
V programu sLORETA byly vůči sobě porovnány stav během stimulace se zavřenými očima oproti stavu se zavřenými očima v prvních pěti minutách po stimulaci. Statistická analýza v tomto případě neodhalila žádné difference na hladině významnosti $p \leq 0,05$.

5.3 Stav se zavřenými očima před stimulací (PRE CE) vs. Stav se zavřenými očima v prvních pěti minutách po stimulaci (POST CE)

V programu sLORETA byly vůči sobě porovnány stav se zavřenými očima před stimulací oproti stavu se zavřenými očima v prvních pěti minutách po stimulaci. Statistická analýza odhalila diferenci na hladině významnosti $p \leq 0,05$ ve smyslu zvýšení proudové hustoty ve čtyřech frekvenčních pásmech (Tabulka č. 4): ve frekvenčním pásmu alfa-1 v primární motorické korové oblasti, primární senzitivní korové oblasti a v cingulární kůře (BAs 4, 3, 24); ve frekvenčním pásmu alfa-2 v premotorické korové oblasti, primární motorické korové oblasti, primární senzitivní korové oblasti a v cingulární kůře (BAs 6, 4, 3, 24); ve frekvenčním pásmu beta-1 v premotorické korové oblasti, primární motorické korové oblasti a v primární senzitivní korové oblasti (BAs 6, 4, 3); ve frekvenčním pásmu beta-2 v premotorické korové oblasti a v primární motorické korové oblasti (BAs 6, 4).

Tabulka 4 Statisticky významné Brodmannovy zóny při porovnání stavu před stimulací (PRE CE) oproti stavu po stimulaci (POST CE). Tabulka znázorňuje frekvenční pásma a jejich Brodmannovy zóny u kterých došlo ke statisticky významným změnám v elektrické aktivitě mozku při porovnání stavu před stimulací se zavřenými očima oproti stavu se zavřenými očima v prvních pěti minutách po stimulaci (PRE CE X POST CE).

Frekvenční pásma	Brodmannovy zóny a jejich reprezentace dle četnosti výskytu nad 10%
Alfa-1	4, 3, 24
Alfa-2	6, 4, 3, 24
Beta-1	6, 4, 3
Beta-2	6, 4



Obrázek 48 Statisticky významná zdrojová elektrická aktivita mozku v sLORETA zobrazení na hladině významnosti $p \leq 0,05$ pro frekvenční pásmo alfa-1 (horní obrázek), pro frekvenční pásmo alfa-2 (obrázek vlevo dole), pro frekvenční pásmo beta-1 (obrázek dole uprostřed), pro frekvenční pásmo beta-2 (obrázek vpravo dole)

6. DISKUSE

6.1 Diskuse k hypotéze č. 1

H1: Předpokládám, že existuje statisticky významná diference mezi elektrickou aktivitou hodnocenou pomocí sLORETA programu v jednotlivých mozkových oblastech mezi stavem před stimulací a po stimulaci hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu.

První hypotézou předpokládám, že následkem stimulace dojde k vyvolání takového stavu elektrické aktivity mozku, který bude odlišný od původního stavu před stimulací. V tomto experimentu jsme vůči sobě porovnávali tři různé stavy – stav před stimulací (PRE CE), stav během stimulace (VOJTA CE), a stav po stimulaci (POST CE). Pro potvrzení H1 musí dojít ke statisticky významným změnám v elektrické aktivitě mozku alespoň v jedno z porovnávaných stavů, tedy buď při porovnání stavu před stimulací vůči stavu během stimulace (PRE CE vs. VOJTA CE), při porovnání stavu během stimulaci oproti stavu po stimulaci, (VOJTA CE vs. POST CE), nebo při porovnání stavu před stimulací oproti stavu po stimulaci (PRE CE vs. POST CE). Náš experiment tuto hypotézu potvrzuje a to ve dvou případech. Pozorujeme statisticky významné změny elektrické aktivity mozku při porovnání stavu před stimulací oproti stavu během stimulace (PRE CE vs. VOJTA CE) a při porovnání stavu před stimulací oproti stavu po stimulaci (PRE CE vs. POST CE).

Předpoklad, že stimulací hrudní zóny dle konceptu Vojtova principu dojde ke změně elektrické aktivity mozku, byl postaven na základě několika faktorů:

1) Autor metody ve svých publikacích uvádí, že každý jedinec má globální motorické vzory uložené a programované geneticky a že tyto vzory je možné specifickým stimulem vyvolat (Vojta, 1995 a 2010). Dochází-li stimulací k vyvolání globálních motorických vzorů, musí tedy zároveň docházet k aktivitě těch oblastí mozku, které tuto motorickou aktivitu zajišťují. Aktivitu těchto oblastí experimentálně prokazujeme (Martínek, 2022).

Dále, ještě před samotnou aktivací motorických oblastí, musí také docházet k aktivitě tzv. generátorů motorické odpovědi, které spouští aktivitu motorických oblastí. Za generátory motorické odpovědi jsou považovány struktury mesencephala a jeho okolí (Hok, 2017) a jejich aktivita byla pozorována během stimulace dle Vojtova principu (Esteban, 2018).

2) Předpoklad, že následkem stimulace hrudní spoušťové zóny dojde ke změně elektrické mozkové aktivity, se dále odvíjí od výsledků studií ostatních autorů, které

již byly zmíněn v kapitole [2.5](#). Gajewska a spol. (2018) ve své pilotní studii popisují změny svalového napětí za využití pEMG následkem stimulace spoušťových zón dle konceptu Vojtova principu. Svalové aktivitě/kontrakci předchází složitá kaskáda mechanismů, která fyziologicky začíná impulzem horního motorického neuronu (Brooks, 2003; Lemon, 2008). Očekáváme tedy, že když dojde stimulací spoušťových zón dle konceptu Vojtova principu k vyvolání svalové aktivity detekované pomocí pEMG, musí tedy zákonitě docházet i k aktivitě neuronů spouštějících tuto kaskádu. Studie dalších autorů (Sanz-Esteban, 2018 a 2021; Hok, 2017 a 2019) prokázaly aktivační změny v CNS následkem stimulace dle Vojtova principu využitím MRI. Tyto studie popsaly změny v CNS při pozorování stavů před a po stimulaci, tak pozorováním změn přímo během stimulace. Naším předpokladem bylo, že při využití sLORETA programu budeme také schopni pozorovat aktivační změny v CNS a to konkrétně v korových oblastech mozku a tím rozšíříme poznatky předchozích studií zejména novým přístupem – využitím EEG.

Statistická analýza získaných dat prokázala signifikantní změny při porovnání stavu PRE CE vs. VOJTA CE a při porovnání stavu PRE CE vs. POST CE a to v několika funkčních korových regionech (Tabulka č. 5): primární motorická korová oblast (M1), primární senzitivní korová oblast (S1), sekundární senzitivní korová oblast (S2), premotorická korová oblast (PM), a cingulární kůra.

Tabulka 5 Statisticky porovnané stavy a výskyt statisticky významných změn v jednotlivých funkčních regionech mozku. Modrou barvou jsou znázorněny oblasti mozku, u kterých došlo ke statisticky významným změnám. (PRE CE – klidový stav před stimulací; VOJTA CE – stav během stimulace; POST CE – klidový stav po stimulaci).

Porovnané stavy	M1	S1	S2	PM	Cingulum
PRE CE X VOJTA CE	NE	NE	ANO	ANO	ANO
PRE CE X POST CE	ANO	ANO	NE	ANO	ANO

Prokázání statisticky významných změn v motorických korových oblastech mozku diskutují v další části této kapitoly – [6.2](#). V této části se blíže zaměřuji na nemotorické korové oblasti

mozku a důvod jejich aktivace během stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu.

Při porovnání stavů PRE CE vs. VOJTA CE pozorujeme statisticky významnou změnu elektrické mozkové aktivity v nemotorických regionech S2 (BA 7) a v cingulární kůře (BAs 24, 31, 23). Změna aktivity sekundární sensorické korové oblasti v BA 7 může být způsobená vnímáním tlaku působeným během stimulace hrudní spoušťové zóny (Hofbauer, 2001; Kropf, 2018), ačkoliv mnohé studie prokázaly, že na somatosenzorickou stimulaci reagují zejména BAs 1, 2 a 3 primární sensorické kůry (Akselrod, 2017; Eickhoff, 2008; Fabri, 2005; Gastl, 2014; Holmes, 2019; Oh, 2017; Pfanmüller, 2016; Ravaja, 2017; Singh, 2014; Tamè, 2016). Aktivita sekundární sensorické korové oblasti byla také pozorována při bolestivých i nebolestivých stimulech a to zejména v případě, kdy se daný subjekt soustředí na intenzitu nebo lokaci daného stimulu (Kropf, 2018; Ploner, 1999; Yam, 2018). Dlouhotrvající, nebolestivý stimul („během celé stimulace všech probandů nebyla pozorovaná algická reakce na stimulaci“ – popsáno v kapitole [4.3](#)) vyvolaný tlakem v mezižebří během stimulace hrudní spoušťové zóny může být důvodem, proč pozorujeme tyto změny v BA 7 při porovnání stavů PRE CE vs. VOJTA CE. Soustředění probandů na tento tlak může být očekáváno, obzvláště v našem případě, kdy probandi neměli žádnou předchozí zkušenost s Vojtovou metodou. Aktivitu této oblasti bychom tedy neočekávali po ukončení stimulace, a také jsme ji neprokázali, protože při porovnání stavů PRE CE vs. POST CE – tedy rozdíl mezi stav před a po stimulaci – nedochází ke statisticky významným změnám v BA 7. Studie Kiebzaka a spol. (2021) popisuje změny hladiny kortizolu ve slinách kojenců následkem stimulace spoušťových zón dle konceptu Vojtova principu. Autoři prokazují, že koncentrace kortizolu ve slinách kojenců se zvyšuje během stimulace a po stimulaci postupně klesá. Kortizol, který je také znám jako „stresový hormon“ se podílí na regulaci krevního tlaku, metabolismu tuků, cukrů a bílkovin, protizánětlivém efektu a dalších funkcích. U kojenců je změna hladiny kortizolu spojována s narušením pocitu bezpečí. Jeden z důvodů, proč během stimulace spoušťových zón dle konceptu Vojtova principu dochází u kojenců ke krátkodobému zvýšení hladiny kortizolu, může být reakce na nepříjemný tlak vyvolaný stimulací. Tento nálezy by pak také mohl korelovat s aktivitou BA 7.

Další možností aktivace BA 7 je výrazná eferentní spojka sekundární sensorické korové oblasti se suplementární motorickou korovou oblastí (BA 6), jejíž statisticky významnou aktivitu pozorujeme právě u porovnání stavů PRE CE vs. VOJTA CE.

Další oblast, která při porovnání stavů PRE CE vs. VOJTA CE prokazuje statisticky signifikantní aktivitu je cingulární kůra (BAs 24, 31, 23). Cingulární kůra se podílí jak na motorických, tak nemotorických funkcích, proto budou její rozdílné funkce popsány v obou částech diskuse. Studium cingulární kůry se zabývalo velké množství autorů, nicméně specifické funkce této oblasti jsou stále nejisté. Přední cingulární kůra (ACC) se podle studie Hofbauera a spol. (2001), spolu s primární a sekundární sensorickou kůrou, aktivuje při určitých bolestivých stimulech. Avšak v případě našeho experimentu můžeme tento důvod pro aktivaci ACC vyloučit. Jak již bylo výše zmíněno, stimulace hrudní spoušťové zóny nevyvolává algické reakce. Botvinick a spol. (2004) navrhuje, že ACC zprostředkovává odpověď na vnitřní stav konfliktu a detekci chyb. Podobně jako u příkladu předešlé studie, ani zde nepředpokládáme, že zapojení ACC v rámci našeho experimentu by se mohlo týkat reakce na konflikt, či detekce chyb. Další často popisovanou funkcí ACC je tzv. control of attention, tedy udržování selektivní pozornosti (Van Veen, 2001). Během našeho experimentu probandi leží v poloze na zádech se zavřenýma očima a po klidové fázi experimentu (PRE CE) začíná fáze stimulace (VOJTA CE), kdy dochází k uvedení tlakové stimulace hrudní spoušťové zóny. Jedná se o stimul, který je pro probanda neznámý a originální. Vezmeme-li v potaz, že stimulovaní jedinci neznají koncept Vojtova principu, můžeme očekávat, že v danou chvíli dochází k „upření“ pozornosti právě na tento stimul. Statisticky významná aktivace ACC v tomto případě může být vyvolána právě takto uměle vyvolanou pozorností. Další funkce ACC, jako je zpracovávání emocí a paměťové okruhy, jsou v rámci našeho experimentu považovány jako nepravděpodobný důvod aktivace této oblasti (Kozlovskiy, 2012).

Zadní cingulární kůra (PCC) je považována za centrální část defaultní sítě (default mode network – DMN). Jako DMN je označována skupina oblastí mozku prokazující deaktivaci – sníženou úroveň aktivity – v momentě, kdy jsme zaměstnáni specifickým úkolem. Naopak DMN v kontrastu s ostatními regiony mozku prokazuje aktivitu v momentě, kdy se neúčastníme žádné konkrétní činnosti, tedy stavy tzv. denního snění („daydreaming“), odklon pozornosti (Raichle, 2015). Další významnou funkcí PCC je reakce na vzrušení, a interní a externí orientování pozornosti (Leech, 2014). Obdobně jako u ACC, i v tomto případě můžeme považovat stav změny pozornosti za podnět pro aktivaci PCC, kterou pozorujeme během našeho experimentu.

Při porovnání stavů PRE CE vs. POST CE pozorujeme statisticky významnou změnu elektrické mozkové aktivity v nemotorických regionech S1 (BA 3) a v cingulární kůře (BA 24). BA 3 spolu s BA 1 a 2 zprostředkovávají integraci somatosenzorických impulzů z celého těla

(Eickhoff, 2008; Fabri, 2005; Gastl, 2014; Hofbauer, 2018; Holmes, 2019; Krause, 2001; Oh, 2017; Overduin, 2004; Pfannmöller, 2016; Ploner, 1999; Yam, 2018). Jedním z možných vysvětlení, proč pozorujeme aktivitu BA 3 po ukončení stimulace, může být integrace vjemu tlaku, který trval několik minut a náhle skončil. Další příčinou aktivace S1 může být důvod, že se tato oblast také podílí na organizaci určitých pohybů. Vzhledem k tomu, že primární senzitivní korová oblast monitoruje změny na těle v průběhu pohybu díky své propioceptivní aferentaci, jednou z možností aktivace může být propioceptivní feedback vyvolaný pohybem/změnou polohy během stimulace. Tyto motorické změny přetrvávají několik minut po stimulaci a tedy i po stimulaci může docházet k propioceptivní aferentaci do této oblasti.

Aktivitu přední cingulární kůry (BA 24) můžeme pozorovat, stejně jako u porovnání stavů PRE CE vs. VOJTA CE, z důvodu tzv. control of attention. Po několikaminutové stimulaci hrudní spoušťové zóny, která je velmi často doprovázená motorickou a vegetativní reakcí, je stimulace ukončena. Dochází tedy ke změně, kdy (ačkoliv již nedochází ke stimulaci) procesy vyvolané stimulací nadále mohou probíhat s postupně ubývajícím tendencí až do úplného zastavení. Může tedy docházet ke změně selektivní pozornosti, která by mohla odůvodnit statisticky významnou aktivitu v BA 24.

V rámci našeho experimentu prokazujeme změny elektrické aktivity motorických i nemotorických korových oblastí mozku vyvolané stimulací spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu. Jako stimulační oblast byla zvolena hrudní spoušťová zóna, nacházející se v mamilární linii mezi 5. – 7. žebrem. Avšak stimulačních/spoušťových zón existuje více (Vojta, 1995 a 2010) a je důležité si položit otázku, zda stimulací jiné spoušťové zóny by došlo k vyvolání stejné odpovědi v CNS? Hok a spol. (2017 a 2019) v obou svých fMRI studiích hodnotících efekt stimulace na CNS využívá patní spoušťovou zónu z konceptu Vojtova principu. Jejich studie z roku 2017 porovnává změny mezi stavem před stimulací oproti stavu po stimulaci a popisují zvýšení aktivity v mozkovém kmeni a mozečku. Ve studii z roku 2019 se zaměřují na změny vyvolané během stimulace, kde popisují aktivitu v motorické kůře, konkrétně v Brodmannových zónách 4 a 6. Výsledky naší práce není možné přímo porovnávat se studiemi Hok a spol. (2017 a 2019), protože v našem experimentu využíváme pro pozorování změn v CNS EEG a program sLROETA a tudíž naše nálezy jsou vázány pouze na korové oblasti mozku. Nicméně, v případě studie Hok a spol. (2019) můžeme říci, že dochází k vyvolání obdobných změn, které pozorujeme i v naší práci. Hok a spol. prokazují aktivaci primární motorické kůry (BA 4) a premotorické korové oblasti (BA 6) během stimulace. V našem experimentu také prokazujeme aktivaci premotorické kůry během

stimulace. Dále však pozorujeme aktivaci cingulární kůry a sekundární senzorycké kůry. Rozdíly výsledků studií můžeme přičíst několika faktorům. V první řadě, studie Hoka a spol. (2017 a 2019) využívají fMRI a hodnotí odlišnosti na základě hemodynamických změn. Naše studie naopak hodnotí změny v proudové hustotě, a tedy dochází k popisům odlišných modalit. Dále v naší studii dochází ke stimulaci spoušťové zóny, která trvá nepřetržitě a může tak indukovat výraznější odpověď. Hok a spol. (2017 a 2019) používají metodu blokové stimulace, kde se střídají bloky stimulace a klidu, kdy každý blok trvá 15 sekund ve studii Hok a spol. 2017, a 30 sekund ve studii Hok a spol. 2019. Těchto bloků je dohromady dvanáct. Tuto metodu využívají pro umožnění modelování rozšířené hemodynamické odpovědi (Dale, 1999). V neposlední řadě, rozdíly výsledků našich studií mohou být způsobeny odlišnou stimulační zónou. Studie autorů Sanz-Esteban a spol. (2018) také pozoruje změny v CNS vyvolané stimulací dle Vojtova principu pomocí fMRI. Na rozdíl od studií Hoka a spol. (2017 a 2019) používají jako stimulační oblast trupovou spoušťovou zónu mezi 7. a 8. žebrem, stejně jako v našem experimentu. Výsledkem experimentu je pozorování aktivačních změn v BAs 6, 21, 28 a dále v jádru bazálních ganglií putamen a v mozečku. Srovnání výsledků naší studie s výsledky studie týmu Sanz-Estebana a spol. (2018) je obtížné ze stejných důvodů, jako při srovnávání se studii Hoka a spol. (2017 a 2019). Nicméně, když se zaměříme na výsledky detekované v mozkové kůře, tak pozorujeme similaritu v aktivitě BA 6, kterou potvrzuje studie jak Hoka a spol. (2019), tak studie Sanz-Estebana a spol. (2018) i naše studie. Další studie týmu Sanz-Estebana a spol. (2021) hodnotí změny vyvolané stimulací dle konceptu Vojtova principu pomocí EEG stejně, jako naše studie. Jako stimulační oblast znovu využívají trupovou spoušťovou zónu mezi 7. a 8. žebrem. Jejich výsledky znovu prokazují aktivaci BA 6. Předpokládáme, že změny v CNS vyvolané stimulací dle konceptu Vojtova principu by měly být obdobného charakteru, nehlédě na oblast zvolené stimulační zóny. Jak ve své knize popisuje autor metody (Vojta, 2010), stimulací jakékoliv spoušťové zóny dochází k odezvě (nejen) pohybového aparátu a tudíž zákonitě musíme očekávat adekvátní aktivační reakci v těch oblastech mozku, které tuto reakci zprostředkovávají. Tuto motorickou odezvu například prokazuje studie Gajewské a spol. (2018) pomocí pEMG, kde popisují změny svalového napětí při stimulaci ventrální plochy akromionu na záhlavní straně ramenního pletence z výchozí polohy reflexního plazení, a epicondylus medialis femoris svrchní dolní končetiny z výchozí polohy reflexního otáčení na boku. Předpokládáme tedy, že pro potvrzení H1 (předpokládám, že existuje statisticky významná diference mezi elektrickou aktivitou hodnocenou pomocí sLORETA programu v jednotlivých mozkových oblastech mezi stavem před stimulací a po stimulaci hrudní spoušťové zóny dle

konceptu Vojtova principu) by bylo možné využít i jiné spoušťové zóny, jak naznačují výše zmíněné studie.

6.2 Diskuse k hypotéze č. 2

H2: Předpokládám, že vlivem stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu dochází ke statisticky významným změnám v primárních či sekundárních motorických korových oblastech.

V této hypotéze předpokládám, že následkem stimulace dojde k vyvolání změn elektrické aktivity mozku v oblastech (Brodmannových zónách), které zastupují motorické funkce. Náš experiment tuto hypotézu potvrzuje ve dvou případech: při porovnání stavu před stimulací oproti stavu během stimulace (PRE CE vs. VOJTA CE) a při porovnání stavu před stimulací oproti stavu po stimulaci (PRE CE vs. POST CE). V obou případech dochází ke statisticky významným změnám v primárních či sekundárních motorických korových oblastech (Tabulka č. 6).

Tabulka 6 Statisticky významné diference jednotlivých fází experimentu a jejich Brodmannovy zóny. Tabulka znázorňuje, v jakých mozkových oblastech a Brodmannových zónách došlo ke statisticky významným výsledkům. Modře jsou zvýrazněny primární a sekundární motorické oblasti kůry.

Fáze experimentu	Oblasti mozku	Brodmannovy zóny
PRE CE vs. VOJTA CE	Cingulární kůra	24, 31, 23
	PM a SMA	6
	S1	X
	S2	7
	M1	X
PRE CE vs. POST CE	Cingulární kůra	24
	PM a SMA	6
	S1	3
	S2	X

	M1	4
--	----	---

Při statistickém porovnání stavů před stimulací a během stimulace (PRE CE vs. VOJTA CE) pozorujeme statisticky významné difference v sekundárních motorických oblastech kůry, konkrétně v cingulární kůře (BA 24) a v premotorické kůře (BA 6). Cingulární kůra je cytoarchitektonicky členitá struktura a podílí se na mnoha funkcích (Apps, 2018; Botvinick, 2004; Derek, 2020; Devinsky, 1995; Kozlovskiy, 2012; Lavin, 2013; Leech, 2014; Švestková, 2017; Wang, 2019; Whitlock, 2017). Často je tato oblast označovaná za centrum pozornosti a konfliktu. Dále je tato oblast spojována s motorickými funkcemi mozku a to zejména přední cingulum – ACC, do kterého spadají BAs 24, 32 a 33. BA 24 předního cingula je součástí tzv. cingulárního premotorického pole a zastupuje obdobné funkce jako premotorická kůra (BA 6). Motorickou funkci cingulárního premotorického pole z části reprezentují vlákna kortikospinální dráhy, které zde v malém počtu také začínají (Dum, 1991; Wang, 2019). Funkčně se tedy podílí na přípravě, plánování a regulaci pohybu. Můžeme tedy předpokládat, že aktivita BA 24 vyvolaná stimulací (PRE CE vs VOJTA CE) naznačuje proces plánování motorické reakce na stimulaci spouštěvé zóny, nebo přímou regulaci vyvolaného pohybu.

Další motorická oblast prokazující statisticky významnou aktivitu při porovnání stavu před stimulací a stavu během stimulace, je premotorická kůra – BA 6. BA 6 je jednou z největších Brodmannových zón a její funkce byly zkoumány napříč mnoha studii (Bunno, 2020; Busan, 2020; Derek, 2020; Fried, 1991; Kermadi, 2000; Kim, 2020; Lemon, 2008; McNeal, 2010; Schieber, 2020; Teitti, 2008). BA 6 v sobě také zahrnuje další motorickou podoblast a to suplementární motorickou zónu (SMA), která se podílí na programování a plánování volního pohybu (Ardila, 2020). Aktivita BA 6 byla prokázána již při představě pohybu (Bunno, 2020; Busan, 2020; Derek, 2020). Tedy pro pozorování aktivity této oblasti nemusí docházet k přímému pohybu. Tato možnost může souviset s faktem, že ne u každého z probandů byla vyvolána motorická reakce na stimulaci, ale přesto pozoruje statisticky významnou diferenci v BA 6. Je tedy možné, že při stimulaci dle Vojtova principu zprvu dochází k plánování pohybové dopovědi, která se ne vždy musí manifestovat motorickou reakcí. To dále podporuje myšlenku, že dominantní funkcí BA 6 je právě plánování a příprava pohybu. Nicméně elektrickou stimulací této oblasti dochází k aktivitě hrubé motoriky s komplexním synergickým charakterem (Caruana, 2018; Friedn, 1991; Švestková, 2017). Tento motorický projev je vázaný zejména na aktivitu kortikospinální dráhy. Ačkoliv

kortikospinální dráha je doménou zejména primární motorické kůry, část tohoto traktu začíná také v BA 6 a je tedy částečně zodpovědná i za hrubou motoriku. Tento fakt je zásadní z pohledu neuroplasticity mozku a možné rehabilitace u onemocnění těchto oblastí. Je tedy zřejmé, že kromě přípravy a plánování hybnosti, BA 6 se také (do určité míry) podílí na exekuci motoriky. Elektrickou stimulací SMA jsou vyvolány rytmické rotační pohyby končetin a také komplexní pohyby (Caruana, 2018; Friedn, 1991; Švestková, 2017). Charakter pohybové odpovědi SMA vyvolané elektrickou stimulací naznačuje, že funkce SMA je spíše v oblasti jemné motoriky, která „nasedá“ až na předchozí připravenou polohu zprostředkovanou hrubou motorikou. Při pohybové reakci vyvolané během stimulace spoušťových zón pozorujeme nejen využití hrubé motoriky – nastavení stabilní polohy kořenových a osových kloubů, ale také utilizaci motoriky jemné, jako je pronace, supinace, dukce v zápěstí a otvírání dlaně a ruky. Předpokládáme, že statisticky významná aktivita BA 6 při porovnání stavu před stimulací oproti stavu během stimulace, je důsledkem přípravy a plánování motorické odpovědi v reakci na stimulaci spoušťové zóny.

Při statistickém porovnání stavů před stimulací a po stimulaci (PRE CE vs POST CE 1) pozorujeme statisticky významné difference v primárních i sekundárních motorických korových oblastech. Ze sekundárních motorických oblastí to jsou cingulární premotorické pole (BA 24) a sekundární motorická korová oblast (BA 6). Dále pozorujeme aktivitu primární motorické kůry (BA 4). Statisticky významnou diferencí BAs 24 a 6 jsme pozorovali i při porovnání stavů před stimulací a během stimulace. Jak již bylo výše popsáno, obě tyto oblasti se podílejí na plánování a přípravě hybnosti. Můžeme tedy předpokládat, že se jedná o stejný důvod, proč pozorujeme statisticky významnou aktivitu těchto oblastí v této fázi experimentu. Obě tyto oblasti také disponují určitým množstvím vláken kortikospinální dráhy. Další možností tedy je, že původně plánovaný pohyb je v pozdější fázi experimentu v exekutivní fázi a tyto oblasti se na jeho exekuci a kontrole podílejí.

Primární motorická korová oblast (BA 4) je hlavní centrum volní motoriky a její dominantní funkcí je exekuce motorických funkcí. BA 4 zprostředkovává motorické funkce skrze kortikospinální dráhu. Pohyby, které BA 4 vyvolává, jsou tedy charakteru hrubé motoriky, jak prokazují výzkumy demonstrující efekt elektrické stimulace této oblasti. Při elektrické stimulaci BA 4 dochází ke komplexní pohybové odpovědi – pozorujeme větší motorické synergie, které pak slouží jako výchozí poloha pro jemnou motoriku (Carson, 2021; Kapreli, 2006; Lotze, 2000; Sanes, 2000; Sánchez-Panchuelo, 2014; Schellekens, 2018; Schieber, 2001; Schieber, 2020; Švestková, 2017). Předpokládáme, že statisticky významná

diference BA 4 při porovnání stavu před stimulací oproti stavu po stimulaci reprezentuje iniciaci motorické odpovědi na stimulaci, nebo alespoň tendenci k motorické odpovědi, která se nemusí přímo manifestovat viditelnou motorickou reakcí.

Když zhodnotíme výsledky všech statisticky významných změn v elektrické aktivitě mozku (PRE CE vs. VOJTA CE; PRE CE vs. POST CE) a zasadíme je do časové osy, můžeme pozorovat postupný vývoj změn v CNS v rámci jednotlivých fází experimentu (Tabulka č. 7).

Tabulka 7 Vývoj změn statisticky významných Brodmannových zón v jednotlivých fázích experimentu. Tabulka znázorňuje, jak se měnil výskyt statisticky významných Brodmannových zón v jednotlivých fázích experimentu. Zeleně je znázorněna časově dřívější fáze (PRE vs VOJTA) a modře pozdější fáze (PRE vs POST). Znak „X“ určuje oblasti, kde nedošlo ke statisticky významné diferenci.

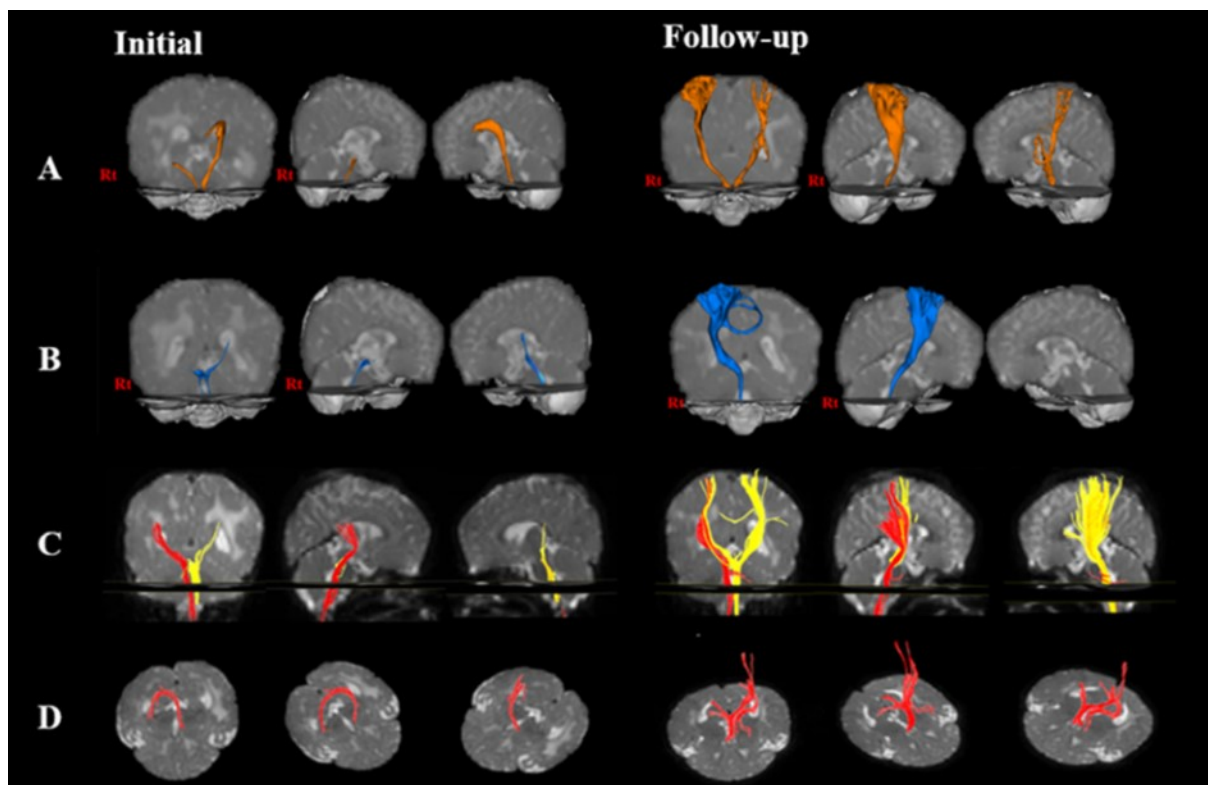
Fáze experimentu →	PRE vs VOJTA		PRE vs POST
Korové oblasti ↓	Brodmannovy zóny	→	Brodmannovy zóny
Cingulární kůra	24, 31, 23		24
PM a SM	6		6
S1	X	→	3
S2	7		X
M1	X		4

V cingulární kůře pozorujeme redukci aktivity BAs 31 a 23 v postupném časovém sledu. Na druhou stranu, statisticky významná diference v BA 24 přetrvává napříč oběma fázemi. Na základě výše popsaných funkcí těchto oblastí předpokládáme, že redukce aktivity v zadním cingulu (PCC), BAs 31 a 23, může být způsobena orientací pozornosti (Leech, 2004). Během stimulace (PRE CE vs VOJTA CE) dochází k dlouho trvajícím tlakům na hrudní spoušťovou zónu. Proband, který nemá zkušenosti s Vojtovou metodou, neví, co může očekávat, a tedy předpokládáme aktivitu těchto oblastí v následku zaměření orientace na talkový stimul. Po ukončení fáze stimulace (PRE CE vs POST CE) již není pozornost zaměřena na tlakový stimul a tudíž může docházet k vymizení aktivity v těchto oblastech. Ačkoliv BA 24 předního cingula

(ACC) také zastává funkci orientace pozornosti, tak předpokládáme, že v tomto případě spíše reprezentuje svou jinou funkci, a to motorickou. BA 24 tvoří část premotorického cingulárního pole a podílí se na přípravě, plánování a z části i exekuci pohybu (Botvinick, 2004; Derek, 2020; Dum, 1991; Devinsky, 1995; Švestková, 2017). Předpokládáme, že aktivace BA 24 v dřívější fázi experimentu (PRE CE vs VOJTA CE) zastupuje funkci přípravy a plánování motorické odpovědi na stimulaci hrudní spoušťové zóny. Vzhledem k tomu, že tato oblast disponuje částí kortikospinálních neuronů, může se tedy podílet i na finální exekuci pohybu, kterou může zastupovat aktivita této oblasti v pozdější fázi experimentu (PRE CE vs POST CE). Obdobně, jako ACC, tak i premotorická a suplementární motorická oblast (BA 6) udržují statisticky významnou diferenci v obou fázích experimentu. Zde také předpokládáme, jako u BA 24, že aktivita BA 6 ve fázi PRE CE vs VOJTA CE je způsobena přípravou a plánováním hybné odpovědi a přetrvávající aktivita do fáze PRE CE vs POST CE může nadále znamenat plánování, či regulaci pohybu, anebo, díky původu vláken kortikospinální dráhy, může tato aktivita reprezentovat exekuci dříve plánované motorické odpovědi. Předpoklad, že oblasti BA 24 a BA 6 v dřívější fázi experimentu zastupují funkci plánování a přípravu pohybu, a v pozdější fázi reprezentují jeho exekuci, vychází z aktivity primární motorické korové oblasti (BA 4). Tato oblast v dřívější fázi experimentu neprokázala statisticky významnou diferenci. Její aktivitu pozorujeme právě až v pozdější fázi experimentu (PRE CE vs POST CE) a tudíž předpokládáme, že aktivita této oblasti reprezentuje exekuci motorické odpovědi na stimulaci hrudní spoušťové zóny. Zároveň také předpokládáme, že exekuci motorické odpovědi by měla zpravidla předcházet přípravná fáze, tedy aktivita premotorických a sekundárních motorických korových oblastí (BAs 24 a 6) v předchozí fázi experimentu (PRE CE vs VOJTA CE). Jinými slovy předpokládáme, že brzká stimulace dle konceptu Vojtova principu ovlivňuje hlavně premotorické korové oblasti, které plánují a připravují pohyb. Až následně můžeme pozorovat změny v primární motorické kůře, která vyvolává motorický projev stimulace, který se může manifestovat jako svalové fascikulace/záškuby, nebo jako pohyb v popsáných pohybových vzorcích (Huber, 2020; Schellekens, 2018; Vojta, 2010). Tyto změny na svalovém aparátu mohou být pozorovány po ukončení stimulace, například ve smyslu zvýšení svalového napětí, jak popsal autor metody Václav Vojta (Vojta, 1995 a 2010) a experimentálně prokázali Gajewska a spol. (2018). Další oblasti, u kterých pozorujeme změnu napříč fázemi experimentu, jsou primární a sekundární sensorické korové oblasti (BAs 3 a 7). V dřívější fázi experimentu prokazujeme statisticky významnou aktivitu BA 7, následně v pozdější fázi experimentu BA 7 aktivní není, ale pozorujeme statisticky významnou aktivitu BA 3. Předpokládáme, že statisticky významná aktivita BA 7

během fáze experimentu PRE CE vs VOJTA CE je vyvolaná tlakem během stimulace hrudní spoušťové zóny, jak je zmíněno v první části diskuse, a pravděpodobně proto nepozorujeme statisticky významnou aktivitu této oblasti v pozdější fázi experimentu, kde již k tlakové stimulaci nedochází. V předchozí části diskuse také zmiňuji, že aktivita BA 7 může být způsobená eferentní spojkou této oblasti se suplementární motorickou korovou oblastí (BA 6), jejíž statisticky významnou aktivitu pozorujeme právě u porovnání stavů PRE CE vs. VOJTA CE. V takovém případě bychom ale neregistrovali reakci CNS na somatosenzorický stimul vyvolaný tlakem, na který primární či sekundární senzorká kůra zpravidla reaguje a proto nepředpokládáme, že daná eferentní spojka je důvodem aktivace této oblasti. U oblasti BA 3, která zastupuje funkci vnímání a integrace somatosenzorických impulzů, pozorujeme výskyt až ve fázi PRE CE vs. POST CE, kde již nedochází k žádné stimulaci. Předpokládáme, že se jedná o aktivitu vyvolanou zpětnovazebným systémem „feedback“ pramenící z kloubních receptorů, které se aktivují jak při pohybu, tak při změně svalového napětí. Nepřímým důkazem aktivity svalů a tedy i aktivity zpětnovazebného systému je statisticky významná diference v primární motorické kůře BA 4 v pozdní fázi experimentu (PRE CE vs POST CE) (Akselrod, 2017; Eickhoff, 2008; Fabri, 2005; Gastl, 2014; Holmes, 2019; Hofbauer, 2001; Kropf, 2018; Oh, 2017; Pfanmüller, 2016; Ploner, 1999; Ravaja, 2017; Singh, 2014; Tamè, 2016; Yam, 2018).

Jak již bylo v této práci naznačeno a jak také popisujeme ve vlastní publikaci (Martínek, 2022), většina studií zabývajících se Vojtovou metodou se soustředí na prokázání efektu v klinické praxi, či na efektivitu této metody. Ha a Sung (2021) prokazují rozvoj neuronálních drah zapojených do motorických funkcí (pyramidové a extrapyramidové dráhy) u jedince s opožděným vývojem a hypotonií použitím DTI (Obrázek č. 49). Prokázání rozvoje motorických neuronálních drah koreluje s výsledky našeho experimentu. Oblasti kůry reprezentující počátek pyramidových a extrapyramidových drah jsou například primární motorická oblast (BA 4) a sekundární a suplementární motorické oblasti (BA 6 a 24) (Bunno, 2020; Busan, 2020; Caruana, 2018; Carson, 2021; Derek, 2020; Fried, 1991; Kapreli, 2006; Lotze, 2000; Sanes, 2000; Sanches-Panchuelo, 2014; Schellekens, 2018; Schieber, 2001; Schieber, 2020; Švestková, 2017). Námi prokázané aktivační změny v těchto oblastech tak podporují nálezy této práce. Tato studie (Ha a Sung, 2021) tak naznačuje možné využití Vojtovy metody v neurorehabilitaci podpořením neuroplasticity CNS, ačkoliv pouze u jednoho probanda.



Obrázek 49 Změny neuronálních drah skrze DTI před terapiemi (Initial) a po 8 měsících terapií využívajících Vojtovu metodu (Follow-up). Převzato z (Ha, 2021)

Studie týmu De-La-Barrera-Arnada a spol. (2021) také potvrzuje podporu neuroplasticity mozku využitím Vojtovy metody. Ve své práci popisují efekt Vojtovy metody u jedinců s periventrikulární leukomalácií. Po 11 měsících pravidelné stimulace dle Vojtova principu došlo u všech probandů ke klinicky signifikantnímu rozvoji hodnoceném testy Bayley Scales of Infant a Toddler Development and Denver 1. Ke klinicky signifikantnímu rozvoji by nemohlo dojít, kdyby zároveň nedocházelo k obnovení, či vytvoření nových neuronálních spojů a drah. Nastartování a podpoření těchto neuroplastických procesů bylo vyvoláno právě Vojtovou metodou, jak sami autoři ve své práci popisují. Další studie, která prokazuje facilitaci neuroplastických dějů, je práce týmu Epple a spol. (2020). Tato studie popisuje efekt Vojtovy metody u jedinců postižených cévní mozkovou příhodou (CMP), konkrétně efekt velmi brzké intervence, kdy k prvnímu použití Vojtovy metody došlo již do 72 hodin od akutní CMP. Práce porovnává Vojtovu metodu oproti tradičním rehabilitačním přístupům a prokazuje statisticky významné zlepšení v testech hodnotících poškození mrtvící, v testech hodnotící stabilitu trupu a v testech hodnotící funkci horní končetiny po CMP, po využití Vojtovy metody. Tato práce také nepřímou potvrzuje výsledky naší studie. U CMP dochází k motorickým deficitům následkem zakrvácení, nebo ischemie motorických oblastí mozku. Jak prokazujeme naším experimentem, stimulací spouštěvacích zón dle konceptu Vojtova principu dochází k aktivitě

primárních a sekundárních motorických oblastí kůry. Prokázáním zlepšení motorických funkcí u jedince po CMP tak zároveň Epple a spol. (2020) také prokazují, že dochází k znovuzapojení těchto oblastí do své funkce, nebo že dochází k vytvoření nových neuronálních spojů kompenzující funkci původních motorických drah. Studie týmu Lopez a spol. (2021) také porovnává efekt Vojtovy metody s běžnými rehabilitačními přístupy, tentokrát u jedinců diagnostikovaných sclerosis multiplex. Ve svém experimentu prokazují, že pacienti, kteří podstupovali terapii Vojtovou metodou, dosahují statisticky významného zlepšení v testech hodnotících balanční schopnosti u každodenních činností hodnocených pomocí the Berg Balance scale, the 10 m walk a the tandem test, oproti jedincům, kteří podstoupili tradiční rehabilitaci. Obdobně jako u předchozích studií, i zde můžeme pozitivní výsledek přisuzovat neuroplastickým pochodům facilitovaným Vojtovou metodou.

Prokázáním vlivu Vojtovy metody na jednotlivé korové oblasti mozku (Martínek, 2022) nám umožňuje cíleně aplikovat tuto metodu v praxi u onemocnění postihující motorická centra, ať se jedná o onemocnění vrozená, či získaná. Výsledky této práce naznačují možnosti využití Vojtovy metody v neurorehabilitaci tím, že prokazují aktivační změny v korových oblastech zajišťující přípravu a plánování pohybu, a exekuci pohybu. Tímto způsobem by mohla být Vojtova metoda reflexní lokomoce integrovaná mezi standardní rehabilitační přístupy na poli neurorehabilitace u onemocnění postihující motorická centra.

Dále, pro standardizaci této metody je potřeba určit minimální délku trvání stimulace nutnou k vyvolání klinicky relevantních změn v korových oblastech mozku. Bohužel, i v tomto ohledu Vojtova metoda reflexní lokomoce spoléhá pouze na empirii, tedy autoři metody neurčili časový interval potřebný k dosažení relevantních změn. V našem experimentu jsme se rozhodli pro 15 minut trvající stimulaci hrudní spoušťové zóny, abychom zajistili získání dostatečného množství dat pro statistickou analýzu. Nicméně délka stimulace spoušťových zón se v jednotlivých studiích liší (De-La-Barrera-Aranda, 2021; Epple, 2020; Ha, 2021a; Ha, 2021b; Hok, 2017 a 2019; Lopez, 2021; Sanz-Esteban, 2018 a 2021). Studie Sanz-Estebana a spol. (2021), která má obdobný design jako náš experiment, prokazuje statisticky významné změny v cingulární kůře a v premotorické a suplementární motorické kůře, následkem 8 minut trvající stimulace spoušťové zóny. Tato studie dále prokazuje, že některé ze statisticky významných vyvolaných změn v korových oblastech mozku přetrvávají jednu minutu po ukončení stimulace. Výsledky našeho experimentu rozšiřují nálezy týmu Sanz-Esteban a spol. Naše 15 minut trvající stimulace vedle k velmi podobným odezvám v korových oblastech

mozku. Dále také prokazujeme, že změny vyvolané stimulací přetrvávají jako statisticky významné minimálně 5 minut po ukončení stimulace.

Jedním z projevů stimulace spouštěvých zón dle konceptu Vojtova principu může být motorická reakce. Během našeho experimentu jsme u několika probandů tuto motorickou odezvu pozorovali, ovšem ne u všech. Navzdory tomu, výsledky našeho experimentu prokazují statisticky významné difference v motorických korových oblastech. Z tohoto důvodu předpokládáme, že motorická reakce na stimulaci dle Vojtova principu není podmínkou k vyvolání změn v motorické kůře. Tím pádem také navrhuje, že motorická reakce by neměla být cílem terapeuta při použití této metody.

Studie Kiebzaka a spol. (2021) popisuje změny hladiny kortizolu ve slinách kojenců následkem stimulace dle Vojtova principu. Tyto nálezy mají potenciál zásadně ovlivnit používání této metody na poli rehabilitaci. Pokud hladina kortizolu je ovlivňována stimulací dle Vojtova principu, je možné pozorovat korelaci těchto změn na úrovni mozkové kůry, nebo CNS obecně? Humorální odpověď lidského těla na stimulace dle konceptu Vojtova principu je jedním z dalších možných témat, která by měla být dále vědecky prověřována, a tím by nadále docházelo k rozšiřování chápání mechanismů této metody.

V této práci jsme využili metodu sLORETA pro hodnocení a zobrazení změn v elektrické aktivitě mozku. Ačkoliv nám tato metoda umožňuje monitorovat změny v elektrické aktivitě mozku s nulovou lokalizační chybovostí, naše pozorování je vázáno pouze na korové oblasti CNS. Pro detailní pozorování reakcí subkortikálních center by měla být využita MRI, ačkoliv i u této metody jiné studie naráží na omezení ve smyslu pohybu jedinců během měření. Výhodou pozorování za využití LORETY je právě fakt, že pohyb jedinců během měření získávání dat nelimituje. Další limitací studie je počet probandů. Ačkoliv se podařilo navýšit počet pozorovaných jedinců v tomto experimentu oproti původní vlastní diplomové práci, na kterou v tomto experimentu navazují, pro generalizaci dat je zapotřebí počet probandů dále navýšit. V neposlední řadě, pro ověření výsledků této studie, je zapotřebí zavést kontrolní skupinu. Ačkoliv jiné studie využívající kontrolních skupin prokazují obdobné výsledky, posuzují tento fakt jako jednu z limitací tohoto experimentu.

7. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo posoudit, zda dochází během stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu ke změnám elektrické aktivity mozku v primárních a sekundárních motorických korových oblastech hodnocených pomocí sLORETA programu.

V našem originálním experimentu ukazujeme efekt stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu na mozkovou kůru. Výsledky našeho experimentu odhalují, že v brzké fázi stimulace (statistické porovnání stavů před stimulací oproti stavu během stimulace – PRE CE vs. VOJTA CE) dochází ke statisticky významnému zvýšení proudové hustoty v Brodmannových zónách 6, 7, 23, 24 a 31, tedy zejména v korových oblastech mozku, které zprostředkovávají přípravu, plánování a regulaci hybnosti pohybového aparátu. Dále tímto experimentem také prokazujeme, že v pozdní fázi experimentu (statistické porovnání stavů před stimulací oproti stavu po stimulaci – PRE CE vs. POST CE) dochází ke statisticky významnému zvýšení proudové hustoty v Brodmannových zónách 3, 4, 6 a 24, tedy v korových oblastech mozku, které zajišťují přípravu a exekuci pohybu. V neposlední řadě tímto experimentem také prokazujeme, že změny vyvolané stimulací v primárních, sekundárních a suplementárních motorických korových oblastech zůstávají statisticky signifikantní během 5 minut po ukončení stimulace. Námi prokázané změny v mozkové kůře vyvolané stimulací hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu mohou být podkladem pro budoucí studie zkoumající pochody a dopad Vojtovy stimulace na CNS.

Tato práce dále naznačuje možné využití Vojtovy metody reflexní lokomoce na poli neurorehabilitace. Většina publikací o Vojtově principu v rámci neurorehabilitace se zaměřuje na klinický efekt této metody. Prokázání aktivačních změn v motorických korových oblastech následkem stimulace naším experimentem pokládá základy pro terapeutické úvahy, které mohou vést například k cílenějšímu využití této metody v neurorehabilitaci. Ovšem pro konkrétní využití metody u onemocnění postihující motorická centra je zásadní pokračovat ve výzkumné práci a zkoumání efektu Vojtovy metody na CNS během stimulace nejen u zdravých jedinců.

Vojtova metoda reflexní lokomoce stále zaujímá dominantní místo v preventivním a terapeutickém procesu péče o kojence ohrožené atypickým motorickým vývojem či mozkovou hybnou poruchou. Dnes však využití reflexní lokomoce sahá za hranice kojeneckého období. Metoda je hojně využívána také u dospělých jedinců napříč různými diagnózami postihující pohybový aparát a všechny jeho aspekty. Na poli vědy se postupně objevují studie,

kteře se zaměřují na odhalení mechanismů fungování Vojtovy metody. Znalost efektu Vojtovy metody nejen na CNS umožní cílené využití této metody a tím dojde i k nárůstu efektivity a tedy, v klinické praxi, k léčení těch jedinců, kteří prokázaný efekt tohoto přístupu potřebují. Předmětem dalších experimentů by mělo být zkoumání humorální reakce na stimulaci dle Vojtova principu a navyšování počtu probandů pro generalizaci dat získaných během pozorování efektu Vojtovy metody na CNS. Dále, dalším krokem v rozšiřování poznatků ohledně Vojtovy metody by mělo být zkoumání efektu tlakové stimulace dle konceptu Vojtova principu na CNS u jedinců s neurologickým onemocněním postihující motorická korová centra.

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. AKSELROD, M., MARTUZZI, R., SERINO, A., et al. Anatomical and functional properties of the foot and leg representation in areas 3b, 1 and 2 of primary somatosensory cortex in humans: A 7T fMRI study. *Neuroimage* [online]. 2017, **159**, 473-487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.06.021>.
2. AMUNTS, K., WEISS, P. H., MOHLBERG, H., et al. Analysis of neural mechanisms underlying verbal fluency in cytoarchitectonically defined stereotaxic space--the roles of Brodmann areas 44 and 45. *Neuroimage* [online]. 2004, **22**(1), 42-56. DOI: [10.1016/j.neuroimage.2003.12.031](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.12.031).
3. AMUNTS, K., a ZILLES, K. Architectonic mapping of the human brain beyond Brodmann. *Neuron* [online]. 2015, **88**(6). doi: [10.1016/j.neuron.2015.12.001](https://doi.org/10.1016/j.neuron.2015.12.001).
4. ANDERSON, T. J., JENKINS, I. H., BROOKS, D. J., et al. Cortical control of saccades and fixation in man. A PET study. *Brain* [online]. 1994, **117**(5), 1073-1184. DOI: [10.1093/brain/117.5.1073](https://doi.org/10.1093/brain/117.5.1073).
5. APPS, M. A. J. Stimulating cingulate: distinct behaviours arise from discrete zones. *Brain* [online]. 2018, **141**(10), 2827-2830. DOI: [10.1093/brain/awy224](https://doi.org/10.1093/brain/awy224).
6. ARDILA, A. Supplementary motor area aphasia revisited. *Journal of neurolinguistics* [online]. 2020, **54**, 100888. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2020.100888>.
7. ARDILA, A., BERNAL, B., ROSSELLI, M. Language and visual perception associations: meta-analytic connectivity modeling of Brodmann area 37. *Behavioural neurology* [online]. 2015, **2015**, 565881. DOI: [10.1155/2015/565871](https://doi.org/10.1155/2015/565871).
8. ARDILA, A., BERNAL, B., ROSSELLI, M. Should Broca's area include Brodmann area 47? *Psicothema* [online]. 2017, **29**(1), 73-77. DOI: [10.7334/psicothema2016.11](https://doi.org/10.7334/psicothema2016.11).
9. AUGUSTINACK J. C., HUBER, K. E., STEVENS, A. A., et al. Predicting the location of human perirhinal cortex, Brodmann's area 35, from MRI. *Neuroimage* [online]. 2013, **64**, 32-42. DOI: [10.1016/j.neuroimage.2012.08.071](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.08.071).
10. BENICZKY, S. a SCHOMER, D. L. Electroencephalography: basic biophysical and technological aspects important for clinical applications. *Epileptic disorders* [online]. 2020, **22**(6), 697-715. DOI: [10.1684/epd.2020.1217](https://doi.org/10.1684/epd.2020.1217).
11. BINDER, J. R., The Wernicke area: Modern evidence and a reinterpretation. *Neurology* [online], 2015, **85**(24), 2170-2175. DOI: [10.1212/WNL.0000000000002219](https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002219).
12. BLUMENFELD, R. S., PARKS, C. M., YONELINAS, A. P., RANGANATH, C. Putting the pieces together: The role of dorsolateral prefrontal cortex in relational

- memory encoding. *Journal of Cognitive Neuroscience* [online]. 2011, **23**(1), 257-265. DOI: 10.1162/jocn.2010.21459.
13. BOTVINICK, M. M., COHEN, J. D., CARTER, C. S. Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in cognitive sciences* [online]. 2004, **8**(12), 539-546. DOI: 10.1016/j.tics.2004.10.003.
 14. BRODMANN, K. *Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Leipzig: Brath. 1909.
 15. BROOKS, S. V. Current topics for teaching skeletal muscle physiology. *Advances in physiology education* [online]. 2003, **27**(1-4), 171-182. DOI: 10.1152/advan.2003.27.4.171.
 16. BROWN, S., MARTINEZ, M. J., PARSONS, L. M. Music and language side by side in the brain: a PET study of the generation of melodies and sentences. *The European journal of neuroscience* [online]. 2006, **23**(10), 2791-2803. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2006.04785.x.
 17. BUCCINO, G., VOGT, S., RITZL, A., et al. Neural circuits underlying imitation learning of hand actions: an event-related fMRI study. *Neuron* [online]. 2004, **42**(2), 323-334. DOI: 10.1016/s0896-6273(04)00181-3.
 18. BUNNO, Y. a SUZUKI, T. Motor imagery while viewing self-finger movements facilitates the excitability of spinal motor neurons. *Experimental brain research* [online]. 2020, **238**(9), 2077-2086. DOI: 10.1007/s00221-020-05870-3.
 19. BUSAN, P. Developmental stuttering and the role of the supplementary motor cortex. *Journal of fluency disorders* [online]. 2020, **64**, 105763. DOI: 10.1016/j.jfludis.2020.105763.
 20. CAHN, B. R. a POLICH, J. Meditation states and traits: EEG, ERP, and neuroimaging studies. *Psychological bulletin* [online]. 2006, **132**(2), 180-211. DOI: 10.1037/0033-2909.132.2.180.
 21. CANNON, R. L., CONGERDOC, M., LUBAR J., HUTCHENS, T. Differentiating a network of executive attention: LORETA neurofeedback in anterior cingulate and dorsolateral prefrontal cortices. *International Journal of Neuroscience* [online]. 2009, **119**(3), 404-441. DOI: 10.1080/00207450802480325.
 22. CANNON, R.L. *Low resolution brain electromagnetic tomography (LORETA). Basic concept and clinical applications*. South Staples St, Texas: BMED press, 2012. ISBN: 0982749813.

23. CARSON, R. G. A BUICK, A. R. Neuromuscular electrical stimulation-promoted plasticity of the human brain. *The Journal of physiology* [online]. 2021, **599**(9), 2375-2399. DOI: 10.1113/JP278298.
24. CARUANA, F., GERBELLA, M., AVANZINI, P., et al. Motor and emotional behaviours elicited by electrical stimulation of the human cingulate cortex. *Brain* [online]. 2018, **141**(10), 3035-3051. DOI: 10.1093/brain/awy219.
25. Trans cranial technologies. *Cortical functions. Referemce* [online]. 2012 [cit. 2022-20-4]. Dostupné z: https://www.trans-cranial.com/docs/cortical_functions_ref_v1_0_pdf.pdf.
26. COUTIN-CHURCHMAN, P. a MORENO, R. Intracranila curretn denstiy (LORETA) differences in QEEG frequency bands between depressed and non-depressed alcoholic patients. *Clinical neurophysiology* [online]. 2008, **119**(4), 948-958. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.12.013.
27. CURLEY, L. B., NEWMAN, E., THOMPSON, W. K., et al. Cortical morphology of the pars opercularis and its relationship to motor-inhibitory performance in a longitudinal, developing cohort. *Brain structure and function* [online]. 2018, **223**(1), 211-220. DOI: 10.1007/s00429-017-1480-5.
28. DALE, A. M. Optimal experimental design for event-related fMRI. *Human brain mapping* [online]. 1999, **8**(2-3), 109-114. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0193(1999)8:2/3<#x0003c;109::AID-HBM7<#x0003e;3.0.CO;2-W.
29. DE-LA-BARRERA-ARANDA, E., GONZALEZ-GEREZ, J., SAAVEDRA-HERNANDEZ, M., et al. Vojta Therapy in Neuromotor Development of Pediatrics Patients with Periventricular Leukomalacia: Case Series. *Medicina* [online]. 2021, **57**(11), 1149. DOI: 10.3390/medicina57111149.
30. DEREK, W. Y. a FORSHING, L. *Physiology, Motor Cortical* [online]. StatPearls Publishing: Treasure Island, FL, USA, 2020. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK542188/>
31. DEVINSKY, O., MORRELL, M. J., VOGT, B. A. Contributions of anterior cingulate cortex to behaviour. *Brain* [online]. 1995, **118**(1), 179-306. DOI: 10.1093/brain/118.1.279.
32. DUM, R. P. a STRICK, P. L. The origin of corticospinal projections from the premotor areas in the frontal lobe. *The journal of neuroscience* [online]. 1991, **11**(3), 667-689. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.11-03-00667.1991.

33. EICKHOFF, S. B., GREFKES, C., FINK, G. R., ZILLES, K. Functional lateralization of face, hand, and trunk representation in anatomically defined human somatosensory areas. *Cerebral cortex* [online]. 2008, **18**(12), 2820–2830. DOI: 10.1093/cercor/bhn039.
34. EPPLE, C., MAURER-BURKHARD, B., LICHTI, M-C., STEINER, T. Vojta therapy improves postural control in very early stroke rehabilitation: a randomised controlled pilot trial. *Neurological research and practise* [online]. 2020, **2**, 23. DOI: 10.1186/s42466-020-00070-4.
35. FABER, J. *Elektroencefalografie a psychofyziologie*. Praha: IVS. 2001. ISBN 80-85866-74-9.
36. FABRI, N., POLONARA, G., SALVOLINI, U., MANZONI, T. Bilateral cortical representation of the trunk midline in human first somatic sensory area. *Human brain mapping* [online]. 2005, **25**(3), 287–296. DOI: 10.1002/hbm.20099.
37. FERNÁNDEZ, L., VELÁSQUEZ, C., GARCÍA PORRERO, J. A., DE LUCAS, E. M., MARTINO, J. Heschl's gyrus fiber intersection area: a new insight on the connectivity of the auditory-language hub. *Neurosurgical focus* [online]. 2020, **48**(2), e7. DOI: 10.3171/2019.11.FOCUS19778.
38. FRIED, I., KATZ, A., MCCARTHY, G., et al. Functional organization of human supplementary motor cortex studied by electrical stimulation. *The journal of neuroscience* [online]. 1991, **11**(11), 3656-3666. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.11-11-03656.1991.
39. FRIEDMAN, L., KENNY, J. T., WISE, A. L., et al. Brain activation during silent word generation evaluated with functional MRI. *Brain and language* [online]. 1998, **62**(2), 231-256. DOI: 10.1006/brln.1998.1953.
40. GAJEWSKA, E. a NEUKRICH, B. Vojta Therapy for a 12 year-old Child with Cerebral Palsy. *Journal of Physical Therapy Science* [online]. 2012, **24**(8), 783-785. DOI:10.1589/jpts.24.783.
41. GAJEWSKA, E., HUBER, J., KULCZYK, A., LIPIEC, J. An attempt to explain the Vojta therapy mechanism of action using the surface polyelectromyography in healthy subjects: A pilot study. *Journal of bodywork and movement therapies* [online]. 2018, **22**(2), 287–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2017.07.002>.
42. GAST, M., BRÜNNER, Y. F., WIESMANN, M., FREIHERR, J. Depicting the Inner and outer nose: The representation of the nose and the nasal mucosa on the human primary somatosensory cortex (SI). *Human brain mapping* [online]. 2014, **35**(9), 4751–4766. DOI: 10.1002/hbm.22509.

43. GIRAUD, A. L., KELL, C., THIERFELDER, C., et al. Contributions of sensory input, auditory search and verbal comprehension to cortical activity during speech processing. *Cerebral cortex* [online]. 2004, **14**(3), 247-255. DOI: 10.1093/cercor/bhg124.
44. GRAVES, W. W., GRABOWSKI, T. J., MEHTA, S., GUPTA, P. Left posterior superior temporal gyrus participates specifically in accessing lexical phonology. *Journal of cognitive neuroscience* [online]. 2008, **20**(9), 1698-1710. DOI: 10.1162/jocn.2008.20113.
45. HA, S. Y. a SUNG, Y. H. Changes of Neural Pathways after Vojta Approach in a Child with Developmental Delay. *Children* [online]. 2021a, **8**(10), 918. DOI: 10.3390/children8100918.
46. HA, S. Y. a SUNG, Y. H. Vojta Approach Affects Neck Stability and Static Balance in Sitting Position of Children With Hypotonia. *International neurology journal* [online]. 2021b, **25**(2), 90-95. DOI: 10.5213/inj.2142344.172.
47. HÄMÄLÄINEN, M.S. a ILMONIEMI, R. J. Interpreting measured magnetic fields of the brain: estimates of current distributions. *Technical Reports Tkk-F-A559* [online]. Helsinki University of Technology, Espoo, 1984. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/216212540_Interpreting_measured_magnetic_fields_of_the_brain_Estimates_of_current_distributions
48. HARTWIGSEN, G., BAUMGAERTNER, A., PRICE, C. J., et al. Phonological decisions require both the left and right supramarginal gyri. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [online]. 2010, **107**(38), 16494-16509. DOI: 10.1073/pnas.1008121107.
49. HEDRICH, T., PELLEGRINO, G., KOBAYASHI, E., LINA, J. M., GROVA, C. Comparison of the spatial resolution of source imaging techniques in highdensity EEG and MEG. *Neuroimage* [online]. 2017, **157**, 531-544. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2017.06.022.
50. HERHOLZ, K., EHLEN, P., KESSLER, J., et al. Learning face-name associations and the effect of age and performance: a PET activation study. *Neuropsychologia* [online]. 2001, **39**(6), 643-650. DOI: 10.1016/s0028-3932(00)00144-5.
51. HERLIN, B., NAVARRO, V., DUPONT, S. The temporal pole: From anatomy to function-A literature appraisal. *Journal of chemical neuroanatomy* [online]. 2021, **113**, 101925. DOI: 10.1016/j.jchemneu.2021.101925.

52. HOBSON, J. A. a PACE-SCHOTT, E. F. The cognitive neuroscience of sleep: neuronal systems, consciousness and learning. *Nature reviews. Neuroscience* [online]. 2002, **3**(9), 679–693. DOI: 10.1038/nrn915.
53. HOECHSTETTER, K., RUPP, A., STANCÁK, A., et al. Interaction of tactile input in the human primary and secondary somatosensory cortex--a magnetoencephalographic study. *Neuroimage* [online]. 2001, **14**(3), 759-767. DOI: 10.1006/nimg.2001.0855.
54. HOUFBAUER, R. K., RAINVILLE, P., DUNCAN, G. H., BUSHNELL, M. C. Cortical representation of the sensory dimension of pain. *Journal of neurophysiology* [online]. 2001, **86**(1), 402–411. DOI: 10.1152/jn.2001.86.1.402.
55. HOK, P., OPAVSKÝ, J., KUTÍN, M., et al. Modulation of the sensorimotor system by sustained manual pressure stimulation. *Neuroscience* [online]. 2017, **348**, 11–22. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2017.02.005.
56. HOK, P., OPAVSKÝ, J., LABOUNEK, R., et al. Differential Effects of Sustained Manual Pressure Stimulation According to Site of Action. *Frontiers in neuroscience* [online]. 2019, **13**, 722. DOI: 10.3389/fnins.2019.00722.
57. HOLMES, N. P. a TAMÉ, L. Locating primary somatosensory cortex in human brain stimulation studies: Systematic review and meta-analytic evidence. *Journal of neurophysiology* [online]. 2019, **121**(1), 152–162. DOI: 10.1152/jn.00614.2018.
58. HOVORKA, J., NEŽÁDAL, T., HERMAN, E., PRAŠKO, J. *Klinická elektroencefalografie*. Praha: Maxdorf, 2003. ISBN-10: 80-7345-001-1.
59. HUBER, L., FINN, E. S., HANDWERKER, D. A., et al. Sub-millimeter fMRI reveals multiple topographical digit representations that form action maps in human motor cortex. *Neuroimage* [online]. 2020, **208**, 116463. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2019.116463.
60. HUGHES, J. R. Gamma, fast, and ultrafast waves of the brain: their relationships with epilepsy and behavior. *Epilepsy & behavior* [online]. 2008, **13**(1), 25–31. DOI: 10.1016/j.yebeh.2008.01.011.
61. CHANG, E. F., RAYGOR, K. P., MITCHEL, S. B. Contemporary model of language organization: an overview for neurosurgeons, *Journal of neurosurgery* [online]. 2014, **122**(2), 250-261. DOI: 10.3171/2014.10.JNS132647.
62. CHEN, T. L., BABILONI, C., FERRETTI, A., et al. Human secondary somatosensory cortex is involved in the processing of somatosensory rare stimuli: an fMRI study. *Neuroimage* [online]. 2008, **40**(4), 1765-1771. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2008.01.020.

63. CHIKAZOE, J., LEE, D. H., KRIEGESKORTE, N., ANDERSON, A. K. Distinct representations of basic taste qualities in human gustatory cortex. *Nature communications* [online]. 2019, **10**(1), 1048. DOI: 10.1038/s41467-019-08857-z.
64. CHOU, T. L., BOOTH, J. R., BITAN, T., et al. Developmental and skill effects on the neural correlates of semantic processing to visually presented words. *Human Brain Mapping* [online]. 2006, **27**(11), 915-924. DOI: 10.1002/hbm.20231.
65. INOUE, K., KAWASHIMA, R., KINOMURA, S., et al. A PET study of visuomotor learning under optical rotation. *Neuroimage* [online]. 2000, **11**(5 Pt 1), 505-516. DOI: 10.1006/nimg.2000.0554.
66. JENESON, A. a SQUIRE, L. R. Working memory, long-term memory, and medial temporal lobe function. *Learning memory* [online]. 2012, **19**(1), 15-25. DOI: 10.1101/lm.024018.1112.
67. JOBERT, M., WILSON, F. J., RUIGT, G. S. F., et al. Guidelines for recording and evaluation of pharmaco-EEG data in main: The International Pharmaco-EEG Society (IPEG). *Neuropsychology* [online]. 2012, **66**(4), 201-220. DOI: 10.1159/000343478.
68. JUDAŠ, M., CAPANEC, M., SEDMAK, G. Brodmanns map of cerebral cortex-or Brodmanns maps? *Translational Neuroscience* [online]. 2012, **3**(1), 67-74. DOI: 10.2478/s13380-012-0009-x.
69. JUNG, M., LANDERBERGER, M., JUNG, T., LINDENTHAL, T., PHILIPPI, H. Vojta therapy and neurodevelopmental treatment in children with infantile postural asymmetry: a randomised controlled trial. *Journal of Physical Therapy Science* [online]. 2017, **29**(2), 301-306. DOI: 10.1589/jpts.29.301.
70. KAPRELI, E., ATHANASOPOULOS, S., PAPATHANASIOU, M., et al. Lateralization of brain activity during lower limb joints movement. An fMRI study. *Neuroimage* [online]. 2006, **32**(4), 1709-1721. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.05.043.
71. KAPUR, S., CRAI, F. I., TULVING, E., et al. Neuroanatomical correlates of encoding in episodic memory: levels of processing effect. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [online]. 1994, **91**(6), 2008-2011. DOI: 10.1073/pnas.91.6.2008.
72. KENNETT, R. Modern electrencephalography. *Journal of neurology* [online]. 2012, **259**(4), 783-789. DOI: 10.1007/s00415-012-6425-6.
73. KERMADI, I., LIU, Y., ROUILLER, E. M. Do bimanual motor actions involve the dorsal premotor (PMd), cingulate (CMA) and posterior parietal (PPC) cortices?

- Comparison with primary and supplementary motor cortical areas. *Somatosensory and motor research* [online]. 2000, **17**(3), 255-271. DOI: 10.1080/08990220050117619.
74. KHAN, M. H., HELSPER, J., FARID, M. S., GRZEGORZEK, M. A computer vision-based system for monitoring Vojta therapy. *International Journal of Medical Informatics* [online]. 2018, **113**, 85-95. DOI: 10.1016/j.ijmedinf.2018.02.010.
75. KIEBZAK, W., ZURAWSKI, A., GLUSZEK, S., KOSZTOLOWICZ, M., BIALEK, W. A. Cortisol Levels in Infants with Central Coordination Disorders during Vojta Therapy. *Children* [online]. 2021, **8**(12), 1113. DOI: 10.3390/children8121113.
76. KIM, I. B. a PARK, S. C. The Entorhinal Cortex and Adult Neurogenesis in Major Depression. *International journal of molecular sciences* [online]. 2021, **22**(21), 11725. DOI: 10.3390/ijms222111725.
77. KIM, T. a WRIGHT, D. L. Transcranial Direct Current Stimulation of Supplementary Motor Region Impacts the Effectiveness of Interleaved and Repetitive Practice Schedules for Retention of Motor Skills. *Neuroscience* [online]. 2020, **435**, 58-72. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2020.03.043.
78. KIM, Y. Y., ROH, A. Y., NAMGOONG, Y., et al. Cortical network dynamics during source memory retrieval: current density imaging with individual MRI. *Human brain mapping* [online]. 2009, **30**(1), 78-91. DOI: 10.1002/hbm.20487.
79. KLEM, G. H., LÜDERS, H. O., JASPER, H. H., ELGER, C. The ten-twenty electrode system of the International Federation. The International Federation of Clinical Neurophysiology. *Electroencephalography and clinical neurophysiology* [online]. 1999, **52**, 3-6. PMID: 10590970.
80. KNYAZEV, G. G., SAVOSTYANOV, A. N., LEVIN, E. A. Uncertainty, anxiety and brain oscillations. *Neuroscience Letters* [online]. 2005, **387**(3), 121-125. DOI: 10.1016/j.neulet.2005.06.016.
81. KOLÁŘ, P. *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén, 2012. ISBN: 978-80-7262-657-1.
82. KOZLOVSKIY, S., VARTANOV, A. V., NIKONOVA, E., PYASIK, M. M. The Cingulate Cortex and Human Memory Process. *Psychology in Russia: State of the Art* [online]. 2012, **6**(2), 231-243. DOI:10.11621/pir.2012.0014.
83. KRAUSE, T., KURTH, R., RUBEN, J., et al. Representational overlap of adjacent fingers in multiple areas of human primary somatosensory cortex depends on electrical stimulus intensity: an fMRI study. *Brain research* [online]. 2001, **899**(1-2), 36-46, DOI: 10.1016/s0006-8993(01)02147-3.

84. KROPF, E., SYAN, S. K., MINUZZI, L., FREY, B. N. From anatomy to function: the role of the somatosensory cortex in emotional regulation. *Revista brasileira de psiquiatria* [online]. 2018, **41**(3), 261-269. DOI: 10.1590/1516-4446-2018-0183.
85. KÜBLER, A., DIXON V., GARAVAN, H. Automaticity and reestablishment of executive control-an fMRI study. *Journal of cognitive neuroscience* [online]. 2006, **18**(8), 1331-1342. DOI: 10.1162/jocn.2006.18.8.1331.
86. LAVIN, C., MELIS, C., MIKULAN, E., GELORMINI, C., HUEPE, D., IBANEZ, A. The anterior cingulate cortex: an integrative hub for human socially-driven interactions. *Frontiers in neuroscience* [online]. 2013, **7**, 64. DOI: 10.3389/fnins.2013.00064.
87. LEECH, R., SHARP, D. J. The role of the posterior cingulate cortex in cognition and disease. *Brain* [online]. 2014, **137**(1), 12-32. DOI: 10.1093/brain/awt162.
88. LEHMAN, D., FABER, P. L., GIANOTTI, L. R., KNOCHI, K., PASCUAL-MARQUI, R. D. Coherence and phase locking in the scalp EEG and between LORETA model sources, and microstates as putative mechanism of brain temporo-spatial functional organization. *Journal of physiology, Paris* [online]. 2006, **99**(1), 29-36. DOI: 10.1016/j.jphysparis.2005.06.005.
89. LEMON, R. R. Descending pathways in motor control. *Annual review of neuroscience* [online]. 2008, **31**, 195-218. DOI: 10.1146/annurev.neuro.31.060407.125547.
90. LIM, H. a KIM, T. Effects of Vojta Therapy on Gait of Children with Spastic Diplegia. *Journal of physical therapy science* [online]. 2013, **25**(12), 1605-1607 DOI: 10.1589/jpts.25.1605.
91. RINCON, A. L. a SHIMODA, S. The inverse problem in electroencephalography using the bidomain model of electrical activity. *Journal of neuroscience methods* [online]. 2016, **274**, 94-105. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2016.09.011.
92. LOPEZ, L. P., PALMERO, N. V., RUANO, L. G., et al. The implementation of a reflex locomotion program according to Vojta produces short-term automatic postural control changes in patients with multiple sclerosis. *Journal of bodywork and movement therapies* [online]. 2021, **26**, 401-405. DOI: 10.1016/j.jbmt.2021.01.001.
93. LOTZE, M., ERB, M., FLOR, H., et al. fMRI evaluation of somatotopic representation in human primary motor cortex. *Neuroimage* [online]. 2000, **11**(5 Pt 1), 473-481. DOI: 10.1006/nimg.2000.0556.
94. MAREČEK, R., MIKL, M., REKTOR, I., BRÁZDIL, M. Multimodální neurozobrazování pomocí simultánního EEG-fMRI. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie* [online]. 2012, **75/108**(1), 18-22. Dostupné z:

- <https://www.csnn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/2012-1-10/multimodalni-neurozobrazovani-pomoci-simultanniho-eeg-fmr-37151>.
95. MARTÍNEK, M. *Měření elektrické aktivity mozku během stimulace spoušťových zón z konceptu Vojtova principu*. Praha, 2018a. Diplomová práce. Fakulta tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy. Katedra fyzioterapie. Vedoucí práce MUDr. David Pánek, Ph.D.
 96. MARTÍNEK, M., PÁNEK, D., NOVÁKOVÁ, T., PAVLŮ, D. Analysis of Intracerebral Activity during Reflex Locomotion Stimulation According to Vojtas Principle. *Applied sciences* [online]. 2022, **12**(4), 2225. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12042225>.
 97. MARTÍNEK, M., PÁNEK, D., NOVÁKOVÁ, T., PAVLŮ, D. Změny elektrické mozkové aktivity v průběhu stimulace hrudní spoušťové zóny dle konceptu Vojtova principu. *Rehabilitácia*. 2018b, **55**(3), 184-192. ISSN 0375-0922.
 98. MCDERMOTT, K. B., PETERSEN, S. E., WATSON, J. M., OJEMANN, J. G. A procedure for identifying regions preferentially activated by attention to semantic and phonological relations using functional magnetic resonance imaging. *Neuropsychologia* [online]. 2003, **41**(3), 293-303. DOI: 10.1016/s0028-3932(02)00162-8.
 99. MCNEAL, D. W., DARLING, W. G., GE, J., et al. Selective long-term reorganization of the corticospinal projection from the supplementary motor cortex following recovery from lateral motor cortex injury. *The journal of comparative neurology* [online]. 2010, **518**(5), 586-621. DOI: 10.1002/cne.22218.
 100. MEADE, C. E., BOWDEN, S. C., WHELAN, G., COOK, M. J. Rhinal cortex asymmetries in patients with mesial temporal sclerosis. *Seizure* [online]. 2008, **17**(3), 234-246. DOI: 10.1016/j.seizure.2007.07.010.
 101. MORADI, F., LIU, L. C., CHENG, K., et al. Consistent and precise localization of brain activity in human primary visual cortex by MEG and Fmri. *Neuroimage* [online]. 2003, **18**(3), 595-609. DOI: 10.1016/s1053-8119(02)00053-8.
 102. MORÁŇ, M. *Praktická elektroencefalografie*. Brno: IPVZ Brno, 1995. ISBN 80-7013-203-5.
 103. MÜLLER-PUTZ, G. R. Electroencephalography. *Handbook of clinical neurology* [online]. 2020, **168**, 249-262. DOI: 10.1016/B978-0-444-63934-9.00018-4.
 104. NIEDERMEYER, E. a LOPES DE SILVA, F. H. *Niedermeyer's Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields. 6th edition*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2011. ISBN 978-0-781-78942-4.

105. NICHOLS, T. E. a HOLMES, A. P. Nonparametric permutation tests for functional neuroimaging: a primer with examples. *Human brain mapping* [online]. 2002, **15**(1), 1-25. DOI: 10.1002/hbm.1058.
106. NOWINSKI, W.L. The cerefy brain atlases: continuous enhancement of the electronic talairach-tournoux brain atlas. *Neuroinformatics* [online]. 2005, **3**(4), 293-300, DOI: 10.1385/NI:3:4:293.
107. OH, H., CUSTEAD, R., WANG, Y., BARLOW, S. Neural encoding of saltatory pneumotactile velocity in human glabrous hand. *PLoS ONE* [online]. 2017, **12**(8), e0183532. DOI: 10.1371/journal.pone.0183532.
108. OPAVSKÝ, J., ŠLACHTOVÁ, M., KUTIN, M., et al. The effects of sustained manual pressure stimulation according to Vojta Therapy on heart rate variability. *Biomedical papers of the Medical Faculty of the University Palacky, Olomouc, Czechoslovakia* [online]. 2018, **1632**(3), 206-211. DOI: 10.5507/bp.2018.028.
109. OVERDUIN, S. A., SERVOS, P. Distributed digit somatotopy in primary somatosensory cortex. *Neuroimage* [online]. 2004, **23**(2), 462-472. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2004.06.024.
110. PÁNEK, D. *Elektroencefalografické koreláty pohybového chování a výkonnostní zátěže*. Praha: Nakladatelství Karolinum, 2016. ISBN: 978-80-246-3435-7.
111. PARASURAMAN, R., RIZZO, M. *Neuroergonomics: The brain at work*. Oxford University Press; 1st edition, 2006. ISBN 978-0195177619.
112. PASCUAL-MARQUI, R. D. Review of Methods for Solving the EEG Inverse Problem. *International Journal of Bioelectromagnetism* [online]. 1999, **1**(1), 77-90. Dostupné z: <http://www.ijbem.org/volume1/number1/77-90.pdf>.
113. PASCUAL-MARQUI, R. D., MICHEL, C. M., LEHMANN, D. Low resolution electromagnetic tomography: A new method of localizing electrical activity in the brain. *International journal of psychophysiology* [online]. 1994, **18**(1), 49-65. DOI: 10.1016/0167-8760(84)90014-x.
114. PASCUAL-MARQUI, R.D. Discrete, 3D distributed linear imaging methods of electric neuronal activity. Part 1: exact, zero error localization. *Mathematical Physics* [online]. 2007, 1-16. Dostupné z: arXiv:0710.3341.
115. PASCUAL-MARQUI, R.D. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. Methods and findings in experimental and clinical pharmacology. [online]. 2002, **24**(Suppl. D), 5-12. Dostupné z: <https://www.uzh.ch/keyinst/NewLORETA/sLORETA/sLORETA-Math01.pdf>.

- 116.PAVLŮ, D. *Speciální fyzioterapeutické koncepty a metody. 1. vyd.* Brno: CERM, 2002. ISBN 80-7204-266-1.
- 117.PENG, K., STEELE, S. C., BECERRA, L., BORSOOK, D. Brodmann area 10: Collating, integrating and high level processing of nociception and pain. *Progress in neurobiology* [online]. 2017, **161**, 1-22. DOI: 10.1016/j.pneurobio.2017.11.004.
- 118.PFANNMÖLLER, J. P., GREINER, M., BALSUBRAMANIAN, M., LOTZE, M. High-resolution fMRI investigation of the fingertip somatotopy and variability in BA3b and BA1 of the primary somatosensory cortex. *Neuroscience* [online]. 2016, **339**, 667–677. DOI: 10.1016/j.neuroscience.2016.10.036.
- 119.PLONER, M., SCHMITZ, F., FREUND, H. J., SCHNITZLER, A. Parallel activation of primary and secondary somatosensory cortices in human pain processing. *Journal of neurophysiology* [online]. 1999, **81**(6), 3100–3104. DOI: 10.1152/jn.1999.81.6.3100.
- 120.POCHON, J. B., LEVY, R., FOSSATI, P. et al. The neural system that bridges reward and cognition in humans: an fMRI study. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [online]. 2002, **99**(8), 5669-5674. DOI: 10.1073/pnas.082111099.
- 121.RAICHLE, M. E. The brain's default mode network. *Annual review of neuroscience* [online]. 2015, **38**, 433-447. DOI: 10.1146/annurev-neuro-071013-014030.
- 122.RANGANATH, C., JOHNSON, M. K., D'ESPOSITO, M. Prefrontal activity associated with working memory and episodic long-term memory. *Neuropsychologia* [online]. 2003, **41**(3), 378-389. DOI: 10.1016/s0028-3932(02)00169-0.
- 123.RAVAJA, N., HARJUNEN, V., AHMED, I., JACUCCI, G., SPAPÉ, M. M. Feeling Touched: Emotional Modulation of Somatosensory Potentials to Interpersonal Touch. *Scientific reports* [online]. 2017, **7**, 40504. DOI: 10.1038/srep40504.
- 124.RIZZOLATII, G., FADIGA, L., MATELLI, M., et al. Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Experimental brain research* [online]. 1996, **111**(2), 246-252. DOI: 10.1007/BF00227301.
- 125.RUDEBECK, P. H., RICH, E. L. Orbitofrontal cortex. *Current Biology* [online]. 2018, **28**(18), 1083-1088. DOI: 10.1016/j.cub.2018.07.018.
- 126.RUGG, D. M., FLETCHER, P. C., FRITH, C. D., FRACKOWIAK, R. S., DOLAN, R. J. Differential activation of the prefrontal cortex in successful and unsuccessful memory retrieval. *Brain* [online]. 1996, **119**(6), 2073-2083. DOI: 10.1093/brain/119.6.2073.
- 127.SANES, J. N., DONOGHUE, J. P. Plasticity and primary motor cortex. *Annual review of neuroscience* [online]. 2000, **23**, 393-415. DOI: 10.1146/annurev.neuro.23.1.393.

- 128.SÁNCHEZ-PANCHUELO, R. M., BESLE, J., MOUGIN, O., et al. Regional structural differences across functionally parcellated Brodmann areas of human primary somatosensory cortex. *Neuroimage* [online]. 2014, **93**(2), 221-230. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2013.03.044.
- 129.SANZ-ESTEBAN, I., CANO-DE-LA-CUERDA, R., SAN-MARTÍN-GÓMEZ, A., et al. Cortical activity during sensorial tactile stimulation in healthy adults through Vojta therapy. A randomized pilot controlled trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2021, **18**(1), 13. DOI: doi: 10.1186/s12984-021-00824-4.
- 130.SANZ-ESTEBAN, I., CALVO-LOBO, C., RÍOS-LAGO, M., et al. Mapping the human brain during a specific Vojta's tactile input: The ipsilateral putamen's role. *Medicine* [online]. 2018, **97**(13), e0253. DOI: 10.1097/MD.00000000000010253.
- 131.SEGHIER, M. L. The angular gyrus: multiple functions and multiple subdivisions. *The Neuroscientist* [online]. 2013, **19**(1), 43-61. DOI: 10.1177/1073858412440596.
- 132.SCHELLEKENS, W., PETRIDOU, N., RAMSEY, N. Detailed somatotopy in primary motor and somatosensory cortex revealed by Gaussian population receptive fields. *Neuroimage* [online]. 2018, **179**, 337-347. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2018.06.062.
- 133.SCHIEBER, M. H. Constraints on somatotopic organization in the primary motor cortex. *Journal of neurophysiology* [online]. 2001, **86**(5), 2125-2143. DOI: 10.1152/jn.2001.86.5.2125.
- 134.SCHIEBER, M. H. Modern coordinates for the motor homunculus. *The journal of physiology* [online]. 2020, **598**(23), 5305-5306. DOI: 10.1113/JP280712.
- 135.SINGH, H., BAUER, M., CHOWANSKI, W., et al. The brain's response to pleasant touch: An EEG investigation of tactile caressing. *Frontiers in human neuroscience* [online]. 2014, **8**, 893. DOI: 0.3389/fnhum.2014.00893.
- 136.SLOTNICK, S. D., MOO, L. R. Prefrontal cortex hemispheric specialization for categorical and coordinate visual spatial memory. *Neuropsychologia* [online]. 2006, **44**(9), 1560-1568. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.01.018.
- 137.SLOTNICK, S. D., SCHACTER, D. L. The nature of memory related activity in early visual areas. *Neuropsychologia* [online]. 2006, **44**(14), 2874-2886. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.06.021.
- 138.ŠVESTKOVÁ, O., ANGEROVÁ, Y., DRUGA, R., PFIEFFER, J., VOTAVA, J., *Rehabilitace Motoriky Člověka. Fyziologie a léčebné postupy*. Grada Publishing: Praha, Czech Republic, 2017. ISBN 987-80-271-9797-2.

139. TALAIRACH, J. a TOURNOUX, P. *Co-planar stereotaxic atlas of the human brain*. Stuttgart: Georg Thieme, 1988. ISBN 9783137117018.
140. TAMÉ, L., BRAUN, C., HOLMES, N. P., FARNÉ, A., PAVANI, F. Bilateral representations of touch in the primary somatosensory cortex. *Cognitive neuropsychology* [online]. 2016, **33**(1-2), 48-66. DOI:10.1080/02643294.2016.1159547.
141. TEITTI, S., MÄÄTTÄ, S., SÄISÄNEN, L., et al. Non-primary motor areas in the human frontal lobe are connected directly to hand muscles. *Neuroimage* [online]. 2008, **40**(3), 1243-1250. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.12.065.
142. TIMMERMANN, L., PLONER, M., HAUCKE, K., et al. Differential coding of pain intensity in the human primary and secondary somatosensory cortex. *Journal of neurophysiology* [online]. 2001, **86**(3), 1499-1503. DOI: 10.1152/jn.2001.86.3.1499.
143. TROJAN, S., DRUGA, R., PFEIFER, J. *Centrální mechanismy řízení motoriky. Teorie, poruchy a léčebná rehabilitace. 2. vyd.* Praha: Avicenum, 1991. ISBN 80-201-0054-7.
144. UEDA, K., FUJIMOTO, G., UBUKATA, S., MURAI, T. [Brodmann Areas 11, 46, and 47: Emotion, Memory, and Empathy]. *Brain and nerve* [online]. 2017, **69**(4), 367-374. DOI: 10.11477/mf.1416200753.
145. VALENTINE, D. *Learning EEG. A self guided course and atlas* [online]. 2020 [cit. 2022-20-4]. Dostupné z: <https://www.learningeeg.com/>.
146. VAN VEEN, V., COHEN, J. D., BOTVINICK, M. M., STENGER, V. A., CARTER, C. S. Anterior cingulate cortex, conflict monitoring, and levels of processing. *Neuroimage* [online]. 2001, **14**(6), 1302-1308. DOI: 10.1006/nimg.2001.0923.
147. VAŘEKA, I. *Vojtova reflexní lokomoce a vývojová kineziologie*. Rehabilitácia [online]. 2000, **33**(4), 196-199. ISSN 0375-0922. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/280087556_Vojtova_reflexni_lokomoce_a_vyvojova_kineziologie.
148. VERNET, M., QUENTIN, R., CHANES, L., MITSUMASU, A., VALERO-CABRÉ, A. Frontal eye field, where art thou? Anatomy, function, and non-invasive manipulation of frontal regions involved in eye movements and associated cognitive operations. *Frontiers in Integrative Neuroscience* [online]. 2014, **8**, 66. DOI: 10.3389/fnint.2014.000662.
149. VOJTA, V. a PETERS, A. *Vojtův princip: svalové souhry v reflexní lokomoci a motorická ontogeneze. 1. vyd.* Praha: Grada Publishing, 1995. ISBN 80-7169-004-X.
150. VOJTA, V. a PETERS, A. *Vojtův princip. 3. vyd.* Praha: Grada Publishing, 2010. ISBN 978-80-247-2710-3.

151. VOJTĚCH, Z. *EEG v epileptologii dospělých*. Praha: Grada Publishing, 2005. ISBN 80-247-0690-3.
152. WANG, Z. M., SHAN, Y., ZHANG, M., et al. Projections of Brodmann Area 6 to the Pyramidal Tract in Humans: Quantifications Using High Angular Resolution Data. *Frontiers in neural circuits* [online]. 2019, **13**, 62. DOI: 10.3389/fncir.2019.00062.
153. WHITLOCK, J. R. Posterior parietal cortex. *Current Biology* [online]. 2017, **27**(14), 691-695. DOI: 10.1016/j.cub.2017.06.007.
154. YAM, M. F.; LOH, Y. C.; TAN, C. S., et al. General pathways of pain sensation and the major neurotransmitters involved in pain regulation. *International journal of molecular sciences* [online]. 2018, **19**(8), 2164. DOI: 10.3390/ijms19082164.
155. YI, H. G., LEONARD, M. K., CHANG, E. F. The Encoding of Speech Sounds in the Superior Temporal Gyrus. *Neuron* [online]. 2019, **102**(6), 1096-1110. DOI: 10.1016/j.neuron.2019.04.023.
156. YU, L., HU, J., SHI, C., et al. The causal role of auditory cortex in auditory working memory. *Elife* [online]. 2021, **10**, e64457. DOI: 10.7554/eLife.64457.
157. ZILLES, K. Brodmann: a pioneer of human brain mapping-his impact on concepts of cortical organization. *Brain* [online]. 2018, **141**(11), 3262-3278. DOI: 10.1093/brain/awy273.
158. ZUMSTEG, D., ANDRADE, D. M., WENNBERG, R. A. Source location of small sharp spikes: low resolution electromagnetic tomography (LORETA) reveals two distinct cortical sources. *Clinical neurophysiology* [online]. 2006, **117**(6), 1380-1387. DOI: 10.1016/j.clinph.2006.02.019.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Vyjádření etické komise

Příloha č. 2: Informovaný souhlas

Příloha č. 3: Seznam obrázků

Příloha č. 4: Seznam tabulek

Příloha č. 1: Vyjádření etické komise

UNIVERZITA KARLOVA
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

Žádost o vyjádření Etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, kvalifikační či seminární práce zahrnující lidské účastníky

Název projektu: Změny elektrické mozkové aktivity v průběhu tlakové stimulace zón definovaných dle konceptu Vojtova principu

Forma projektu: výzkumná práce - disertační práce

Období realizace: duben 2019 až prosinec 2019

Předkladatel: Mgr. Milan Martinek

Hlavní řešitel: Mgr. Milan Martinek

Místo výzkumu (pracoviště): FTVS UK, kineziologická laboratoř

Vedoucí práce (v případě studentské práce): Doc. PaedDr. Dagmar Pavlů, CSc.

Popis projektu: V této disertační práci se budu zabírat změnami elektrické mozkové aktivity v průběhu tlakové stimulace zón definovaných dle konceptu Vojtova principu. Výzkumu se bude účastnit alespoň 20 dobrovolníků. Tlaková stimulace definovaných zón bude prováděna zkušeným fyzioterapeutem s úspěšně zakončeným kurzem Vojtovy metody. Pro měření elektrické aktivity mozku bude použit elektroencefalograf. Vyhodnocení EEG dat bude provedeno certifikovaným elektroencefalografistou. Hodnocení intracerebrální aktivity proběhne pomocí sLORETA programu. Cílem práce je objasnit, zda dochází ke specifické aktivitě mozku během tlakové stimulace zón definovaných dle konceptu Vojtova principu.

Charakteristika účastníků výzkumu: Jedná se o zdravou, dospělou populaci, výhradně ženy. Předběžný počet účastníků je alespoň 20. Pro účast na výzkumu musí účastníci souhlasit s účastí. Výzkumu se nesmí účastnit jedinci, kteří již mají zkušenost s Vojtovou metodou. Kontraindikací pro účast na projektu jsou psychiatrická onemocnění, onkologická onemocnění, akutní zánětlivá onemocnění a těhotenství. Testování se nezúčastní osoby s akutním onemocněním či v úrazu a v rekonvalescenci po onemocnění či úrazu.

Zajištění bezpečnosti: Během měření nebudou použity žádné invazivní metody. Během tlakové stimulace definovaných zón budou dodrženy principy konceptu Vojtovy metody. Stimulaci spouštěcích zón bude provádět zkušený fyzioterapeut s úspěšně zakončeným kurzem Vojtovy metody. Správnost přípravy a průběhu měření elektroencefalografem bude zajištěna dohledem lékaře. Rizikem experimentu je možnost výskytu fyzické únavy po tlakové stimulaci definovaných zón dle konceptu Vojtova principu. Rizika prováděného výzkumu nebudou vyšší než běžně očekávaná rizika u testování prováděných v rámci tohoto typu výzkumu.

Etické aspekty výzkumu: Účastníci výzkumu jsou plnoletí. Získaná data budou zpracovávána a bezpečně uchována v anonymní podobě a publikována v disertační práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS. Po anonymizaci budou osobní data smazána. Výzkum bude monitorován videozáznamem. Anonymizace osob na videích bude provedena začerněním obličejů či částí těla, znaků, které by mohly vést k identifikaci jedince. Neanonymizovaná videa budou po ukončení výzkumu smazána. Pořízený záznam bude uchován na přenosném nosiči, ke kterému mají přístup pouze členové výzkumného týmu (Mgr. Milan Martinek, MUDr. David Pánek, Ph. D., PhDr. Tereze Nováková, Ph.D.). Videozáznam bude použit pouze při zpracování dat a nebude dále publikován.

V maximální možné míře zajistím, aby získaná data nebyla zneužita.

Informovaný souhlas: přiložen

Povinnosti všech účastníků výzkumu na straně řešitele je chránit život, zdraví, důstojnost, integritu, právo na sebezáchovu, soukromí a osobní data zkoumaných subjektů, a podniknout k tomu veškerá preventivní opatření. Odpovědnost za ochranu zkoumaných subjektů leží vždy na účastnících výzkumu na straně řešitele, nikdy na zkoumaných, byť dali svůj souhlas k účasti na výzkumu. Všichni účastníci výzkumu na straně řešitele musí brát v potaz etické, právní a regulační normy a standardy výzkumu na lidských subjektech, které platí v České republice, stejně jako ty, jež platí mezinárodně.

Potvrzují, že tento popis projektu odpovídá návrhu realizace projektu a že při jakékoli změně projektu, zejména použitých metod, zašlu Etické komisi UK FTVS revidovanou žádost.

V Praze dne: 30. 03. 2019

Podpis předkladatele:

Vyjádření Etické komise UK FTVS

Stožení komise: Předsedkyně: doc. PhDr. Irena Parry Martinková, Ph.D.

Členové: prof. PhDr. Pavel Slepíčka, DrSc.

doc. MUDr. Jan Heller, CSc.

PhDr. Pavel Hráský, Ph.D.

Mgr. Eva Prokešová, Ph.D.

MUDr. Simona Majorová

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem:

dne: 3. 4. 2019

Etická komise UK FTVS rozhodla, předložený projekt a neshledala žádné rozpory s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směrnici pro provádění výzkumu zahrnujícího lidské účastníky.

Fakulta tělesné výchovy a sportu
Josef Martího 31, 162 52, Praha 6

Řešitel projektu uznal podmínky nutné k získání souhlasu Etické komise.

- 20 -

razítko UK FTVS

podpis předsedkyně EK UK FTVS

Příloha č. 2: Informovaný souhlas

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

INFORMOVANÝ SOUHLAS

Vážený pane, vážená paní,

v souladu se Všeobecnou deklarací lidských práv, zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů a dalšími obecně závaznými právními předpisy (jakož jsou zejména Helsinská deklarace, přijatá 18. Světovým zdravotnickým shromážděním v roce 1964 ve znění pozdějších změn (Fortaleza, Brazílie, 2013); Zákon o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování (zejména ustanovení § 28 odst. 1 zákona č. 372/2011 Sb.) a Úmluva o lidských právech a biomedicině č. 96/2001, jsou-li aplikovatelné), Vás žádám o souhlas s Vaší účastí ve výzkumném projektu v rámci disertační práce s názvem Změny elektrické mozkové aktivity v průběhu tlakové stimulace zón definovaných dle konceptu Vojtova principu.

1. Projekt bude financován v rámci programu Progres Q41 – Biologické aspekty zkoumání lidského pohybu.
2. Cílem projektu je objasnit, zda dochází k specifické aktivitě mozku během tlakové stimulace zón definovaných dle konceptu Vojtova principu.
3. Pro získání dat bude snímána Vaše elektrická mozková aktivita v klidovém stavu před tlakovou stimulací, během tlakové stimulace a po tlakové stimulaci zón definovaných dle konceptu Vojtova principu.
4. Během měření nebudou použity žádné invazivní metody. Záznam elektrické mozkové aktivity proběhne pod dohledem certifikovaného elektroencefalografisty. Tlakovou stimulaci zón definovaných dle konceptu Vojtova principu provede fyzioterapeut s úspěšně zakončeným kurzem Vojtovy metody.
5. Celé měření bude trvat 95 minut. První přípravná fáze bude trvat 30 minut, během které Vám bude nasazena speciální EEG čepice pro snímání elektrické aktivity mozku. Druhá část potrvá 10 minut, během kterých budeme snímat Vaši elektrickou mozkovou aktivitu v klidu jak s otevřenýma, tak zavřenýma očima. Ve třetí fázi budeme snímat Vaši elektrickou mozkovou aktivitu během tlakové stimulace zón definovaných dle konceptu Vojtova principu. Tato fáze potrvá 35 minut. V poslední fázi proběhne snímání Vaši elektrické mozkové aktivity v klidu po tlakové stimulaci, které potrvá 20 minut.
6. Jako následek svalové práce vyvolané tlakovou stimulací zón definovaných dle konceptu Vojtova principu je možný nástup fyzické únavy.
7. Očekávám, že na základě tohoto výzkumu napomohu odhalit mechanismy funkce Vojtovy metody a lidského pohybového chování a řízení obecně.
8. Účast na tomto projektu je dobrovolná. Účastníci nejsou za účast odměněni.
9. Získaná data budou zpracovávána a bezpečně uchována v anonymní podobě a publikována v disertační práci, případně v odborných časopisech, monografiích a prezentována na konferencích, případně budou využita při další výzkumné práci na UK FTVS. Po anonymizaci budou osobní data smazána. Výzkum bude monitorován videozáznamem. Anonymizace osob na videích bude provedena začerněním obličejů či částí těla, znaků, které by mohly vést k identifikaci jedince. Neanonymizovaná videa budou po ukončení výzkumu smazána.
10. V případě zájmu můžete požádat o zaslání výsledků disertační práce publikací s tímto experimentem spojených.
11. Bude zabezpečeno, aby získaná data nebyla zneužita.

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
Josef Martího 31, 162 52 Praha 6-Vešelavín

Jméno a příjmení předkladatele projektu Podpis:

Jméno a příjmení hlavního řešitele a spoluřešitelů

Prohlašuji a svým níže uvedeným vlastnoručním podpisem potvrzuji, že dobrovolně souhlasím se svojí účastí ve výše uvedeném projektu a že jsem měl(a) možnost si řádně a v dostatečném čase zvážit všechny relevantní informace o výzkumu, zeptat se na vše podstatné týkající se mé účasti ve výzkumu a že jsem dostal(a) jasné a srozumitelné odpovědi na své dotazy. Byl(a) jsem poučen(a) o právu odmítnout účast ve výzkumném projektu nebo svůj souhlas kdykoli odvolat bez represí, a to písemně Etické komisi UK FTVS, která bude následně informovat předkladatele projektu.

Místo, datum

Jméno a příjmení účastníka Podpis:

Vztah zákonného zástupce k účastníkovi Podpis:

Příloha č. 3: Seznam obrázků

Obrázek 1: Vybavovací zóny reflexního plazení	17
Obrázek 2: První fáze reflexního otáčení	20
Obrázek 3: Vybavovací zóny druhé fáze reflexního otáčení	22
Obrázek 4: Základní frekvenční pásma a oblasti jejich výskytu z povrchový elektrod	26
Obrázek 5: Vlny delta	27
Obrázek 6: Vlny theta	27
Obrázek 7: Vlny alfa	28
Obrázek 8: Vlny beta	28
Obrázek 9: Biologický oční artefakt způsobený mrknutím – Bellův fenomén	30
Obrázek 10: Biologický oční artefakt způsobený pohybem očí do stran	30
Obrázek 11: Biologický EMG artefakt způsobený aktivitou obličejových svalů	31
Obrázek 12: Biologický EKG artefakt – detekce QRS komplexu skalpovými elektrodami díky výraznému zesílení EEG signálu	31
Obrázek 13: Biologický pulzní artefakt	32
Obrázek 14: Biologický pohybový artefakt způsobený skluzem elektrody	33
Obrázek 15: Biologický artefakt z pocení – změna signálu způsobená snížením vodivosti kůže kvůli potu	33
Obrázek 16: Technický elektrodový artefakt způsobený odlupující se elektrodou	34
Obrázek 17: Technický síťový artefakt způsobený elektromagnetickou indukcí	35
Obrázek 18: Diagram modelových příkladů tzv. „Forward modeling“ (nahore) a inverzního problému (dole)	36
Obrázek 19: Mapa mozkové kůry rozdělená na základě cytoarchitektury (Brodmann, 1909)	39
Obrázek 20: Brodmannovy zóny 1, 2, 3.	40
Obrázek 21: Brodmannova zóna 4.	40

Obrázek 22: Brodmanova zóna 5	41
Obrázek 23: Brodmanova zóna 7.	41
Obrázek 24: Brodmanova zóna 6.	42
Obrázek 25: Brodmanova zóna 8.	42
Obrázek 26: Brodmanovy zóny 9 a 10.	43
Obrázek 27: Brodmanova zóna 11.	43
Obrázek 28: Brodmanova zóna 17.	44
Obrázek 29: Brodmanova zóna 20.	44
Obrázek 29: Brodmanova zóna 20.	44
Obrázek 30: Brodmanova zóna 21.	44
Obrázek 31: Brodmanova zóna 22.	45
Obrázek 32: Cingulární korová oblast	46
Obrázek 33: Brodmanova zóna 37.	47
Obrázek 34: Brodmanova zóna 38.	47
Obrázek 35: Brodmanova zóna 39.	48
Obrázek 36: Brodmanova zóna 40.	48
Obrázek 37: Brodmanovy zóny 41 a 42.	49
Obrázek 38: Brodmanova zóna 43.	49
Obrázek 39: Brodmanova zóna 44.	49
Obrázek 40: Brodmanova zóna 45.	50
Obrázek 41: Brodmanova zóna 46.	50
Obrázek 42: Brodmanova zóna 47.	50
Obrázek 43: Publikace pod heslem "Vojta therapy" v databázi Web of Science a jejich rozdělení do kategorií-generováno z webu Web of Science	51
Obrázek 44: Množství publikací pod heslem "Vojta therapy" do roku 2022 v databázi PubMed	52

Obrázek 45: Množství publikací pod heslem "Vojta method" do roku 2022 v databázi PubMed	52
Obrázek 46: Množství publikací pod kombinací hesel "Vojta therapy" OR "Vojta method" Do roku 2022 v databázi PubMed	52
Obrázek 47: Statisticky významná zdrojová elektrická aktivita mozku v sLORETA zobrazení na hladině významnosti $p \leq 0,05$ pro frekvenční pásmo alfa-2 (horní obrázek), pro frekvenční pásmo beta-1 (obrázek vlevo dole), pro frekvenční pásmo beta-2 (obrázek vpravo dole)	61
Obrázek 48: Statisticky významná zdrojová elektrická aktivita mozku v sLORETA zobrazení na hladině významnosti $p \leq 0,05$ pro frekvenční pásmo alfa-1 (horní obrázek), pro frekvenční pásmo alfa-2 (obrázek vlevo dole), pro frekvenční pásmo beta-1 (obrázek dole uprostřed), pro frekvenční pásmo beta-2 (obrázek vpravo dole)	63
Obrázek 49: Změny neuronálních drah skrze DTI před terapiemi (Initial) a po 8 měsících terapií využívajících Vojtovu metodu (Follow-up)	76

Příloha č. 4: Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry výzkumného souboru	57
Tabulka 2: Porovnané stavy a jejich frekvenční pásma se statisticky významnou diferencí na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$	60
Tabulka 3: Statisticky významné Brodmannovy zóny při porovnání stavu před stimulací (PRE CE) oproti stavu během stimulace (VOJTA CE)	61
Tabulka 4: Statisticky významné Brodmannovy zóny při porovnání stavu před stimulací (PRE CE) oproti stavu po stimulaci (POST CE)	62
Tabulka 5: Statisticky porovnané stavy a výskyt statisticky významných změn v jednotlivých funkčních regionech mozku	65
Tabulka 6: Statisticky významné difference jednotlivých fází experimentu a jejich Brodmannovy zóny	70
Tabulka 7: Vývoj změn statisticky významných Brodmannových zón v jednotlivých fázích experimentu	73