

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav klinické rehabilitace

Bc. Karolína Takáčová

**Predstava komplexného pohybu dolných končatín v obraze
povrchovej elektromyografie**

Diplomová práca

Vedúci práce: Mgr. Marek Tomsa

Olomouc 2021

Anotácia

Typ záverečnej práce: Diplomová práca

Názov práce: Predstava komplexného pohybu dolných končatín v obraze povrchovej elektromyografie

Názov práce v AJ: Motor imagery of complex lower limbs movement in electromyography activity

Dátum zadania: 31.01. 2020

Dátum odovzdania: 21.05. 2021

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotníckých vied
Ústav fyzioterapie

Autor práce: Bc. Karolína Takáčová

Vedúci práce: Mgr. Marek Tomsa

Oponent práce: Mgr. Radek Mlíka, Ph.D.

Abstrakt v SJ:

Úvod: Predstava pohybu je forma mentálneho tréningu, ktorá pozitívne ovplyvňuje pohybové funkcie bez toho, aby k vykonaniu reálneho pohybu prišlo.

Cieľ: Cieľom práce bolo zhodnotiť svalovú aktivitu proximálnych svalov dolných končatín počas komplexnej predstavy pohybu výstupu na schod a porovnať rozdielnu aktivitu svalov počas predstavy výstupu na schod dominantnou a nedominantnou dolnou končatinou.

Metodika: Na meraní výskumnej časti diplomovej práce sa zúčastnilo 10 zdravých probandov (1 muž a 9 žien), ktorých priemerný vek, výška, váha (\pm SD) bol 22,8 rokov (\pm 3,78), 169,4 cm (\pm 8,18) a 67,3 kg (\pm 13,22). U ôsmich probandov bola dominantná dolná končatina pravá a u dvoch ľavá. Vstupným kritériom pre meranie bolo dosiahnutie minimálneho skóre 3,5 zo 7 stupňovej škály MIQ-R dotazníka, čo vypovedá o dobrej pohybovej predstavivosti probandov. Pre zhodnotenie cieľov práce bola meraná svalová aktivita m. rectus femoris a m. biceps femoris bilaterálne pomocou povrchovej elektromyografie (IMU/EMG Delsys®). Po aplikácii senzorov na obe dolné končatiny, bola meraná pokojová aktivita svalov, predstava výstupu na

schod a aktivita pri fyzickom výstupe na schod. Celkovo išlo o 5 situácií zameraných na dominantnú dolnú končatinu a tých istých 5 situácií zameraných na nedominantnú dolnú končatinu, pričom poradie bolo randomizované.

Výsledky: Z výsledkov práce vyplynul štatisticky významný rozdiel medzi predstavou pohybu pred fyzickým vykonaním pohybu a predstavou po vykonaní. Pri druhej predstave po reálnom výstupe na schod došlo k poklesu aktivity proximálnych svalov dolných končatín. Pri porovnávaní predstavy výstupu na schod dominantnou a nedominantnou končatinou nedošlo k žiadnym významným zmenám.

Záver: Predstava pohybu má vplyv na svalovú aktivitu dolných končatín a dominancia nezohráva významnú úlohu pri aktivite svalov počas predstavy.

Abstrakt v AJ:

Introduction: Motor imagery is a form of mental training that positively affects movement functions without real movement execution.

Aim: The aim of this work was to evaluate the muscle activity of the lower limbs during the complex motor imagery of the ascent to a stair and to compare different muscle activity during the imagination of the ascent to the stair by the dominant and non-dominant lower limb.

Methods: The measurement of the researched part of the diploma thesis involved 10 healthy probands (1 man and 9 women), whose average age, height, weight (\pm SD) was 22.8 years (\pm 3.78), 169.4 cm (\pm 8,18) and 67.3 kg (\pm 13.22). Eight probands proclaimed the right leg as the dominant leg and two probands proclaimed the left leg to be dominant one. The entry criterion for the measurement was a minimum score of 3.5 from the 7-point scale of the MIQ-R questionnaire, which indicates a good movement imagination of the probands. To evaluate the goals of the work, the muscle activity of m. rectus femoris a m. biceps femoris was measured bilaterally by surface electromyography (IMU / EMG Delsys®). After applying the sensors to both lower limbs, the resting muscle activity, the motor imagery of the ascent to the stair and the activity during the physical ascent to the stair were measured. In total, there were 5 situations focused on the dominant lower limb and the same 5 situations focused on the non-dominant lower limb. The order of measurement was randomized.

Results: The results of the work showed a statistically significant difference between the motor imagery before the physical execution of the movement and the motor imagery after the execution. The second motor imagery, after the real ascent to the stair showed a decrease in the

muscle activity of proximal leg muscles. In the end, when comparing the motor imagery of ascent to the stair by the dominant and non-dominant leg, there were no significant changes found.

Conclusion: Motor imagery affects the muscle activity of the lower limbs and dominance does not play a significant role in muscle activity during imagination.

Kľúčové slová v SJ: predstava pohybu, elektromyografia, povrchová elektromyografia, dominancia, neurofyziológia, svalová aktivácia

Kľúčové slová v AJ: motor imagery, electromyography, surface electromyography, dominance, neurophysiology, muscle activity

Rozsah: počet strán 85/ počet príloh 8

Dedikácia

Diplomová práca vznikla za podpory grantu Univerzity Palackého v Olomouci IGA_FZV_2020_007 „Vliv představy komplexního pohybu na svalovou aktivitu dolních končetin u zdravých jedinců,, (hlavný riešiteľ Mgr. Marek Tomsa).

Prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracovala samostatne pod odborným vedením Mgr. Mareka Tomsu a použila som iba uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

V Olomouci dňa 21.5. 2021

Podpis:.....

Pod'akovanie

Rada by som sa poďakovala svojmu vedúcemu práce, pánovi Mgr. Marekovi Tomsovi za odborné vedenie, konzultácie, príjemnú spoluprácu a cenné rady pri písaní práce. Ďalšie poďakovanie patrí pani Mgr. Dagmar Tečové za pomoc a konzultácie pri štatistickom spracovaní dát.

Obsah

Úvod	9
1 Predstava pohybu.....	11
1.1 Druhy predstavy.....	12
2 Neurofyziológia predstavy pohybu	14
2.1 Zrkadlové neuróny	14
2.2 Aktivácia častí centrálnej nervovej sústavy	15
2.1.1 Mozoček a bazálne gangliá	17
2.1.2 Premotorické, suplementárne a prefrontálne oblasti	17
2.1.3 Primárny motorický kortex	18
2.1.4 Parietálny kortex	19
3 Predstava vo fyzioterapii	20
3.1 Motorické učenie	20
3.2 Neurorehabilitácia.....	21
3.2.1 Predstava pohybu a cievna mozgová príhoda	22
3.2.2 Predstava pohybu a Parkinson.....	23
3.2.3 Predstava pohybu a transverzálna lézia miechy	24
3.3 Predstava pohybu v športe	24
3.3.1 Modely predstavy využívané v športe.....	26
4 Objektivizácia predstavy	28
4.1 Funkčná magnetická rezonancia	28
4.2 Povrchová elektromyografia	29
4.3 Dotazníky	30
5 Ciele a hypotézy	31
5.1 Cieľ práce.....	31
5.2 Hypotézy	31
6 Metodika práce	33
6.1 Charakteristika súboru	33
6.2 Experimentálne meranie	33
6.2.1 Príprava merania elektromyografickej aktivity svalov	33
6.2.2 Priebeh merania.....	34
6.3 Spracovanie nameraných dát	35

6.3.1 Spracovanie nameraných dát povrchovej elektromyografie	35
6.3.2 Štatistické spracovanie nameraných dát.....	36
7 Výsledky práce	37
7.1 Hypotézy práce a štatistické výsledky	39
8 Diskusia	45
8.1 Svalová aktivita počas komplexnej predstavy pohybu	45
8.2 Vplyv dominancie na predstavu pohybu	47
8.2.1 Dominancia a mozgové hemisféry	49
8.3 Subjektívne hodnotenie predstavy	50
8.4 Prínos predstavy pohybu pre prax.....	51
8.4.1 Prínos výsledkov našej štúdie pre prax	54
8.5 Limity štúdie	54
Záver	56
Referenčný zoznam	57
Zoznam skratiek	70
Zoznam tabuliek	72
Zoznam obrázkov	73
Zoznam príloh	74
Prílohy	75

Úvod

Predstava pohybu je jedna z dostupných a efektívnych metód so širokým využitím v odbore fyzioterapie. Nezastupiteľné miesto má v rehabilitácii pacientov, ale aj v oblasti športu a motorického učenia zdravých jedincov, čo dokazuje veľa súčasných odborných publikácií.

Predstavovanie si daného pohybu je multimodálny kognitívny proces vytvárania motorického obrazu bez jeho fyzického vykonania. Tento proces sa opiera o somatosenzorické informácie, ktoré sú podobné ako pri reálne vykonanom pohybe. Pomocou zobrazovacích metód bolo dokázané, že predstava pohybu je spojená s podobnou aktiváciou častí centrálnej nervovej sústavy a neuroplastickými zmenami ako pri skutočne realizovanom pohybe.

Jednou z metód, ktorá dokazuje prepojenie medzi predstavou pohybu a svalovou aktivitou je povrchová elektromyografia (polyEMG). Možnosť snímania viac svalov súčasne pomocou polyEMG je vhodný nástroj k vyhodnoteniu neurálnych mechanizmov pohybovej kontroly a umožňuje objektívne zhodnotiť aktiváciu svalov počas predstavy.

Pozitívny vplyv mentálneho tréningu pomocou vytvárania pohybovej predstavy bol veľakrát potvrdený u jednoduchých analytických pohyboch, avšak len málo autorov sa venuje imaginácii komplexných pohybov a skúma prepojenie predstavy s riadiacim systémom. Práve komplexný pohyb ako napr. výstup na schod, ktorý sme hodnotili v diplomovej práci je súčasťou každodenných činností a býva často problematický u pacientov s motorickým a neurologickým deficitom.

Cieľom práce je zhodnotiť svalovú aktivitu proximálnych svalov dolných končatín počas komplexnej predstavy pohybu výstupu na schod, pred fyzickým vykonaním výstupu na schod a pri predstave po reálnom výstupe. Ďalším dielčím cieľom je porovnať rozdielnu aktivitu svalov počas predstavy výstupu na schod dominantnou a nedominantnou dolnou končatinou.

K vyhľadávaniu odborných článkov a výskumov k splneniu cieľov práce boli využité databázy Pubmed, EBSCO, Web of Science a Google Scholar, ProQuest a Science direct. Vyhľadávané boli články publikované v časovom rozmedzí od 1. 1. 2011 do 1. 4. 2021. Pri vyhľadávaní v odborných článkoch boli použité tieto kľúčové slová: predstava pohybu, elektromyografia, povrchová elektromyografia, dominancia, neurofyziológia, svalová aktivácia, respektíve ekvivalenty kľúčových slov v anglickom jazyku: motor imagery, electromyography, surface electromyography, dominance, neurophysiology, muscle activity. Celkom bolo pri vyhľadávaní

nájdených 325 zdrojov, z ktorých bolo do práce použitých 101 anglických zdrojov prevažne z online publikácii a použitý bol 1 knižný zdroj v českom jazyku. Pre hlbšie porozumenie danej problematike boli použité tieto publikácie, ktoré slúžili aj ako vstupná študijná literatúra.

DI RIENZO, F., COLLET, CH., HOYEK, N., GUILLOT, A. 2014. Impact of Neurologic Deficits on Motor Imagery: A Systematic Review of Clinical Evaluations. *Neuropsychology Review* [on-line]. 24(2), 116–147 [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: doi:10.1007/s11065-014-9257-6.

GATTI, R., TETTAMANTI, A., GOUGH, P. M., RIBOLDI, E., MARINONI, L., BUCCINO, G. 2013. Action observation versus motor imagery in learning a complex motor task: A short review of literature and a kinematics study. *Neuroscience Letters* [on-line]. 540, 37-42 [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: doi:10.1016/j.neulet.2012.11.039.

GEIGER, D. E., BEHRENDT, F., SCHUSTER-AMFT, C. 2019. EMG muscle activation pattern of four lower extremity muscles during stair climbing, motor imagery, and robot - assisted stepping: A cross- sectional study in healthy individuals. *Research article* [on-line]. (19) 1-8 [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: doi: 10.1155/2019/9351689.

GENTILI, R. J., PAPAXANTHIS, C. 2015. Laterality effects in motor learning by mental practice in right-handers. *Neuroscience* [on-line]. 297, 231-242 [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: doi: 10.1016j.neuroscience.2015.02.055.

MOKIENKO, O.A., CHERNIKOVA, L. A., FROLOV, A., BOBROV, P. D. 2014. Motor imagery and its practical application. *Neuroscience and Behavioral Physiology* [on-line]. 44 (5), 483–489 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: doi:10.1007/s11055- 014-9937-y.

MUTHA, P. K., HAALAND, K., SAINBURG, R. L. 2012. The effects of brain lateralization on motor control and adaptation. *Journal of Motor Behavior* [on-line]. 44 (6), 455–469 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: doi: 10.1080/00222895.2012.747482.

TONG, Y., PENDY, J.T., LI, W. A., DU, H., ZHANG, T., GENG, X., DING, Y. 2017. Motor imagery – based rehabilitation: Potential neural correlates and clinical application for functional recovery of motor deficits after stroke. *Aging and disease* [on-line]. 8(3), 364–371 [cit. 2020-01-02]. Dostupné z: DOI: 10.14336/AD.2016.1012.

1 Predstava pohybu

Predstava pohybu, v širšom slova zmysle mentálny tréning je populárna metóda, ktorá zahŕňa systematické tréning pohybu bez toho, aby sa pohyb skutočne vykonal (Jackson et al., 2001, s. 1134; Di Rienzo et al., 2016, s. 1). Je to vnútorná reprezentácia pohybu bez zapojenia sa do jeho reálneho fyzického prevedenia. Ide o multimodálny, kognitívny a simulačný proces, ktorý nám umožňuje stvárať vnímané informácie v mysli pri absencii skutočného zmyslového vstupu (Munzert, Lorey a Zentgraf, 2009, s. 306; Moran a O'Shea, 2020, s. 1).

Pri predstave pohybu dochádza k mentálnej stimulácii motorického aktu, čo spôsobuje aktiváciu senzomotorického systému. Predstava má veľa spoločného so skutočne vykonaným pohybom. Podobnosti sa týkajú napr. behaviorálnych a fyziologických parametrov. Súvislosť medzi imagináciou a reálnym pohybom potvrdzujú aj funkčné neuroanatomické koreláty (Decety, 1996, s. 88; Szameitat et al., 2012, s. 266).

V minulosti sa imagináciou zaoberalo viacero vedcov, ktorí empiricky študovali jej efekt. Alan Pavio (1971 in Kosslyn, Ganis a Thompson, 2010, s. 4) bol jeden z tých, ktorý dokázal, že predstava zlepšuje pamäť. Súčasná doba a napredujúce technológie nám umožňujú pomocou zobrazovacích metód, hlavne pozitronovou emisnou tomografiou (PET) a funkčnou magnetickou rezonanciou (fMRI) objektívne potvrdiť vplyv predstavy na aktiváciu centrálnej nervovej sústavy (CNS) u ľudí (Kosslyn, Ganis a Thompson, 2010, s. 4).

Posledné zistenia dokázali, že predstava pohybu a jeho fyzické vykonanie sú funkčne rovnocenné na úrovni zapojenia prekrývajúcich sa mozgových oblastí a dráh, ktoré sa podieľajú na motorickej príprave a vykonaní pohybu, a to vrátane zapojenia premotorických, parietálnych a somatosenzorických kortexov (Holmes a Collins, 2001, s. 61; Di Rienzo et al., 2014, s. 116).

Mentálna predstava a jej vnútorná reprezentácia sú uskutočnené na základe informácií, ktoré sú uložené v pamäti. Avšak nie každá predstava je previazaná s reálnou skúsenosťou a prežitkom. V prípade, že sa predstava neoživí zo známeho vnemu, môže byť vytvorená kombináciou a modifikáciou z uložených perцепčných informácií novým spôsobom. K perцепcii dochádza už pri zaznamenaní informácie z akéhokoľvek zmyslového vstupu (Kosslyn, Ganis a Thompson, 2010, s. 3).

Novodobé výskumy ukazujú, že predstava má široké uplatnenie nielen ako prostriedok pri zvyšovaní výkonnosti u zdravej populácie, ale aj ako prostriedok na redukciu klinických príznakov a obnovu stratenej funkcie u chorej populácie. Zlepšuje motorickú funkciu a taktiež

podnecuje neuroplasticitu a schopnosť mozgu meniť svoju štruktúru ako priamy výsledok opakovaného tréningu (Debarnot et al., 2014, s. 8; Moran a O'Shea, 2020, s. 1).

1.1 Druhy predstavy

Existujú dva druhy vykonávania mentálnej reprezentácie pohybu – implicitná a explicitná predstava pohybu. Implicitná predstava zahŕňa iba sledovanie sekvencií pohybu, kedy sa aktivujú tie isté zrkadlové neuróny, ktoré sú zahrnuté aj pri prevedení daného pohybu. Neuróny sa aktivujú podvedome bez toho, aby pacient cielene predstavu vykonával, pričom vníma fázovanie a sekvenciu pohybu latentne. Explicitná imaginácia spočíva vo vedomej a cielenej predstave pohybu bez vykonania akéhokoľvek skutočného pohybu segmentu (López et al., 2019, s. 2).

Explicitná predstava môže byť realizovaná dvoma rôznymi stratégiami, a to kinestetickou alebo vizuálnou. Pri kinestetickej imaginácii si predstavujeme pohyb z pohľadu prvej osoby, ide o tzv. vnútornú predstavu, ktorá zahŕňa kinestetické vnímanie pohybu. Druhý spôsob imaginácie sa nazýva vizuálny, pretože zahŕňa vizuálnu reprezentáciu pohybu, kedy sa zvyčajne motorická akcia vníma z pohľadu tretej osoby, ale môže byť manifestovaná aj z pohľadu prvej osoby (Neupera a Pfurtscheller, 2010, s. 72). Ide o situáciu keď si jedinec predstavuje z pohľadu prvej osoby napr. hodenie lopty bez toho, aby skutočne pohyb vykonal, aktivujú sa pritom časti mozgovej kôry, ktoré súvisia s iniciáciou pohybu (Tong et al., 2017, s. 365).

Kinestetický spôsob predstavy pohybu zahŕňa rovnakú neurónovú sieť ako motorické plánovanie, o ktorom sa predpokladá, že ho riadia rovnaké štruktúry CNS ako pri realizácii pohybu (Johnson-Frey, 2004, s. 329; Szameitat et al., 2012, s. 266). Tento druh imaginácie môže obsahovať všetky úrovne organizácie pohybu, vrátane svalového tonusu, či synergií, ktoré sú potrebné na danú činnosť. Predstave môže predchádzať samotné znázornenie pohybu, aby došlo k integrácii a vnímaniu kinestetických senzoričných signálov z polohy a plánovanej hybnosti segmentu bez skutočných pohybov (Lee et al., 2019, s. 11). V rámci kinestetickej predstavy môžeme využívať rôzne modalítity na základe skutočne generovaných senzoričných informácií, ktoré by pacient počas skutočného pohybu dostal. Sú to haptické vnemy s využitím kožných exteroceptorov na obnovenie interakcie s vonkajším prostredím, vizuálne vnemy s vnútornou perspektívou alebo to môžu byť sluchové podnety. Tieto modalítity je možné použiť nezávisle alebo ich kombinovať na zosilnenie aktivácie senzomotorického systému počas imaginácie (Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 2).

Vizuálny druh predstavy pohybu je zo subjektívneho hodnotenia pomocou dotazníkov pred aj po meraní vnímaný ako menej náročný spôsob predstavy. Preto je zaujímavé, že počas vizuálnej predstavy dochádza k menšej aktivácii mozgových oblastí aj z pohľadu prvej, aj z pohľadu tretej osoby. Napríklad v okcipitálnom laloku nie je zaznamenaná žiadna aktivita. Pri porovnávaní výsledkov vizuálnej predstavy z pohľadu prvej a tretej osoby, bola perspektíva prvej osoby efektívnejšia. Zistená bola silná aktivácia ľavej hemisféry, a to konkrétne v oblasti inferiórneho parietálneho laloku (Lee et al., 2019, s. 11).

V súvislosti s rehabilitáciou sa na podporu lepšej motorickej regenerácie a zlepšenia funkčnosti pohybu u pacientov s neurologickým deficitom odporúča ako efektívnejší nástroj kinestetický spôsob predstavy (Lee et al., 2019, s. 11). Štúdia, ktorá porovnávala efektívnosť jednotlivých stratégií pomocou elektroencefalografie (EEG) získala lepšie výsledky pri kinestetickej predstave ako pri vizuálnej. Pri vizuálnej stratégii predstavy sa nepodarilo detegovať jasnú oblasť aktivácie mozgu, kým pri vnímaní pohybu EEG zaznamenalo výraznejšiu aktivitu v blízkosti parieto-okcipitálnej oblasti (Neuper a Pfurtscheller, 2010, s. 72).

2 Neurofyziológia predstavy pohybu

Na nadobudnutie nových motorických zručností sú najefektívnejšie stratégie predstavy pohybu a pozorovania danej pohybovej činnosti. Oba spôsoby majú rovnaké neurofyziologické mechanizmy, ktoré využívajú zrkadlové neuróny. Funkčné rozdiely medzi týmito stratégiami a samotným vykonaním pohybu sú primárne v absencii senzorickej spätnej väzby, ktorú poskytuje prostredie pri fyzickom prevedení (Di Rienzo, et al., 2014, s. 116).

Štúdie zaoberajúce sa neurofyziológiou počas imaginácie preukázali aktiváciu regiónov motorickej oblasti, parietálnych lalokov, dorzálnej aj ventrálnej časti premotorickej kôry, prefrontálnej oblasti, dolnej časti frontálneho gyru, temporálneho gyru, primárnej motorickej kôry (M1), primárnej senzorickej kôry, bazálnych ganglií a mozogka. To znamená, že predstava pohybu je spojená s činnosťou rôznych oblastí mozgu, z ktorých niektoré sú osobitne zapojené pri vykonávaní a predstavovaní aktivity. Z čoho vyplýva, že zrkadlové neuróny sú aktívne počas pozorovania pohybu, ale aj počas predstavy vykonávania pohybovej aktivity. Dokonca aj pri snoch s motorickým obsahom sú zrkadlové neuróny aktívne aj napriek tomu, že vykonanie pohybu skutočne nenastalo (Gatti et al., 2013, s. 38).

Tiež bolo preukázané, že počas predstavy pohybu bola excitabilita kortikospinálneho traktu modulovaná rovnakými časovými a priestorovými charakteristikami ako počas skutočných pohybov (Mokienko et al., 2014, s. 484). Ak sú navyše pri pozorovaní a predstave pohybu zahrnuté aj rôzne zmyslové vstupy napr. vizuálne, sluchové alebo propioceptívne zvyšuje sa excitabilita kortikospinálnych dráh, aj keď samotný pohyb absentuje (Chatterjee, 2018, s. 243).

2.1 Zrkadlové neuróny

Prvý objav zrkadlových neurónov bol identifikovaný u opíc, konkrétne v ich premotorickej oblasti F5. Toto zistenie odhalilo mechanizmus, ktorý umožňuje naučiť sa danú motorickú akciu na základe pozorovania a osvojiť si ju do svojho mozgu. Neuróny so zrkadlovými vlastnosťami boli nájdené vo frontálnej aj parietálnej oblasti, kde tvoria celý neurónový systém (Gatti et al., 2013, s. 38). Neskôr bola odhalená existencia neurónov s rovnakými charakteristikami ako v oblasti F5 aj v dolnej časti temenného laloku opíc (Cengiz et al., 2018, s. 497). Pomocou transkraniálnej magnetickej stimulácie (TMS) je možné neinvazívne vyšetriť systém zrkadlových neurónov aj u ľudí. Keď sa TMS robila súčasne s

pozorovaním danej činnosti, amplitúda motoricky evokovaných potenciálov sa zvyšovala (Fadiga et al., 1995, s. 2610; Brence a Powers, 2016, s. 12).

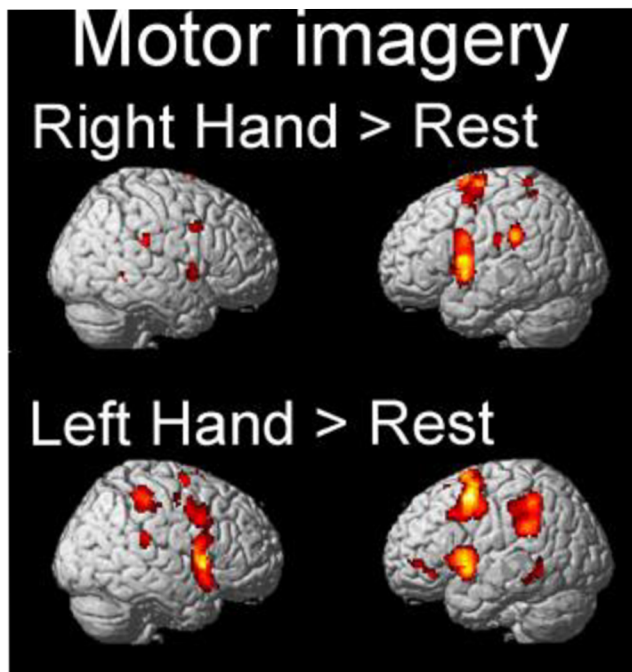
Zrkadlové neuróny sa vždy aktivujú v zodpovedajúcej oblasti premotorickej kôry podľa danej motorickej akcie. Aktivovaná oblasť kôry počas pozorovania alebo predstavy zodpovedá tomu, čo sa generuje počas aktívneho pohybu (Brence a Powers, 2016, s. 12). Štúdie, ktoré na objektivizáciu využívajú zobrazovacie metódy potvrdili, že aj v mozgovej kôre ľudí existujú celé neurálne siete tvorené zrkadlovými neurónmi. Tieto neurálne siete sú anatomicky a funkčne porovnateľné s oblasťami zrkadlových neurónov opice (Aziz-Zadeh et al., 2006, s. 2964).

Zistenie, že motorický systém sa aktivuje už pri pozorovaní pohybu viedlo k využitiu tejto techniky ako terapeutického prostriedku, a to napr. u pacientov po cievnej mozgovej príhode (CMP) (Small et al., 2012, s. 294). Aktivácia zrkadlových neurónov pri pozorovaní sa uplatňuje aj pri motorickom učení, kedy sa snažíme novému pohybu porozumieť a čo najpresnejšie ho napodobniť (Brence a Powers, 2016, s. 12).

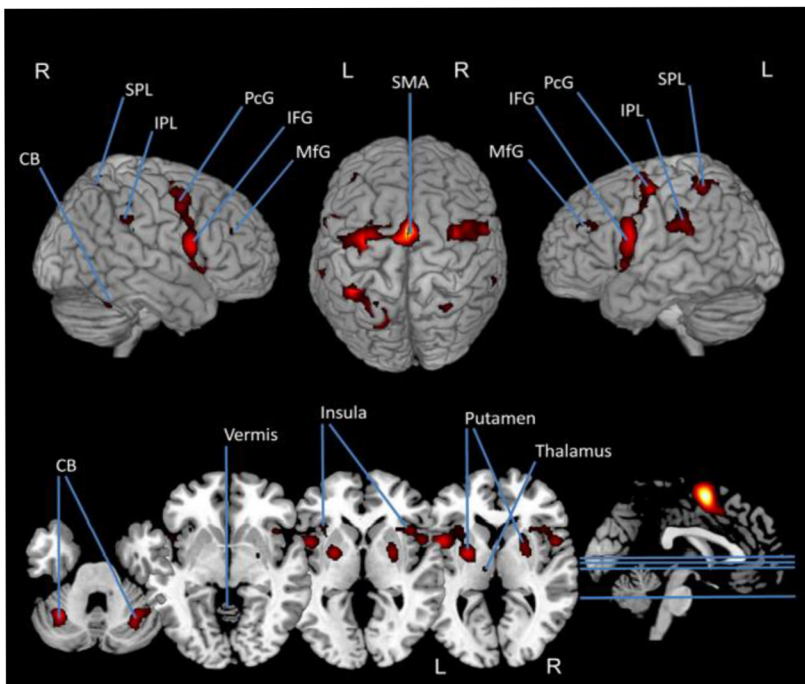
2.2 Aktivácia častí centrálnej nervovej sústavy

Kortikálne a subkortikálne oblasti mozgu, ktoré sú aktivované počas predstavy pohybu sa zhodujú s oblasťami, ktoré sú aktivované počas vykonávania fyzického pohybu. Tieto neurálne koreláty boli zistené v jednotlivých mozgových štruktúrach pomocou zobrazovacích metód (Tong et al., 2017, s. 365). Stupeň mentálneho úsilia počas predstavy tiež ovplyvňuje kortikálnu činnosť v zmysle prítomných hemodynamických zmien v mozgu. Čím lepšie a živšie je prevedenie predstavy, tým väčšie sú zmeny v CNS (Wriessnegger et al., 2017, s. 6).

Aktivácia častí CNS pri predstave pohybu sa často ozrejmuje pomocou fMRI. Pri komplexnej predstave pohybu dominantnej pravej hornej končatiny (HK) do flexie a extenzie bola zaznamenaná aktivita v oblasti ľavej suplementárnej oblasti a primárnej somatosenzorickej kôry. V pravej hemisfére bola lokalizovaná aktivita v premotorickom kortexe. Pri pohybe nedominantnej ľavej HK bol tiež aktivovaný región ľavej suplementárnej oblasti, ako aj premotorický kortex, infériorny frontálny gyrus, mozoček a bazálne ganglia. V pravej hemisfére sa zapojil premotorický kortex, putamen a mozoček. Iba pri predstave týchto jednoduchých situácií bola pozorovaná aktivita v mnohých oblastiach mozgu (Mizuguchi et al., 2014, s. 70).



Obrázok 1 fMRI zobrazujúce aktivované časti mozgu počas predstavy pohybu HK (Mizuguchi et al., 2014, s. 72)



Obrázok 2 Konštantne aktivované regióny CNS počas predstavy pohybu (Hetu et al., 2013, s. 934)

Legenda SMA – suplemenetárna motorická oblasť, CB – mozoček IFG - inferórny frontálny gyrus, MfG – stredný frontálny gyrus IPL/SPL – inferiórny/ superiórny parietálny lalok, PcG – precentrálny gyrus,

2.1.1 Mozoček a bazálne gangliá

Časti mozgovej kôry, ktoré sú spojené s motorickým riadením zahŕňajú primárny motorický kortex (M1), suplementárnu motorickú oblasť a premotorickú kôru. Všetky tieto kortikálne oblasti sú úzko spojené s mozočkom a bazálnymi gangliami. Tvoria slučkové systémy, ktoré sú zodpovedné za spätnoväzbovú kontrolu, kortikálnu moduláciu a koordináciu (Tong et al., 2017, s. 365).

Mozoček zohráva dôležitú úlohu v motorickom riadení pohybu a informuje o podnetoch z kontralaterálnej oblasti M1, zo senzorickej kôry a z miechy. Kortikopontocerebelárna dráha nesie informácie o kortikálnej kontrole pohybu. Okrem toho má mozoček aj vnútornú inhibičnú dráhu, čo potvrdzuje aktiváciu mozočka nielen počas pohybu, ale aj počas predstavy. Práve aktivácia tejto dráhy zodpovedá za inhibičný mechanizmus mozočka počas predstavy (Cengiz a Boran, 2016, s. 156). Štúdia, ktorá využívala cerebelárnu TMS jednosmerným prúdom preukázala tlmivý účinok mozočka na predstavu a zamedzenie eferentných impulzov na miešnej úrovni a na úrovni pohybu kostrových svalov (Tong et al., 2017, s. 365).

Guillot a kol. (2008, s. 1477) preukázali, že schopnosť vedieť si predstaviť pohyb závisí od funkcie putamen. U ľudí, pre ktorých bola predstava náročná boli aktivované predné asociatívne oblasti, zatiaľ čo u ľudí s dobrou a živou predstavivosťou bola prítomná aktivácia v zadnej senzomotorickej oblasti putamen.

Ďalšie skúmanie oblasti putamen ukázalo, že ľavá časť je súčasťou pohybovej pamäte a bráni vstupu nepodstatných informácií do ukladania pamäte. Lézia v oblasti ľavého putamen vedie k porušeniu neurónových spojov medzi striatom, čo môže spôsobiť nerovnováhu a narušenie chôdzového mechanizmu (Baier et al., 2010, s. 9791). Počas predstavy pohybu sa vytvára vnútorný model pohybovej akcie, ktorý sa môže ukladať do motorickej pamäti, a to v závislosti na kvalite a živosti predstavy. U pacientov s deficitom v oblasti putamen, je prítomná porucha motorickej pamäti, čo negatívne ovplyvňuje prevedenie predstavy pohybu (Malouin, 2008, s. 318; Oostra et al., 2016, s. 5).

2.1.2 Premotorické, suplementárne a prefrontálne oblasti

Do procesov predstavy sú zahrnuté aj premotorické a suplementárne motorické oblasti, ktoré zohrávajú kľúčovú úlohu pri plánovaní, príprave a kontrole pohybu. Špecifickú úlohu zohrávajú suplementárne oblasti, ktoré majú supresívny účinok na oblasť M1. Štúdia využívajúca magnetoencefalografiu (MEG) ukázala, že niektoré neuróny suplementárnej

oblasti inhibujú aktivitu M1, a tým zabránia vykonaniu pohybu, zatiaľ čo pri vykonávaní pohybu bol účinok suplementárnych oblastí na M1 neobmedzený a pohyb prebehol (Tong et al., 2017, s. 366).

Prekrývajúcu činnosť mozgových oblastí počas imaginácie potvrdila aj dorzálna časť premotorickej kôry, ktorá je základným zdrojom predstavy pohybu a motorickej činnosti. Predpokladáme, že dorzálna časť súvisí s riadením impulzov, ktoré obmedzujú predčasné spustenie motorickej reakcie, čo je kľúčové pri predstave. Výsledky výskumu zaoberajúceho sa predstavou pohybu u pacientov s amputáciou dokázali aktiváciu dorzálnych neurónov premotorickej kôry výlučne pri úlohách predstavy, zatiaľ čo pri motorickom prevedení sa aktivácia týchto neurónov neobjavila (Raffin et al., 2012, s. 587).

Otázna bola aktivácia ventrálnej časti premotorickej kôry, ktorú však potvrdil Mizuguchi a kol. (2014, s. 73), a to počas predstavy pohybu horných a dolných končatín. Aj ďalšie štúdie na primátoch preukázali, že obe časti kôry hrajú kľúčovú úlohu pri plánovaní, príprave a vykonávaní motorických akcií (Tong et al., 2017, s. 366).

Hlavná aktivita v prefrontálnej oblasti je spájaná s kognitívnymi procesmi, ale tiež sa táto oblasť podieľa aj na inhibičnej kontrole pohybu počas štádia motorickej prípravy. Na dokázanie spojitosti medzi predstavou pohybu a aktivitou prefrontálnej oblasti využívali štúdie fMRI, ktorá potvrdila prepojenie medzi aktivitou prefrontálneho regiónu a imagináciou (Tong et al., 2017, s. 366). U pacientov po CMP, ktorí mali oblasť lézie v prefrontálnej oblasti bola ovplyvnená kvalita a živosť predstavy. Slabé časové spojenie medzi predstavou pohybu a skutočným pohybom bolo spojené s léziami v traktoch bielej hmoty presne lokalizovanými v hornej časti ľavej hemisféry (Oostra et al., 2016, s. 5).

2.1.3 Primárny motorický kortex

Primárny motorický kortex M1 sa funkčne definuje ako oblasť, kde je možné zachytiť maximálny motorický potenciál stimulovaného svalu. Čím je pohyb v predstave komplexnejší, tým viac sa vzbudzuje aktivita v oblasti M1 (Lotze a Zentgraf, 2010, s. 35). Štúdia, ktorá na objektivizáciu používala fMRI jasne demonštrovala aktivitu v oblasti M1 počas predstavy komplexného pohybu prstu (Sharma et al., 2008 in Lotze a Zentgraf, 2010, s. 38). U pacientov s obmedzenou motorickou funkciou môže byť aktivácia M1 počas imaginácie prospešná pre opätovné nadobudnutie motorických vzorov, ktoré boli narušené. Szameitat a kol. (2012, s. 279) dospeli k záveru, že schopnosť aktivovať oblasť M1 počas predstavy je najslubnejší

prístup k aktivácii motoriky hemiparetickej strany u pacientov po CMP. Pričom v štúdií porovnávali pasívny pohyb, pozorovanie pohybu a predstavu pohybu.

Ďalšia štúdia, ktorá skúmala funkčné prepojenie medzi M1 a ďalšími štruktúrami mozgu pomocou fMRI u zdravých ľudí a u pacientov po CMP poukázala na zmenu funkčného prepojenia a narušené motorické dráhy u pacientov po CMP v porovnaní so zdravou kontrolnou skupinou. Výsledky odhalili štatisticky významnú koreláciu medzi zmenami funkčnej konektivity dráh po terapii predstavou pohybu. Pre nedostatočný počet pacientov a probandov je potrebný ďalší výskum, ktorý by presnejšie potvrdil úlohu oblasti M1 pri imaginácii (Tong et al., 2017, s. 367).

2.1.4 Parietálny kortex

Parietálny kortex zohráva dôležitú úlohu v senzorickej integrácii a vo vykonávaní pohybu, ale zúčastňuje sa aj na predstave pohybu, čo potvrdili najnovšie poznatky z výsledkov fMRI. Bolo zistené, že parietálna oblasť sa aktivovala diferencovane počas skutočného pohybu rukou a počas predstavy pohybu rukou. Posteriórna časť parietálnej kôry sa ukázala ako aktívnejšia pri imaginácii ako pri motorickom vykonaní pohybu. Časti parietálneho kortexu, ako superiórny a inferiórny lalok alebo supramarginálny gyrus sa tiež podieľajú na úlohách súvisiacich s predstavou pohybu. Tieto štruktúry zabezpečujú živú a reálnu predstavu, a preto sú nevyhnutné pri imaginácii. U jedincov s léziou v parietálnej oblasti bola najviac poškodená schopnosť vykonať predstavu (Tong et al., 2017, s. 367). Na druhej strane u zdravých ľudí konkrétne u profesionálnych tanečníkov, ktorí sú schopní tvorivej a komplexnej predstavy tanečnej improvizácie, bola kortikálna aktivácia posteriórneho parietálneho regiónu počas imaginácie značne väčšia ako u začínajúcich tanečníkov (Fink et al., 2009, s. 861; Touche et al., 2019, s. 180).

3 Predstava vo fyzioterapii

Mentálny tréning v podobe predstavy pohybu je často používaný u zdravých ľudí ako jedna zo stratégií motorického učenia, ale nájde svoje nezastupiteľné miesto a využitie aj pri pacientoch v rehabilitačnej starostlivosti (Malouin, Jackson a Richards, 2013, s. 16; Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 1).

Motorický deficit zostáva jedným z hlavných a často najviac limitujúcim príznakom po poškodení mozgu. Na liečbe motorických deficitov sa vo veľkej miere podieľa fyzioterapia. Pri výraznejšej strate funkcie sú potrebné rôzne prístupy na podporu obnovy motorického systému, a to často bez potreby aktívneho zapojenia poškodeného segmentu. Jeden z prístupov, ktorý spĺňa tieto podmienky a výrazne napomáha k znovunavrátaniu funkcie je predstava pohybu (Szameitat et al., 2012, s. 266).

Imaginácia pohybu je terapeuticky relevantná technika na podporu a obnovu motorickej funkcie po neurologických poruchách. Predstavovanie pohybu má spoločné neurofyziologické a psychologické základy s fyzickým tréningom. Akútne aj progresívne neurologické poruchy ovplyvňujú mozgové motorické siete a potenciálne zmeny v neurálnych sieťach zrkadlových neurónov je možné vyvolať tréningom predstavy pohybu (Di Rienzo et al., 2014, s. 113).

3.1 Motorické učenie

Pohybové učenie zahŕňa niekoľko vzájomne prepojených komponentov, ktoré na seba nadväzujú. Patrí sem spracovanie a zber senzorických informácií charakteristických pre danú akciu, ako aj výber vhodnej pohybovej stratégie, ktorú definujú správne zvolené parametre ako napr. smer, doba trvania či sila pohybu. Proces taktiež zahŕňa aktiváciu dopredného mechanizmu (z anglického „feedforward“) a reaktívne biomechanické riadiace procesy, ku ktorým dochádza počas prevedenia pohybu (Wolpert a Flanagan, 2001, s. 729; Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 1).

Proces motorického učenia ovplyvňujú dva hlavné aspekty. Prvý aspekt predstavujú interné somatosenzorické informácie, ktoré sa týkajú zrakových podnetov a informácií z nášho tela. Druhý aspekt tvorí reprodukcia motorického prejavu. Učenie pohybu zahŕňa pozorovanie a následný prenos vizuomotorických informácií do motorickej činnosti (Touche et al., 2019, s. 180).

Fyzické tréningovanie pohybu je pre získavanie a upevnenie nových motorických schopností nepochybne nevyhnutné, ale na podporu motorického učenia je vhodné zaradiť aj

doplňkové metódy. Ako najlepší doplnok pri nadobúdaní motorických schopností sa javí predstava pohybu a pozorovanie danej akcie (Pascual-Leone et al., 1995, s. 1038; Naish et al., 2014, s. 331; Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 1). Počas pozorovania pohybu vizuálne informácie implicitne aktivujú zrkadlový neurónový systém, ktorý môže zlepšiť proces motorického plánovania pozorovateľa (Pozzo et al., 2006, s. 76). Sieť zrkadlových neurónov sa aktivujú aj pri predstave, kedy k reálnemu pohybu nepríde. V poslednej dobe sa téme efektívnej stratégie motorického učenia pomocou predstavy venovalo niekoľko výskumov (Heremans et al., 2011, s. 37).

Viacero štúdií sa zaoberalo otázkou, aký vplyv má pohyb očí počas predstavy na nadobudnutie novej pohybovej zručnosti. Výsledky ukázali, že presnosť a efektívnosť pohybových úloh sa zvýšila vo väčšej miere potom, čo bol do programu imaginácie zaradený aj pohyb očí. Najlepšie výsledky dosiahla skupina, ktorá počas imaginácie nasledovala očami trajektóriu pohybu. Tieto zistenia naznačujú, že pohyby očí počas predstavy pohybu ovplyvňujú priestorové vnímanie nového trénovaného pohybu (Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 5). Pohyb očí má pri predstave účinok aj na centrálné znázornenie pohybového vzoru a na koordináciu. Počas procesu motorického učenia pomocou predstavy môže CNS integrovať pohyby oka do interného prediktívneho modelu, a tým uľahčiť presnosť celého pohybu (Heremans et al., 2011, s. 43).

Po nácviaku predstavy pohybu má na motorickú pamäť veľmi pozitívny účinok spánok. Odpočinok, či už vo forme nočného spánku alebo zdriemnutia počas dňa, vyvolal po tréningu predstavy pohybu zlepšenie výkonu. Konkrétne sa zlepšila presnosť a trvanie pohybu, čo odráža významný konsolidačný proces počas spánku. U skupiny, ktorá po predstave pohybu nespala, nedošlo k žiadnemu zvýšeniu parametrov výkonu. Proces konsolidácie je zvýraznený po nočnom spánku, kedy sa podporuje neuroplasticita spustená mentálnym tréningom (Debarnot et al., 2015, s. 90).

3.2 Neurorehabilitácia

Vychádzajúc zo štúdií predstavy pohybu na zdravých subjektoch sa výskum presunul na klinickú stránku a využitie techník imaginácie a pozorovania ako prostriedku opätovného učenia a eliminácie motorického deficitu. Jeden z hlavných dôvodov, prečo sa toľká pozornosť sústredila na tieto terapeutické techniky je to, že zaradenie predstavy do neurorehabilitácie môže zvýšiť a posilniť účinky bežnej pohybovej fyzioterapie. Pri tejto kombinácii dochádza k súčasnému posilneniu periférnych a centrálnych obvodov zapojených do pohybovej terapie

a k zapojeniu vyššej centrálnej úrovne anticipačných motorických oblastí mozgu pri predstave (Mulder, 2007, s. 1277; Caligiore, 2017, s. 211 - 212).

Využívanie predstavy pohybu v neurorehabilitácii býva vždy súčasťou kompletného terapeutického plánu. Zaradenie imaginácie do liečebnej stratégie na obnovu stratených funkcií má niekoľko výhod, napr. pacientovi umožňuje náročnejšie alebo zložitejšie motorické úlohy, ako je chôdza. Tiež je prítomné menšie riziko preťaženia pacienta a ďalšieho poškodenia ako napr. pád, ktorý je často dôsledok zvýšenej únavy pacienta. Eliminuje sa tiež prítomnosť autonómnych, vegetatívnych reakcií. Pacient môže predstavu vykonávať kdekoľvek a kedykoľvek a tiež môže bezpečne zvyšovať počet opakovaní a trvanie (Nascimento, 2019, s. 2).

3.2.1 Predstava pohybu a cievna mozgová príhoda

Vzhľadom k tomu, že je možné tréning pomocou predstavy pohybu efektívne vykonávať bez väčších rizík aj doma, je tento typ terapie vhodná alternatíva rehabilitácie u pacientov po CMP, ktorí majú problémy pri chôdzi (Dickstein et al., 2014, s. 268). Štúdiá zaoberajúca sa predstavou pohybu u pacientov po CMP v subakútnom štádiu poukázala na prepojenie medzi predstavou chôdze a fyzickým prevedením. S pozorovaním pacienta pri imaginácii chôdze sa dokázala aktivita tých istých oblastí mozgu ako pri realizácii pohybu. Tiež sa ukázalo, že tréning predstavy napomáha k funkčnému obnoveniu pohybu. Avšak konkrétny vzťah medzi predstavou chôdze a samotnou chôdzou je v závislosti od štúdií rozdielny. Hypotézy, ktoré sa zhodujú hovoria o súvisi medzi rýchlosťou chôdze v predstave a pri testovaní, o korelácii medzi imagináciou chôdze a poruchami zmyslových funkcií a o prepojení závažnosti CMP a ADL (activity of daily living) (Sakai a Ikeda, 2019, s. 992 - 994).

Emerson a kol. (2018, s. 238) vo svojej analýze skúmali dve techniky mentálneho tréningu, a to predstavu pohybu a pozorovanie vykonávaného pohybu v rámci neurorehabilitácie u pacientov po CMP. Predstava pohybu priniesla zlepšenie hlavne u pacientov s ischemickou CMP, u ktorých bol hlavný motorický deficit na hornej končatine. V porovnaní s kontrolnou skupinou došlo k zmene už počas obdobia štyroch týždňov. Z existujúcich informácií vyplývajú presvedčivé dôkazy o tom, že kombinácia techník predstavy a pozorovania vyvoláva zvýšenú aktivitu v motorických oblastiach mozgu a väčšiu stimuláciu, ak sa v terapii dané techniky používajú súčasne. Z týchto dôvodov sa odporúča techniky v rehabilitácii u pacientov s CMP aplikovať súčasne aj s doplnením fyzického cvičenia za účelom priameho ovplyvnenia neuroplasticity (Emerson et al., 2018, s. 246).

Pacienti po CMP majú v závislosti od oblasti lézie rôzne poruchy a deficity nielen motorické, ale aj zmyslové, perцепčné a kognitívne. Lee a Cha sa zaoberali práve tematikou kognitívnej limitácie terapie pri využívaní predstavy pohybu a zrkadlovej terapie. Výsledky ukazujú, že pri ľahkej kognitívnej poruche je vhodnejšie zvoliť ako terapiu predstavu pohybu a u skupiny s väčšou kognitívnou poruchou je efektívnejšia zrkadlová terapia (Lee a Cha, 2019, s. 335).

3.2.2 Predstava pohybu a Parkinson

Parkinsonova choroba ovplyvňuje senzorické a kognitívne funkcie, ale aj motorické funkcie, ktoré vedú k zhoršeniu propriocepcie a kinestézie. Pre pacientov s touto chorobou sa javí predstava pohybu ako sľubný nástroj rehabilitácie, pričom dobré výsledky sa dosahujú najmä s kinestetickou technikou predstavy. Najväčší prínos predstavy pre ľudí s Parkinsonom je uľahčenie vedomého motorického plánovania pohybu a jeho samotné vykonanie. Mentálny tréning využíva proprioceptívne a kinestetické informácie, a preto predstava potenciálne zvyšuje povedomie a vnímanie svojho vlastného tela. Na druhej strane u ľudí s Parkinsonom často dochádza k proprioceptívnemu a kinestetickému deficitu, čo môže byť pri terapii limitujúce (Abraham et al., 2018, s. 2).

Účinná je v terapii predstava zameraná na prípravu funkčných pohybových úkonov ako je prechod cez úzke dvere alebo chôdza medzi prekážkami. Zaradenie predstavy do terapie môže znížiť amplitúdu pohybu a zaťaženie v reálnej situácii a zároveň upraviť rýchlosť (El-Wishy a Fayez, 2013, s. 35). Štúdie, ktoré spájali predstavu pohybu s pohybovou terapiou u pacientov s Parkinsonovou chorobou preukázali výrazný pokles bradykinézy a zlepšenie kinematických aspektov chôdze. Iná štúdia, ktorá porovnávala imagináciu s relaxačnými technikami u pacientov s Parkinsonom nepreukázala významné zlepšenie mobility u týchto pacientov. Celkový výstup z výskumu však hovorí o účinnejšom zlepšovaní motorických funkcií u pacientov, ktorí v terapii absolvovali okrem pohybovej rehabilitácie aj predstavu pohybu (Nascimento, 2019, s. 2).

Spoločné zistenia z rôznych štúdií sa zhodujú v tvrdení, že mentálny tréning predstavy pohybu môže zlepšiť alebo spomaliť zhoršenie motorických schopností u pacientov s Parkinsonom. Pri predstave sa vyvoláva väčšia nervová aktivácia kortikálnej aj subkortikálnej siete, ktorá dohliada na motorické riadenie. Preto posilnenie tejto siete, ktorá na začiatku štádia ochorenia nebude výrazne narušená, môže čiastočne kompenzovať poškodené motorické

oblasti (Peterson et al., 2012, s. 130; Caligiore et al., 2017, s. 220). Za účelom zmierenia poškodení súvisiacich s týmto ochorením je obzvlášť užitočné pôsobiť na neurálne siete, ktoré sprostredkujú motorickú reprezentáciu pohybu. Ide hlavne o presnosť a rýchlosť pohybu, ale aj o postupnosť sekvencií, ktoré samotný pohyb tvoria. Hlavnou výhodou predstavy pohybu v rehabilitácii u pacientov s Parkinsonom stále zostáva bezpečnosť, neinvazívnosť, finančná nenáročnosť a možnosť praktikovať terapiu kdekoľvek (Caligiore et al., 2017, s. 220).

3.2.3 Predstava pohybu a transverzálna lézia miechy

Poranenie miechy je ťažký klinický stav, ktorý často spôsobuje úplný alebo čiastočný motorický deficit. Pacienti majú problém s pohybom v závislosti od úrovne lézie. Imaginácia by mohla byť potenciálny nástroj na zlepšenie funkcie a uľahčenie vykonávania pohybu. Doterajšie zistenia naznačujú, že pri konkrétnej dynamickej predstave pohybu je u pacientov s poranenou miechou zmenená kortikálna aktivácia aj napriek poruche neurálneho prepojenia (Alkadhi et al., 2005, s. 131; Scandola et al., 2017, s. 305). Potvrdil sa aj pozitívny účinok predstavy pohybu v terapii u pacientov, ktorí nemali úplne plegické končatiny. U paraplegických pacientov síce nebol pozorovaný dlhodobjší vplyv predstavy pohybu na motoriku pacientov, ale prítomná bola zhodná aktivácia určitých oblastí mozgu s kontrolnou zdravou skupinou (Tomschewski et al., 2017, s. 2). To či si pacienti v priebehu času implementujú nové motorické a kognitívne stratégie je však stále nejasné (Hotz-Boendermaker et al., 2008, s. 390; Fiori et al., 2014, s. 211).

Scandola a kol. (2017, s. 323) vo svojej štúdií zistili, že vizuálna aj kinestetická perspektíva predstavy môžu byť ovplyvnené pacientovými schopnosťami ovládať svoje telo, tak ako je to dané somatotopickou organizáciou. Úroveň a úplnosť lézie, časový interval od vzniku lézie, motivácia pacienta a bolesť boli hlavné faktory, ktoré ovplyvňovali účinok predstavy. Všetky zmeny percepcie po motorickej predstave u pacientov s transverzálnou miešnou léziou, pravdepodobne, odrážajú zložité procesy neurálnej, kortikálnej a subkortikálnej reorganizácie (Tidoni et al., 2014, s. 620; Scandola et al. 2017, s. 323).

3.3 Predstava pohybu v športe

Výskumy z oblasti športu v posledných rokoch priniesli niekoľko nových informácií o pozitívnych účinkoch imaginácie na pohybový výkon (Driskell, Copper a Moran, 1994, s. 490;

Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 1). U športovcov, ale aj umelcov, hudobníkov a tanečníkov, u ktorých bola okrem fyzického tréningu zaradená do praxe aj predstava danej aktivity došlo k zlepšeniu danej zručnosti. Zlepšenie nastalo vo viacerých parametroch motorického výkonu, ako je svalová sila, rýchlosť, flexibilita, koordinácia či variabilita pohybu (Pascual-Leone et al., 1995, s. 1042; Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 4). Predstava prispela aj k presnosti vykonávania pohybu, ako aj k rýchlejšiemu nadobudnutiu novej motorickej zručnosti (Mokienko, 2014, s. 485).

Zaujímavé je zistenie, že benefity predstavy pohybu v tréningu závisia od konkrétnych faktorov, ako napr. od druhu stratégie predstavy, ktorá môže byť kinestetická alebo vizuálna, od chronológie medzi imaginárnym a skutočne vykonaným pohybom alebo od prostredia, v ktorom sa tréning vykonáva (Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 4).

Nedávny výskum preukázal, že športovci sa líšia svojou schopnosťou predstavy v závislosti od typu vykonávaného športu a stupňa trénovanosti (Dana a Gozalzadeh, 2017, s. 15; Touche et al., 2019, s. 179). U športovcov, ktorí robia individuálny šport (napr. tenis) boli preukázané lepšie schopnosti imaginácie ako u tých, ktorí sa venujú kolektívnym športom (napr. volejbal a ragby). V porovnaní s hráčmi iných športov mali tenisti vyššie hodnotenie vizuálnej aj kinestetickej predstavy (Di Corrado et al., 2019, *in press*). Výber vhodnej stratégie predstavy u športovcov závisí od úlohy alebo zručnosti, ktorú chceme rozvinúť. Prínosom pre nácvik novej zručnosti môže byť aj meniace sa prostredie, kedy môžu vizuálne informácie pozitívne ovplyvniť externú vizuálnu predstavu (Dana a Gozalzadeh, 2017, s. 4).

Touche a kol. (2019, s. 187) sa v práci zaoberali schopnosťou predstavy u profesionálnych tanečníkov a bežnej populácie. U tanečníkov boli preukázané lepšie schopnosti motorickej imaginácie spojené s kratším časom potrebným na vytvorenie predstavy a jej implementácie do praxe. Súčasný výsledky naznačujú, že pre tanečníkov bola stratégia vizuálnej motorickej predstavy ľahšia na vykonanie ako kinestetická stratégia. Zaradenie pravidelného mentálneho tréningu predstavy môže byť pre profesionálnych tanečníkov veľmi prínosné aj ako prostriedok na zdokonaľovanie techniky, učenia a tvorby choreografie.

Niekoľko publikácií preukázalo prepojenie medzi predstavou športového výkonu a zmenou fyziologických parametrov. Sledované parametre boli srdcový rytmus a dychová frekvencia u dvoch skupín probandov predstavujúcich si pohyb a vykonávajúcich pohyby nôh. Skutočné aj imaginárne pohyby boli sprevádzané zvýšením srdcovej aj dychovej frekvencie (Decety et al., 1993, s. 561; Mokienko, 2014, s. 484).

Pozitívne výsledky v športovom tréningu sa odzrkadlili aj na správnej elektromyografickej (EMG) aktivite svalov po zaradení motorickej imaginácie do tréningu. V

štúdiu, kde boli probandi športovci v juniorskom veku bola prítomná pri predstave flexie v lakti väčšia EMG aktivita svalov ako u druhej skupiny pozostávajúcej z nešportovcov (Geiger et al., 2019, s. 2).

3.3.1 Modely predstavy využívané v športe

Existuje niekoľko modelov, ktoré ponúkajú podrobný popis kľúčových zložiek obsahu predstavy pohybu, napr. model PETTLEP (Holmes a Collins, 2001, s. 61) a model MIIMS (Guillot a Collet, 2008, s. 34). Model PETTLEP pokrýva všetky dôležité aspekty, ktoré sa dajú používaním predstavy v tréningu dosiahnuť. Služi na identifikovanie a rozčlenenie častí tréningu imaginácie tak, aby športovec dosiahol maximálny možný prínos zo zaradenia predstavy do tréningového procesu (Guillot a Collet, 2008, s. 34).

Model PETTLEP (physical, environment, timing, task, learning, emotion, perspective) od Holmesa a Collinsa (2001, s. 61) obsahuje sedem prvkov odvodených z neurofyziologických a behaviorálnych poznatkov. Prvá je fyzická zložka, ktorá súvisí s fyzickou podstatou predstavy, t.j. zvýšenie napätia svalov alebo uvoľnenie. Ďalšiu zložku tvorí prostredie, ktoré môže pôsobiť stimulačne a napodobňovať podmienky, kde sa motorický výkon uskutočňuje. Tretia zložka je načasovanie týkajúce sa dôležitosti rovnakého trvania predstavy a výkonu. Ďalej nasleduje predstava konkrétnej činnosti (doslovne úlohy), ktorá zahŕňa cieľnú oblasť motorického zlepšenia. Učenie, ktoré reflektuje používanie predstavy pri osvojení nového pohybu a zároveň upevňuje správne technické prevedenie. Emócia odkazuje na individuálnu integráciu pocitov do mentálnej predstavy. Posledná zložka, perspektíva, poskytuje návod na použitie internej alebo externej predstavy s ohľadom na charakteristiku daného pohybu (Guillot a Collet, 2008, s. 34).

Model MIIMS (The Motor Imagery Integrative Model in Sport) je komplexný model motorickej predstavy v športe, ktorý služi ako globálny návod na efektívne zaradenie predstavy do tréningu. Športovci používajú imagináciu často prirodzene, ale so zaradením cieľného mentálneho tréningu môžu dosiahnuť svoje ambície ľahšie. MIIMS model sa sústreďuje na štyri hlavné oblasti, a to na motorické učenie a výkon, ďalej na motiváciu (so zameraním na sebadôveru a zvládanie úzkosti), stratégie riešenia problémov a na dôležitú oblasť rehabilitácie a prevencie úrazov. Na dosiahnutie týchto cieľov je vhodné zaradiť vizuálnu predstavu z vnútornej perspektívy, teda z pohľadu 1. osoby alebo z vonkajšej perspektívy 3. osoby. V rámci variability sa používa aj kinestetická stratégia imaginácie doplnená o hmatové,

sluchové alebo čuchové senzorické vstupy. Hlavným cieľom je spojiť tieto oblasti v predstave a vytvoriť úplnú multimodálnu reprezentáciu pohybu (Guillot a Collet, 2008, s. 34).

4 Objektivizácia predstavy

Schopnosť jednotlivca tvoriť a riadiť živú predstavu určuje efektivitu a zmysel jej používania v praxi. Preto je dôležité posudzovať schopnosť jednotlivca vytvoriť živú a reálnu predstavu ešte pred zahájením. Existuje niekoľko spôsobov ako hodnotiť schopnosť generovať motorickú predstavu (Williams et al., 2012, s. 375).

Veľa štúdií využíva na objektivizáciu neurofyziologické zobrazovacie metódy, ktoré zahŕňujú zaznamenávanie aktivít CNS aj periférneho nervového systému (PNS) počas predstavy pohybu. Neurofyziologické hodnotenia spočívajú najmä v záznamoch CNS pomocou zobrazovacích techník MEG, fMRI a PET. Neurofyziologické vyšetrenia predstavy korelovali u neurologických pacientoch v 60% štúdiách. Tie sa však zriedka používali v dizajnoch štúdií, kde išlo aj o mentálny tréning, a to, pravdepodobne, pre lekárske, materiálne a časové obmedzenia. V týchto štúdiách sa často používala objektivizácia pomocou EMG. Neurofyziologické záznamy sú objektívne, ale je ťažké ich prepojiť s psychometrickými a chronometrickými indexmi predstavy (Di Rienzo et al., 2014, s. 124).

Schopnosť predstavy pohybu je tiež možné objektivizovať pomocou dotazníkov (Mokienko et al., 2014, s. 485). Tie hodnotia ľahkosť a živosť vizuálnych aj kinestetických pohybových predstáv. V praxi sa využívajú spolu s mentálnou chronometriou, ktorá určuje čas potrebný na presné vytvorenie mentálnej predstavy. Spoločné používanie dotazníkov a mentálnej chronometrie sa javí ako relevantná technika pri hodnotení mentálneho tréningu imaginácie (Williams et al., 2015, s. 704; Touche et al., 2019, s. 179).

4.1 Funkčná magnetická rezonancia

Zobrazovacia metóda, ktorá mapuje štruktúru mozgu pomocou excitácie atómov cez rádiologické vlny sa nazýva fMRI. Táto technika vie v pomerne rýchlom čase určiť hemodynamické zmeny v mozgových štruktúrach pomocou zmien okysličenia krvi (Guillot, Collet a Louis, 2010, s. 113). V praxi sa fMRI využíva na objektívne hodnotenie lokomočnej funkcie a neuroplasticity mozgu u klinických stavov akými sú napr. pacienti po CMP alebo pacienti s Parkinsonovou chorobou (Dobkin et al., 2004, s. 371; Boyne et al., 2021, s. 168). Vďaka týmto dátam je možné získať nový pohľad na príčinu dysfunkcií a verifikovať si mieru obnovy a remodelácie štruktúry po predstave chôdze u pacientov po CMP (Boyne et al., 2021, s. 168).

Štúdie, ktoré sa zaoberali predstavou pohybu a ktoré pri hodnotení aktivácie CNS používali fMRI alebo PET jasne demonštrovali, že fyzický výkon pohybu a mentálna predstava zahrňujú rovnaké neurálne siete, a to vrátane inferiórneho a superiórneho parietálneho laloku. Napriek pretrvávajúcim pochybnostiam bola pri formovaní predstavy dokázaná aj významná rola iných oblastí CNS ako napr. mozog, časť bazálnych ganglií - putamen a suplementárnej oblasti. Pomocou fMRI sa potvrdila aj aktivácia primárneho motorického kortexu pri imaginácii (Guillot, Collet a Louis, 2010, s. 113).

4.2 Povrchová elektromyografia

Povrchovou EMG hodnotíme vplyv rehabilitácie na svalovú aktivitu bez ohľadu na to, či ide o okamžitý, alebo dlhodobý účinok. Možnosť snímania viacerých svalov súčasne pomocou polyEMG umožňuje objektívne zhodnotiť aktiváciu svalov, svalové synergie a koordinácie (Krobot a Kolářová, 2011, s. 36).

PolyEMG je vhodný nástroj k vyhodnoteniu neurálnych mechanizmov pohybovej kontroly, pretože poskytuje informácie z väčšieho množstva svalového tkaniva a behom rozličných aktivít umožňuje súčasne merať aktivitu z viacerých svalov. Snímané sú bioelektrické signály - akčné potenciály aktívnych motorických jednotiek v blízkosti snímacích elektród. Jednotlivé akčné potenciály všetkých aktívnych motorických jednotiek, ktoré senzor zachytí, sú elektricky superponované a výsledkom je tzv. interferenčný vzorec (De Luca, 1997 in Krobot a Kolářová, 2011, s. 18).

Preukázanie svalovej aktivity počas predstavy pohybovej aktivity, sa datuje už od roku 1940, kedy Shaw uviedol, že sa EMG aktivita svalov predlaktia počas predstavy vzpierania zvyšovala lineárne k zväčšujúcej sa hmotnosti na činke (Dickstein, 2005, s. 475). Štúdie, ktoré využívajú k hodnoteniu predstavy EMG poukázali na rôzne pozitívne ale aj nepriaznivé výsledky s podprahovou EMG aktivitou svalov počas predstavy. Hypotéza o aktivácii svalov pri predstave sa nepotvrdila pri výskume na zdravých probandoch počas drepovania. Mnohé štúdie naopak svoje predpoklady potvrdili. U zdravých probandov a pacientov s CMP sa počas predstavy a skutočného pohybu stúpania na špičky potvrdila svalová aktivita EMG m. gastrocnemius medialis a m. rectus femoris, a to minimálne na jednom zo štyroch skúmaných svalov (Geiger et al., 2019, s. 2).

Keď sa počas predstavy pohybu pozorovala aktivita EMG, ukázala sa vyššia amplitúda signálu u svalu zahrnutom v predstave ako u svalu, ktorý nebol zahrnutý v predstave. Hodnota

signálu bola tiež závislá od intenzity úsilia a stredná kvadratická hodnota bola špecifická pre každý typ kontrakcie. Najnižšiu EMG aktivitu vyvolávajú excentrické kontrakcie. Podprahové EMG signály zaznamenané počas predstavy pohybu odzrkadľovali signály zaznamenané počas skutočne vykonaného pohybu. Rozdiel v EMG aktivite demonštruje, že svalová aktivita vyskytujúca sa počas predstavy je špecifická vzhľadom k typu svalovej kontrakcie (Lebon et al., 2008, s. 182).

4.3 Dotazníky

Schopnosť predstaviť si pohyb alebo pohybovú aktivitu môže byť hodnotené na základe dotazníkov a škál. Patrí sem The Movement Imagery Questionnaire (MIQ) a Vividness of Motor Imagery Questionnaire (VMIQ), ktoré obsahujú otázky zamerané na ľahkosť prevedenia pohybu v predstave. Hodnotí sa imaginácia pohybu horných aj dolných končatín na 7 a 5 bodovej stupnici. Pred vyhodnotením každého predstavovaného pohybu najprv probandi samotný pohyb fyzicky vykonajú. Prvýkrát si ten istý pohyb vizualizujú z pohľadu tretej osoby a druhýkrát ako kinestetickú predstavu z ich perspektívy, teda z pohľadu prvej osoby. Validita výsledkov z testu MIQ bola zozbieraná z viacerých výskumov a experimentov a vyšla na 87 %. Získané údaje podporujú priamy vzťah medzi bodovým skóre z MIQ a mierou získania motorických schopností. Validita výsledkov testu VMIQ bola 76 % (Mokienko et al., 2014, s. 485).

Zatiaľ čo dotazníky MIQ a VMIQ boli zostavené primárne pre zdravých probandov, novší dotazník Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) bol vyvinutý na hodnotenie schopnosti predstavy u pacientov s parézami po CMP. KVIQ obsahuje 5 bodovú stupnicu na hodnotenie obťažnosti vizuálnej aj kinestetickkej predstavy. Dotazník testuje jednoduché pohyby, ako napr. klepkanie nohou alebo ohýbanie ruky v lakti. Tento dotazník našiel využitie na hodnotenie predstavy u pacientov po CMP, po amputácii alebo imobilizácii končatín, ale tak isto aj u zdravých jedincov (Mokienko et al., 2014, s. 485).

5 Ciele a hypotézy

5.1 Cieľ práce

Cieľom práce je zhodnotiť svalovú aktivitu proximálnych svalov dolných končatín (DKK) počas komplexnej predstavy pohybu, konkrétne výstupu na schod, pred fyzickým vykonaním výstupu na schod a pri predstave po reálnom výstupe. Ďalším cieľom práce je porovnať rozdielnú aktivitu svalov počas predstavy výstupu na schod dominantnou a nedominantnou dolnou končatinou.

5.2 Hypotézy

Vzhľadom k určenému cieľu boli stanovené nasledujúce hypotézy:

H₀₁: Neexistuje rozdiel pre aktivitu m. biceps femoris a m. rectus femoris dominantnej DK pri predstave pred výstupom na schod a pri predstave po fyzickom výstupe na schod dominantnou DK.

H_{A1}: Existuje rozdiel pre aktivitu m. biceps femoris a m. rectus femoris dominantnej DK pri predstave pred výstupom na schod a pri predstave po fyzickom výstupe na schod dominantnou DK.

H₀₂: Neexistuje rozdiel pre aktivitu m. biceps femoris a m. rectus femoris nedominantnej DK pri predstave pred výstupom na schod a pri predstave po fyzickom výstupe na schod nedominantnou DK.

H_{A2}: Existuje rozdiel pre aktivitu m. biceps femoris a m. rectus femoris nedominantnej DK pri predstave pred výstupom na schod a pri predstave po fyzickom výstupe na schod nedominantnou DK.

H₀₃: Neexistuje rozdiel medzi svalovou aktivitou m. biceps femoris a m. rectus femoris pri predstave výstupu na schod dominantnou a nedominantnou DK.

H_{A3}: Existuje rozdiel medzi svalovou aktivitou m. biceps femoris a m. rectus femoris pri predstave výstupu na schod dominantnou a nedominantnou DK.

H₀4: Subjektívne hodnotenie predstavy pohybu sa nelíši v situácii pred vykonaním a po fyzickom vykonaní výstupu na schod.

H_A4: Subjektívne hodnotenie predstavy pohybu sa líši v situácii pred vykonaním a po fyzickom vykonaní výstupu na schod.

6 Metodika práce

6.1 Charakteristika súboru

Do testovania výskumnej časti diplomovej práce bolo zahrnutých 10 zdravých probandov, 1 muž a 9 žien. Probandi boli prevažne študenti Univerzity Palackého vo veku 17 – 30 rokov. Vekový priemer probandov bol 22,8 rokov ($\pm 3,78$), priemerná výška testovaných bola 169,4 cm ($\pm 8,18$) a váha 67,3 kg ($\pm 13,22$). U ôsmich probandov bola dominantná pravá DK a u dvoch ľavá DK. Všetci jedinci boli pred zahájením testovania poučení o priebehu samotného merania a následne podpísali informovaný súhlas, ktorý je v Prílohe č.1 (s. 75).

Vstupným kritériom pre meranie bola dobrá kognitívna a komunikačná schopnosť jedinca, ktorá podmieňuje schopnosť predstavy pohybu. Podmienkou pre zaradenie do experimentálnej časti práce bolo dosiahnutie minimálneho skóre 3,5 zo 7 stupňovej škály MIQ- R dotazníka. Z testovania boli vylúčení jedinci s prítomnosťou akútnych ochorení vrátane jedincov s klinickými prejavmi ochorenia Covid-19, ďalej jedinci po ortopedických zákrokoch alebo iných bolestivých stavoch na dolných končatinách, ale aj jedinci s neurologickou a kognitívnou poruchou. U žien bolo za vylučovacie kritérium braná aj gravidita. Limitujúce boli tiež kožné ochorenia a defekty kože v oblasti aplikácie elektród.

6.2 Experimentálne meranie

Experimentálne meranie diplomovej práce bolo uskutočnené vo februári 2021 v doobedných hodinách v priestoroch teoretického ústavu Fakulty zdravotníckych vied. Experimentálne meranie sa nám podarilo zrealizovať v rámci jedného dňa. Počas testovania boli dodržané univerzitné hygienické nariadenia. V miestnosti bolo počas celého merania ticho, aby sa probandi mohli plne sústrediť na predstavu a vykonávanie pohybu. Experimentálne meranie bolo schválené etickou komisiou Fakulty zdravotníckych vied Univerzity Palackého v Olomouci.

6.2.1 Príprava merania elektromyografickej aktivity svalov

Pred aplikáciou senzorov bola očistená a odmastená koža dezinfekciou. Následne sme vypalpovali pri submaximálnej izometrickej kontrakcii brušká svalov a to konkrétne – m. biceps femoris a m. rectus femoris. Na tieto už očistené miesta boli paralelne na priebeh

vláken svalových brušíek m. biceps femoris dex. a sin., m. rectus femoris dex. a sin. nalepené senzory tak, aby šípka na nich smerovala kraniálne. Použité boli telemetrické senzory Trigno IMU/EMG (Delsys®, Boston, USA), ktoré boli na dané svaly umiestnené podľa SENIAM guidelines. Presné umiestenie senzoru je znázornené v Prílohe č.2 (s. 77). Na hodnotenie posturálnych výchýliek bol použitý akcelerometer, ktorý bol umiestnený bilaterálne na tíbiu (Príloha č.2, s. 77). Senzor Trigno IMU/EMG (Delsys®, Boston, USA) zaznamenal výchýlky pre osu X (mediolaterálnu), pre osu Y (anteroposteriórnu) a pre osu Z (vertikálnu). Po palpácii tibie, bola očistená koža abrazívnou pastou a následne bol nalepený senzor.

6.2.2 Priebeh merania

Každý proband bol pred samotným meraním poučený o priebehu merania a následne sa prešlo k testovaniu a hodnoteniu dotazníku MIQ-R (Príloha č.3, s. 78). Pred hodnotením mentálnych úloh v dotazníku mu bol najprv pohyb názorné predvedený a potom bol proband slovne navedený na vykonanie pohybu. Išlo o kinestetickú alebo vizuálnu predstavu, ktorú proband hodnotil na stupnici od 1 po 7. (Príloha č.4, s. 81). Proband dostal záznamový hárok, kde si dosiahnuté skóre z MIQ-R zapísal. Súčasťou dotazníka boli aj osobné údaje vrátane údaju o dominantnej DK (Príloha č.5, s. 82).

Po aplikácii senzorov na obe DKK, bolo meraných celkovo 10 situácií. 5 situácií zameraných na jednu DK a 5 tých istých situácií zameraných na druhú DK, pričom poradie predstavy výstupu na schod pravou a ľavou nohou bolo striedané randomizovane. Všetky situácie boli merané po dobu 30 s. Po predstave výstupu na schod probandi vyplňali dotazník, ktorý hodnotil subjektívnu náročnosť predstavy na stupnici od 1 po 5 (Príloha č.6, s. 83).

1. Meranie – pokojová aktivita

V ľahu na chrbte bola snímaná pokojová aktivita DK. Proband mal pri meraní tejto situácii zavreté oči a v duchu si spieval pesničku “Veľa šťastia zdravia“, aby sa vopred nesústredil na vykonávanie pohybu.

2. Meranie – aktivita pri predstave pohybu

Proband ostal v tej istej pozícii teda v ľahu na chrbte a predstavoval si výstup na schod pravou DK. Pred samotným zahájením merania predstavy si mohol proband obhliadnuť konkrétny

schod v miestnosti. Počas predstavy mal oči zatvorené. Po 30 s predstavy proband zhodnotil subjektívnu náročnosť predstavy výstupu na schod.

3. Meranie – aktivita pri výstupe na schod

V tejto situácii bola meraná aktivita svalov pri fyzickom vykonaní výstupu na schod pravou DK, pričom proband po celú dobu merania vystupoval a zostupoval na jeden schod. Pred zahájením merania si mohol výstup na schod vyskúšať (Príloha č.7, s. 84).

4. Meranie - pokojová aktivita

Po výstupe na schod bola opäť meraná pokojová aktivita DK. Zachované boli tie isté podmienky, proband mal zavreté oči, ležal a v duchu si spieval pesničku „Veľa šťastia zdravia“.

5. Meranie – aktivita pri predstave pohybu

V pozícií v ľahu na chrbte bola snímaná aktivita pri predstave výstupu na schod pravou DK potom ako proband reálny pohyb vykonal. Po meraní znovu subjektívne zhodnotil náročnosť predstavy.

Meranie všetkých 5 situácií bolo za rovnakých podmienok hneď zopakovaných aj pre ľavú DK.

6.3 Spracovanie nameraných dát

6.3.1 Spracovanie nameraných dát povrchovej elektromyografie

V programe EMGworks®Analysis bol spracovaný elektromyografický signál, pričom bol vybraný surový záznam v časovom úseku 1-30 s. Po retifikácii, ktorá slúži k zníženiu výskytu negatívnych hodnôt EMG záznamu bolo spravené vyhladenie záznamu prostredníctvom strednej kvadratickej hodnoty, root mean square (RMS). Pri RMS bola nastavená veľkosť okna 0,125 s a prekrytie okna 0,025 s. Získané dáta boli následne prevedené do programu Microsoft Office Excel, kde došlo k výberu číselných hodnôt z jednotlivých nameraných situácií, spriemerovaniu týchto hodnôt a vypočítaniu relatívnych hodnôt.

6.3.2 Štatistické spracovanie nameraných dát

Namerané dáta boli štatisticky spracované v programe STATISTICA verzia 13.4.0.14.. Deskriptívnou štatistikou boli pre kvantitatívne premenné dáta určené počty hodnôt (n), priemery, mediány, minimálne a maximálne hodnoty a smerodajné odchýlky.

Wilcoxonovým párovým testom sa porovnávali dva závislé parametre: predstava výstupu na schod dominantnou DK pred fyzickým vykonaním pohybu a predstava dominantnej DK po výstupe. Tak isto bola spracovaná aj predstava nedominantnej DK. Pri dátach, ktoré spĺňali normalitu bol pri výpočte použitý párový t – test. Hladina štatistickej významnosti pre obe situácie bola určená ako $p < 0,05$.

Mann-Whitney U test bol použitý na porovnanie dvoch nezávislých hodnôt, konkrétne svalovej aktivity pri predstavy výstupu na schod dominantnou a nedominantnou DK. Hladina štatistickej významnosti pre svaly m. rectus femoris a m. biceps femoris bola určená ako $p < 0,05$.

7 Výsledky práce

V tabuľkách sú zobrazené namerané dáta, ktoré informujú o hodnotách priemeru, mediánu, smerodajných odchýlkach (Std.Dv.) a p hodnote štatistickej významnosti elektromyografickej aktivity svalov pri prvej a druhej predstave dominantnej aj nedominantnej DK.

Tab. 1 Popisná štatistika dominantnej aj nedominantnej DK pri prvej predstave pred vykonaním fyzického pohybu a pri druhej predstave po reálnom vykonaní pohybu

Sval	Priemer	Medián	Std.Dv.	p-value
1 N RF	0,903	0,904	0,116	
2 N RF	0,762	0,798	0,213	0,027
1 N BF	0,865	0,926	0,181	
2 N BF	0,763	0,723	0,475	0,466
1 D RF	0,938	0,968	0,071	
2 D RF	0,812	0,828	0,177	0,007
1 D BF	0,921	0,935	0,068	
2 D BF	0,813	0,799	0,191	0,033

Legenda 1 N – prvá predstava nedominantnou DK, 2 N – druhá predstava nedominantnou DK
1 D - prvá predstava dominantnou DK, 2 D – druhá predstava dominantnou DK
RF – m. rectus femoris
BF – m. biceps femoris
p-value – hladina signifikancie (červené hodnoty nižšie ako 0,05 sú štatisticky významné)

Ďalšie štatisticky vyhodnocované dáta hodnotili subjektívnu náročnosť predstavy, ktorú proband hodnotil na stupnici od 1 po 5. Hodnotenie prebehlo hneď po predstave, kedy sa prvé hodnotila predstava bez vykonania pohybu a následne sa hodnotilo subjektívne vnímanie predstavy po fyzickom výstupe na schod, zvlášť pre dominantnú a nedominantnú DK. Výsledky subjektívneho hodnotenia, podporujú hypotézu o ľahšom prevedení predstavy po fyzickom prežití pohybu.

Tab. 2 Popisná štatistika subjektívneho hodnotenia predstavy pred výstupom na schod a po reálnom výstupe na schod

Situácia	N	Priemer	Medián	Std.Dev.
Predstava D pred	10	3,400	3,500	0,966
Predstava N pred	10	3,300	3,500	1,059
Predstava D po	10	4,600	5,000	0,516
Predstava N po	10	4,300	4,500	0,823

Tab. 3 Wilcoxonov párový test pre subjektívne hodnotenie predstavy pred fyzickým výstupom na schod a po výstupe

	Valid	T	Z	p-value
Predstava D pred & predstava D po	8	0,00	2,520	0,011
Predstava N pred & predstava N po	9	0,00	2,665	0,007

Legenda p-value – hladina signifikancie (červené hodnoty nižšie ako 0,05 sú štatisticky významné)

Tab. 4 Mann-Whitney U test na porovnanie predstavy výstupu na schod dominantnou a nedominantnou DK

Sval	U	Z	p-value	Z	p-value	Valid N	Valid N	2*1sided
RF	184,0	0,419	0,675	0,419	0,675	20	20	0,678
BF	170,0	0,797	0,424	0,797	0,424	20	20	0,429

Legenda RF – m. rectus femoris

BF - m.biceps femoris

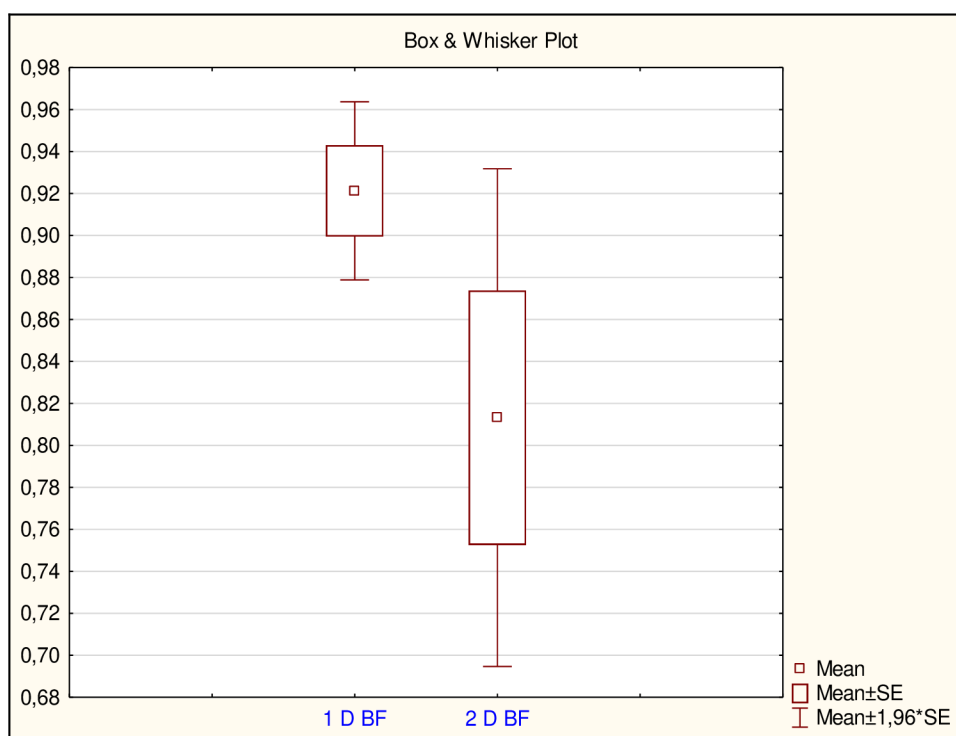
p-value – hladina signifikancie (čierné hodnoty vyššie ako 0,05 nie sú štatisticky významné)

7.1 Hypotézy práce a štatistické výsledky

Hodnotenie hypotéz na základe štatisticky spracovaných výsledkov merania.

Hypotézu **H₀₁**: „*Neexistuje rozdiel pre aktivitu m. biceps femoris a m. rectus femoris dominantnej DK pri predstave pred výstupom na schod a pri predstave po fyzickom výstupe na schod dominantnou DK.*“ zamietame pre dominantný m. biceps femoris a dominantný m. rectus femoris, keďže hodnota $p < 0,05$. Konkrétne hodnoty p sú uvedené v Tabuľke 1.

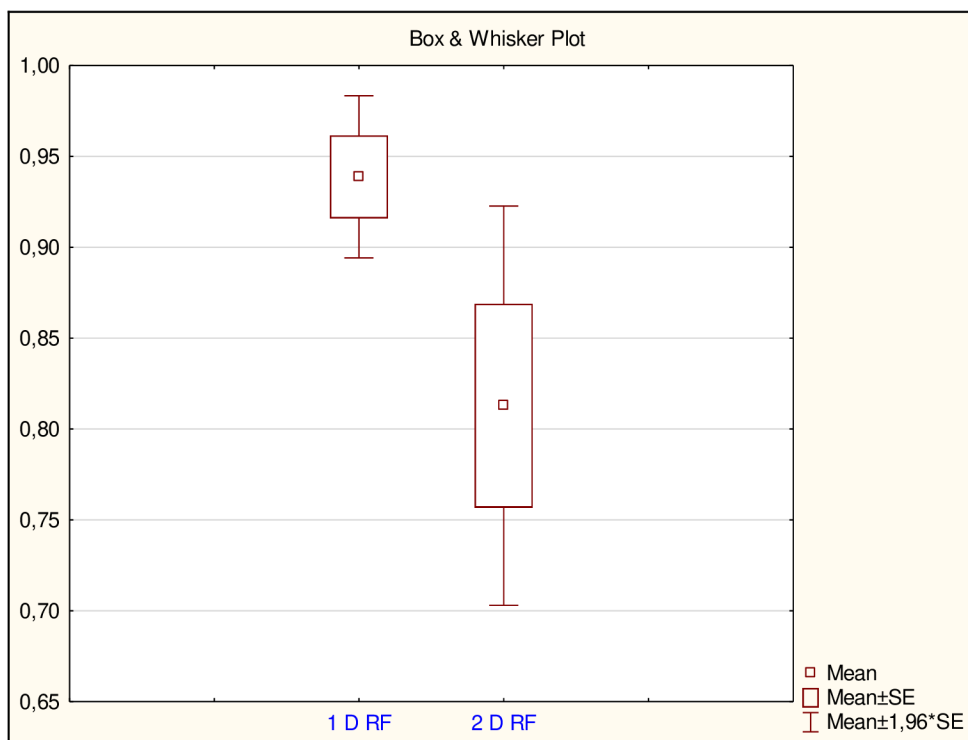
Hypotézu **H_{A1}**: „*Existuje rozdiel pre aktivitu m. biceps femoris a m. rectus femoris dominantnej DK pri predstave pred výstupom na schod a pri predstave po fyzickom výstupe na schod dominantnou DK.*“ potvrdzujeme. Platná hypotéza **H_{A1}** je zobrazená na grafe (Obrázok č. 3) pre m. biceps femoris a (Obrázok č. 4) pre m. rectus femoris.



Obrázok 3 Graf zobrazujúci priemernú aktivitu m. biceps femoris dominantnej DK

Legenda

- 1 D – prvá meraná predstava výstupu na schod dominantnou DK
- 2 D – druhá meraná predstava po fyzickom výstupe na schod dominantnou DK
- BF – m. biceps femoris

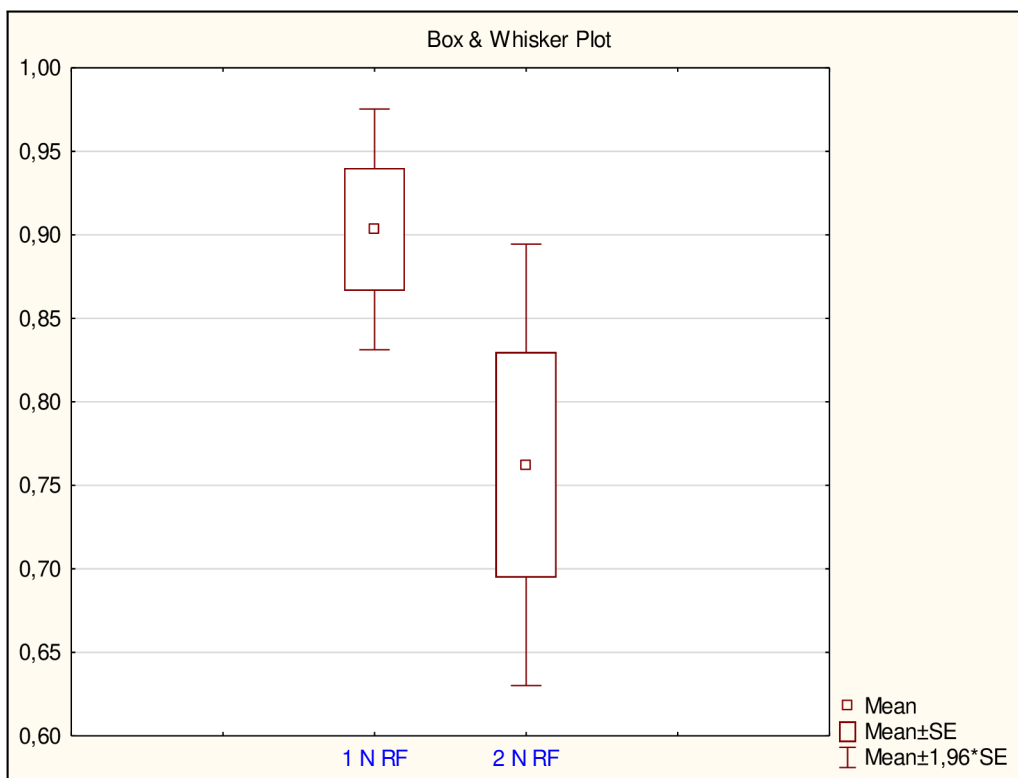


Obrázok 4 Graf zobrazujúci priemernú aktivitu m. rectus femoris dominantnej DK

Legenda 1 D – prvá meraná predstava výstupu na schod dominantnou DK
 2 D – druhá meraná predstava po fyzickom výstupe na schod dominantnou DK
 RF – m. rectus femoris

Hypotézu **H₀₂**: „*Neexistuje rozdiel pre aktivitu m. biceps femoris a m. rectus femoris nedominantnej DK pri predstave pred výstupom na schod a pri predstave po fyzickom výstupe na schod nedominantnou DK.*“ potvrdzujeme pre m. biceps femoris $p > 0,05$ a zamietame pre m. rectus femoris $p < 0,05$ (Tabuľka 1).

Hypotézu **H_{A2}**: „*Existuje rozdiel pre aktivitu m. biceps femoris a m. rectus femoris nedominantnej DK pri predstave pred výstupom na schod a pri predstave po fyzickom výstupe na schod nedominantnou DK.*“ potvrdzujeme iba pre nedominantný m. rectus femoris (Obrázok č. 5).



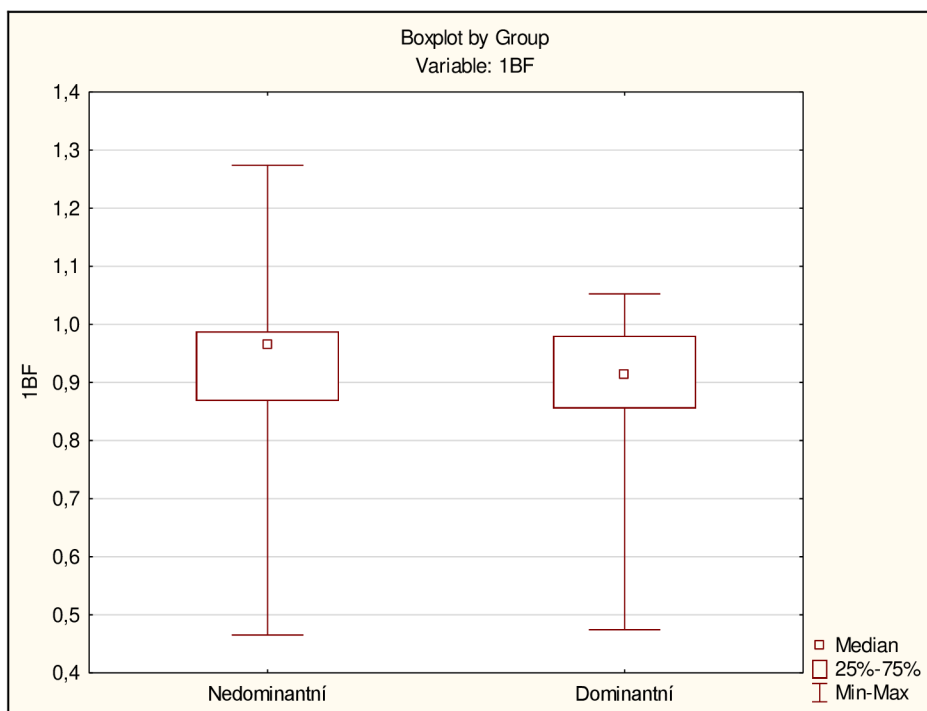
Obrázok 5 Graf zobrazujúci priemernú aktivitu m. rectus femoris nedominantnej DK

Legenda

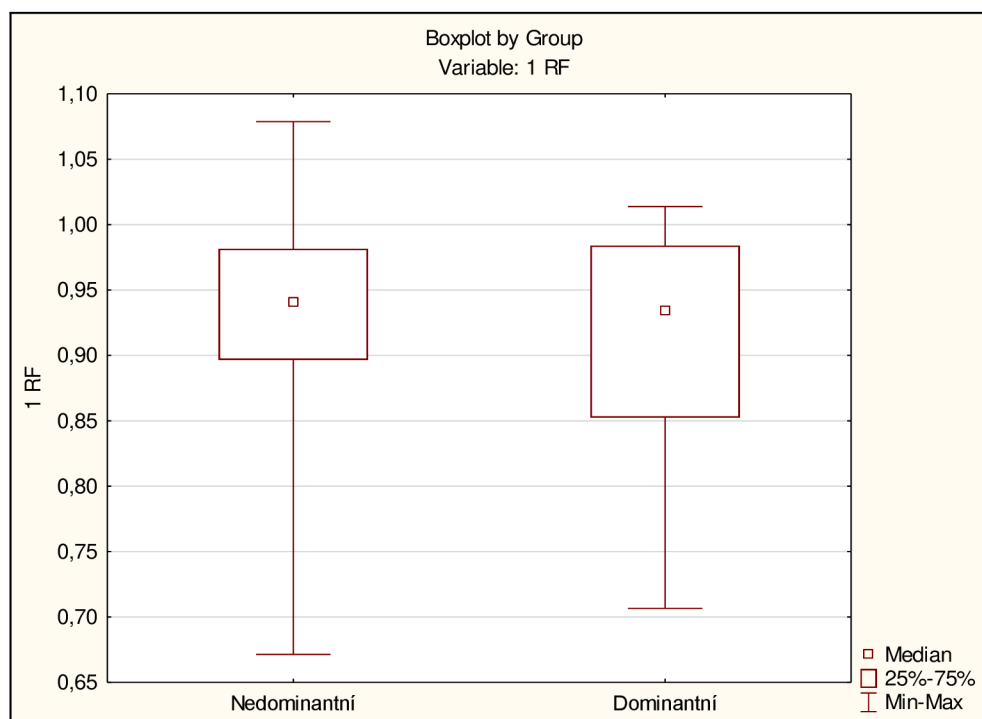
- 1 N – prvá meraná predstava výstupu na schod nedominantnou DK
- 2 N – druhá meraná predstava po fyzickom výstupe na schod nedominantnou DK
- RF – m. rectus femoris

Hypotézu **H03**: „*Neexistuje rozdiel medzi svalovou aktivitou m. biceps femoris a m. rectus femoris pri predstave výstupu na schod dominantnou a nedominantnou DK.*“ potvrdzujeme pre obidva svaly, hladina signifikancie $p > 0,05$ (Tabuľka 4).

Hypotézu **HA3**: „*Existuje rozdiel medzi svalovou aktivitou m. biceps femoris a m. rectus femoris pri predstave výstupu na schod dominantnou a nedominantnou DK.*“ zamietame, keďže rozdiel nameraných hodnôt nebol štatisticky významný (Obrázok č. 6 a Obrázok č. 7).



Obrázok 6 Graf porovnávajúci hodnoty nedominantného a dominantného m. biceps femoris pri predstave výstupu na schod



Obrázok 7 Graf porovnávajúci hodnoty nedominantného a dominantného m. rectus femoris pri predstave výstupu na schod

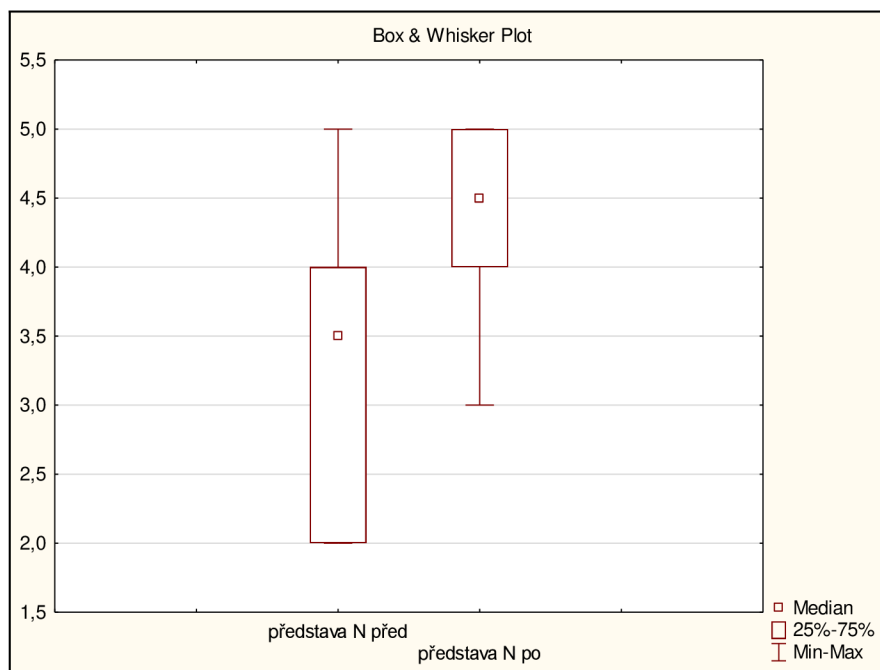
Hypotézu **H₀₄**: „Subjektívne hodnotenie predstavy pohybu sa nelíši v situácii pred vykonaním a po fyzickom vykonaní výstupu na schod.“ zamietame hodnota $p < 0,05$ (Tabuľka 3).

Hypotézu **H_{A4}**: „Subjektívne hodnotenie predstavy pohybu sa líši v situácii pred vykonaním a po fyzickom vykonaní výstupu na schod.“ potvrdzujeme pre situáciu, kedy na schod vystupoval proband dominantnou DK (Obrázok č. 8). Tak isto hypotéza platí aj pre situáciu, keď bol výstup realizovaný nedominantnou DK (Obrázok č. 9).



Obrázok 8 Graf zobrazujúci subjektívnu náročnosť predstavy dominantnej DK pred vykonaným výstupom a po výstupe

Legenda D – dominantná DK



Obrázok 9 Graf zobrazujúci subjektívnu náročnosť predstavy nedominantnej DK pred vykonaným výstupom a po výstupe

Legenda N – nedominantná DK

8 Diskusia

Mentálny tréning, pod ktorý spadá aj predstava pohybu je kognitívny proces vytvárania vizuálneho, sluchového alebo kinestetického obrazu v myšli bez jeho reálneho fyzického prevedenia. Predstava sa opiera o propioceptívne a kinestetické informácie, čím sa zlepšuje percepcia a celkové vnímanie pohybu. Vďaka tomu je predstava pohybu sľubný nástroj rehabilitácie (Kosslyn, Ganis a Thompson, 2001, s. 635; Papadelis et al., 2007, s. 83; Abraham et al., 2018, s. 2). Prvé dôkazy o tom, že predstava pohybu pozitívne ovplyvňuje motorické učenie sa začali objavovať v prvej polovici 20. storočia (Sackett, 1935 in Guillot a Collet, 2008, s. 32), čím sa rozšírilo využitie predstavy nielen v oblasti vedy a športu, ale aj v rehabilitácii (Guillot a Collet, 2008, s. 32) a tréningu komplexného pohybu u zdravých jedincov (Di Rienzo et al., 2016, s. 1).

Chôdza po schodoch je jeden z komplexných pohybov, ktorý sa často javí ako limitujúci faktor pre pacientov po CMP. Zistilo sa, že 25 zo 40 pacientov po mŕtvici malo ťažkosti súvisiace s opustením domu, kvôli schodom. Existuje však veľa fyzioterapeutických prístupov a opatrení na zlepšenie aspektov chôdze do schodov. Jedným z nich je aj predstava pohybu, ktorú Geiger a kol. (2019, s. 1) vo svojej štúdií využívali.

Práve komplexnú predstavu výstupu na schod sme si zvolili ako predmet experimentálnej časti diplomovej práce. Bolo dokázané, že čím je pohyb v predstave komplexnejší, tým viac sa vzbudzuje aktivita v oblasti primárneho motorického kortexu M1 (Lotze a Zentgraf, 2010, s. 35). Aktivácia tejto oblasti počas imaginácie je kľúčová pre nadobudnutie nových alebo narušených motorických vzorov (Szameitat et al., 2012, s. 279).

8.1 Svalová aktivita počas komplexnej predstavy pohybu

Mnoho štúdií skúmalo mozgovú aktiváciu počas predstavy pohybu jednoduchých úloh, ale len málokto sa zamerali na predstavu komplexného pohybu, ktorý je súčasťou aktivít každodenného života. Práve ADL sú klinicky významné a veľa z nich ovplyvňuje dominancia končatiny (Matsuo et al., 2019, s.1).

V rámci tejto práce sme hodnotili aktiváciu proximálnych svalov DKK pri komplexnej predstave výstupu na schod. Geiger a kol. (2019, s. 4) sa tiež zaoberali aktivitou DDK pri výstupe na schod, a tak isto ako v našej štúdií, snímali svalovú aktivitu pomocou polyEMG. Aktivita svalov DKK bola meraná pri výstupe na schod, šliapaní na robotickom prístroji Erigo

a pri predstave výstupu na schod. Výsledky odhalili štatisticky významnú koreláciu medzi výstupom na schod a šliapaním na robotickom prístroji medzi svalmi m. rectus femoris a m. biceps femoris. U distálnych svalov DK bola aktivácia menšia hlavne u svalu m. gastrocnemius medialis. Z tejto skupiny svalov bol najviac zapojený m. tibialis anterior (Geiger et al., 2019, s. 4).

Motorický vzor výstupu na schod u zdravých jedincov hodnotený pomocou povrchového EMG sníma najväčšiu aktivitu m. tibialis anterior pri konečnej stojnej fáze až po švihovú, čím zabezpečí, že chodidlo sa môže bezpečne zdvihnúť na ďalší schod. M. gastrocnemius medialis, m. rectus femoris a m. biceps femoris sú aktivované počas väčšiny stojnej fázy v extenzorovej synergii, ktorá zabezpečuje zdvíhanie nohy a oporu. M. rectus femoris je najviac aktívny vo fáze dopadu päty až cez medzistoj, kedy sa prenáša ťažisko. M. biceps femoris je aktívny počas celej stojnej fázy a tiež sa významne zapája behom neskoršej švihovej fázy. Najväčšia hodnota RMS bola nameraná v odrazovej fáze výstupu na schod (Yali et al., 2015, s. 19).

Na druhej strane, pri predstave výstupu na schod neboli zaznamenané zjavné zmeny v činnosti EMG. Avšak tento výsledok nemusí nutne znamenať, že imaginácia komplexného pohybu je neúčinná. V dôsledku vnútornej stimulácie pohybov pri predstave sa generujú pseudoproprioceptívne informácie, ktoré tvoria základ pre motorické zlepšenie. Zmeny spojené s predstavou pohybu by mohli byť zaznamenané na iných úrovniach motorického systému (Geiger et al., 2019, s. 6). Lafleur a kol. (2002, s. 148) sa tiež zhodujú s týmto tvrdením, kedy záznamy EMG nepreukázali žiadnu zmenu svalovej aktivity počas merania pokojovej aktivity s porovnaním predstavy pohybu dorzálnej a plantárnej flexie DK. Žiaden štatisticky významný rozdiel nebol ani pri vyhodnotení dát z EMG predstavy pohybu pred a po fyzickom vykonaní. Jednotlivé predstavy Lafleur a kol. objektivizovali aj pomocou PET. Zaznamenané boli zmeny regionálneho prietoku krvi mozgom pri fyzickom prevedení pohybovej sekvencie. Išlo o oblasti dorzálnej premotorickej kôry, mozočka a ľavého inferiórneho parietálneho laloku. Avšak pri druhom fyzickom prevedení dorzálnej a plantárnej flexie už nebola prítomná žiadna významná aktivácia týchto oblastí mozgu. Tento výsledok naznačuje, že pri prvej realizácii pohybu sa vymedzila kognitívna stratégia a motorických postup potrebný na vykonanie pohybu. Preto pri druhom realizovaní pohybu nebola pozorovaná zvýšená úroveň aktivity daných častí mozgu. Takáto istá situácia dynamických zmien nastala aj pri predstave pohybu dorzálnej a plantárnej flexie. Pri druhej predstave po fyzickom vykonaní došlo tiež k poklesu aktivity CNS v porovnaní s prvou

predstavou. Toto zistenie naznačuje, že získané sekvencie pohybov vykonaných fyzicky sa odrážajú v skrytej plasticite prebiehajúcej pri predstave pohybu (Lafleur et al., 2002, s. 142).

Tieto zistenia potvrdzujú hypotézy **HA1** a **HA2**, ktoré hovoria o zemne svalovej aktivite pri prvej predstave pred reálnym vykonaním a pri druhej predstave po prevedení pohybu. Výsledky tejto štúdie sú zhodné s našimi nameranými hodnotami, kedy pri prvej predstave výstupu na schod bola nameraná vyššia svalová aktivita ako pri druhej predstave po fyzickom výstupe na schod. Vymedzenie kognitívnej stratégie a utvrdenie pohybu pri samotnej realizácii objasňujú pokles svalovej aktivity, pri druhom meraní predstavy.

Fenomén poklesu svalovej aktivity po opakovanej predstave pohybu v svojej štúdií zaznamenal aj Kanthack a kol. (2017, s. 11), ktorí skúmali efekt predstavy pohybu na flexibilitu. Pomocou povrchového EMG bola meraná svalová aktivita hamstringov a m. rectus femoris počas predstavy aktívneho strečingu, pričom pri druhom meraní predstavy došlo k poklesu svalovej aktivity oproti prvému meraniu. Výsledky naznačujú zníženú amplitúdu strečového reflexu a prevahu kortikálneho riadenia nad spinálnym.

8.2 Vplyv dominancie na predstavu pohybu

Viacero autorov sa zameralo na porovnávanie dominancie pri predstave pohybu a kládlo si otázku, či príde k rozdielnej aktivácii svalov a oblastí CNS pri predstave. Často sa v štúdiách porovnáva rozdiel medzi dominantnou a nedominantnou HK, pretože lateralita ruky je viac vymedzená. Súčasne zistenia dokazujú, že predstava pohybu dominantnou HK má celkovo lepšie výsledky ako nedominantná HK. Gentili a Papaxanthis (2015, s. 239), porovnávali funkčné dosahové pohyby ruky u dominantnej a nedominantnej ruky počas fyzického prevedenia a predstavy. U dominantnej HK došlo k zlepšeniu rýchlosti, rozsahu pohybu a kvality úchopu. Rozdiely môžu byť založené na relatívnej špecializácii ruky pri dynamickej dominancii, ako aj na predošlých motorických skúsenostiach ruky a dominancií mozgových hemisfér. Skrátenie času reálne vykonaného pohybu HK po predstave daného pohybu a zlepšenie časových parametrov predstavy bolo prítomné u dominantnej aj nedominantnej HK, čo naznačuje pozitívny vplyv na motorické učenie a pohybový výkon (Gentili, Papaxanthis a Pozzo, 2006, s. 782; Debarnot et al., 2009, s. 403; Gentili a Papaxanthis, 2015, s. 238).

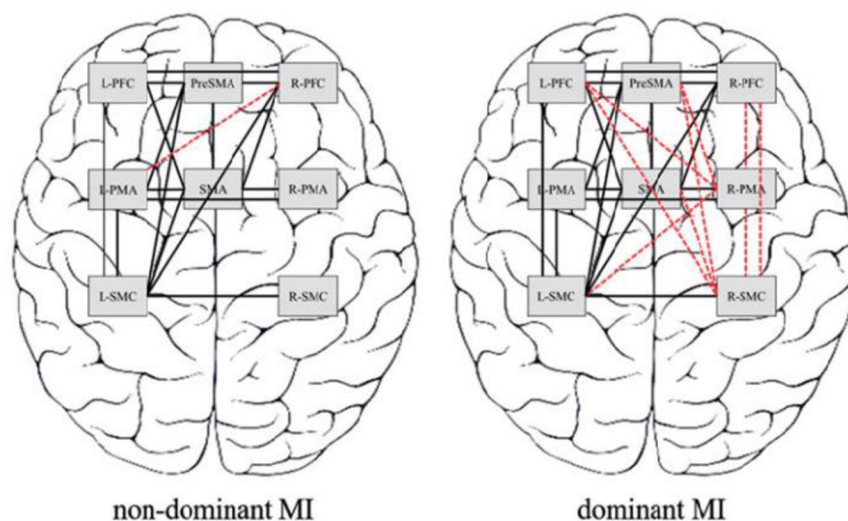
Štúdia, ktorá hodnotila aktivitu mozgu pri predstave pohybu ľavej aj pravej DK aj HK, došla k záveru, že lateralita nezohráva významnú rolu pri aktivácii jednotlivých častí mozgu. Všetci zdraví probandi zaradení do štúdie boli praváci a objektivizácia predstavy bola

uskutočnená pomocou fMRI. Probandi využívali kinestetický spôsob predstavy a merané boli situácie predstavy flexie a extenzie HK a dorzálnej a plantárnej flexie DK. Výsledky z fMRI ukázali najväčšiu aktivitu ľavej suplementárnej motorickej oblasti, bez ohľadu na testovanú situáciu a lateralitu. Zo záznamu neurálnych spojov takisto nebol zistený rozdiel v závislosti od testovanej situácie a najvýraznejšie bola zobrazená ľavá suplementárna motorická oblasť, inferiórny frontálny gyrus a ventrálny premotorický kortex (Mizuguchi et al., 2014, s. 70-71).

Zistenie, že lateralita nemá významný vplyv na predstavu pohybu je totožné s hypotézou **H03**, ktorá tvrdí že neexistuje rozdiel medzi svalovou aktivitou pri predstave výstupu na schod dominantnou a nedominantnou DK.

Scott a kol. (2017, s. 6) zisťovali, či má predstava pohybu a pozorovanie pohybu vplyv na zväčšenie svalovej sily, konkrétne excentrickej kontrakcie hamstringov. Probandi boli inštruovaní, aby si predstavili konkrétny cvik na posilnenie hamstringov u oboch nôh súčasne, napriek tomu sa skôr a silnejšie aktivovala pravá DK. Rozdiel medzi pravou a ľavou nohou sa po 3 týždňovom tréningu ešte zväčšil, aj keď pri pozorovaní pohybu bol daný cvik vykonávaný ľavou DK. To naznačuje, že pravá DK bola u väčšiny probandov dominantná a lateralita môže súvisieť s vytváraním predstavy.

Ďalšou objektivizačnou metódou na porovnávanie vplyvu dominancie na predstavu pohybu je sledovanie hemodynamických zmien mozgu. Významné rozdiely boli v časoch maxima oxygenovaného hemoglobínu medzi suplementárnou motorickou oblasťou a pravým prefrontálnym kortexom, ako aj medzi ľavou premotorickou oblasťou a pravým prefrontálnym kortexom. Viac takýchto korelácií bolo zistených počas predstavy jedenia s dominantnou HK (Matsuo et al., 2019, s. 5).



Obrázok 10 Hemodynamické korelácie počas predstavy pohybu dominantnou a nedominantnou HK (Matsuo et al., 2019, s. 5)

Legenda Čierne spojenia predstavujú významnú koreláciu v oboch situáciách predstavy
Červené prerušované spojenia predstavujú významnú koreláciu ľavej hemisféry pri predstave dominantnou HK

Ďalší parameter, ktorý môže ovplyvňovať kvalitu imaginácie pohybu pri dominantnej končatine je živosť predstavy. Williams a kol. (2012, s. 375) potvrdili, že aktivácia CNS pri predstave pohybu je závislá na schopnosti jedinca produkovať živú a komplexnú predstavu. Matsuo a kol. (2019, s. 5) sa tiež zaoberali živosťou predstavy počas jedenia s paličkami. Živosť predstavy počas jedenia s dominantnou HK mala tendenciu byť významne vyššia ako počas jedenia s nedominantnou HK. Kľúčovú úlohu pri predstave zohrávala najmä šikovnosť manipulácie dominantnej HK.

8.2.1 Dominancia a mozgové hemisféry

Skúmanie hemisfér pri pohybe naznačuje, že každá hemisféra sa špecializuje na rôzne mechanizmy riadenia motorických funkcií. Špecializácia prispieva k integrácii a k ucelenému pohybu oboch rúk. Výskumy u pacientov s jednostrannými léziami mozgu, ktoré používali funkčné zobrazovacie techniky potvrdili hemisférickú špecializáciu rôznych behaviorálnych funkcií (Mutha et al., 2012, s. 455).

Ľavá mozgová hemisféra je zodpovedná za kontrolu pravej ruky a prevažne sa zúčastňuje na organizácii pohybu v zmysle výberu pohybovej stratégie (Haaland a Harrington, 1996, s. 796; Gentili a Papaxanthis, 2015, s. 232). Dôležitá je aj funkcia v úlohách prípravy pohybu a odhadu možností vykonania pohybu (Mutha et al., 2012, s. 466).

Riadiaci systém pravej hemisféry ovláda ľavú ruku a prednostne sa zapája do procesov spätnej väzby. Podiel na plánovaní pohybu má v porovnaní s ľavou mozgovou hemisférou menší, na druhej strane pravá hemisféra zabezpečuje presné dokončenie úlohy (Amunts et al., 1996 in Serrien et al., 2006, s. 161; Mutha et al., 2012, s. 460).

Prediktívna kontrola pohybu a jeho plánovanie odráža evolučne novší proces, a preto by mohol byť zastúpený iba na kontralaterálnej hemisfére k dominantnej končatine, zatiaľ čo jednoduchší a starší proces spätneho riadenia môže byť zastúpený v oboch hemisférach. Avšak v kontralaterálnej hemisfére k nedominantnej končatine bol proces spätoväzobného riadenia presnejší (Mutha et al., 2012, s. 456).

Neurofyziologické dáta získané pri predstave pohybu sú špecifické vzhľadom k danej úlohe od čoho sa odvíja aj väčšie zapojenie ľavostrannej hemisféry. Hetu a kol. (2013, s. 945) uvádzajú, že predstavovanie si jednoduchších a zautomatizovaných motorických vzorov ako napr. predstava chôdze vedie k bilaterálnym aktiváciám primárnych senzomotorických oblastí mozgu a ani predstava pohybu dominantnej a nedominantnej končatiny pri jednoduchých analytických pohyboch nemeduluje rozdielnu laterálnu aktiváciu CNS. Avšak zvýšenie zložitosti úlohy vedie k väčšej aktivácii ľavej hemisféry počas predstavovania pohybu. Toto tvrdenie objasňuje väčšie neurálne zapojenie ľavej hemisféry pri predstave komplexného posilňovacieho cviku cieleného na hamstringy dominantnej DK (Scott et al., 2017, s. 7). Aj napriek tomu, že v práci sme si zvolili na hodnotenie predstavy komplexný pohyb výstupu na schod, **HA3** bola zamietnutá z dôvodu nevýznamného rozdielu aktivácie svalov vzhľadom k dominancii DKK.

Na druhej strane, aktivita neurálnych sietí pri predstave pohybu nemusí byť vždy závislá od dominancie končatiny a špecializácie hemisfér. Vukelic a kol. (2019, s. 22) vo svojej štúdií skúmali pomocou EEG ako kortikálne siete súvisia s predstavou pohybu a dominanciou. Ukázalo sa, že rozsah indukovanej oscilačnej modulácie v senzomotorickej kôre bol nezávislý od dominancie ruky a hemisférickej špecializácie. Pomocou oscilácie tiež zistovali konektivitu kortikálnej siete a medzihemisférické interakcie počas fyzického vykonania a predstavy pohybu. Výsledky poukázali na silnejšiu vnútornú hemisférickú konektivitu u pravákov, zatiaľ čo u ľavákov bola silnejšia medzihemisférická interakcia. U zdravých jedincov bola počas predstavy pohybu modulovaná výrazná aktivita senzomotorického beta-pásma a propioceptívny feedback v oboch hemisférach nezávisle od dominancie ruky. Odlišná bola aktivita kortikálnych sietí u pravej a ľavej ruky. Rozdielna aktivita mohla súvisieť s integráciou a spojením vzdialených kortikálnych oblastí a neurokognitívnou stratégiou špecifickou pre danú úlohu (Smith et al., 2001, s. 367; Palva et al., 2011, s. 5022; Vukelic et al., 2019, s. 22).

8.3 Subjektívne hodnotenie predstavy

Predstava pohybu môže mať rôzne kvality ako napr. vizuálnu, hmatovú alebo spomínanú motorickú. Všetky tieto prvky sú odrazom ľudskej skúsenosti a závisia od subjektívneho vnímania. Niekoľko výskumov sa zaoberalo práve vplyvom subjektívneho vnímania a živosti predstavy na samotnú kvalitu imaginácie. Rozdiely v schopnosti tvoriť predstavu súvisia aj s jej účinnosťou na motorický výkon (Isaac a Marks, 1994 in Mantani et al., 2005, s. 989).

Na subjektívne hodnotenie predstavy existuje niekoľko dotazníkov, napr. VMIQ, KVIQ, MIQ, MIQ-R ktoré vypovedajú o individuálnej schopnosti jedinca tvoriť predstavu. Živá predstava by sa mala vyznačovať jasnosťou a reálnym pocitom zážitku (Roberts et al., 2008, s. 220). Pre informácie o kvalite predstavy je možné subjektívne hodnotiť predstavu počas merania na škále obtiažnosti. V tejto diplomovej práci sme použili stupnicu od 1 do 5, pričom 1 bola veľmi náročná a 5 bola veľmi ľahko predstaviteľná situácia.

Otázku, či subjektívne hodnotenie predstavy koreluje s objektívnym meraním si kládli Cui a kol. (2007, s. 477). Pomocou fMRI sledovali zmenu aktivity vizuálnej kôry pri mentálnych a fyzických vizuálnych úlohách. U jedincov s dobrým subjektívnym hodnotením vizuálnej predstavy boli prítomné aj významnejšie objektívne zmeny vo vizuálnej kôre.

Zabicki a kol. (2019, s. 16) z výsledkov svojej štúdie potvrdili, že vzorce neurálnej aktivity v ľudskej motorickej kôre odrážajú individuálnu živosť predstavy v súlade so subjektívnym hodnotením probandov. Významná korelácia bola zistená v ľavom premotorickom kortexe a pravom parietálnom kortexe, čo naznačuje, že tieto regióny osobitne odrážajú vnímanú živosť predstavy rovnakým spôsobom, ako to subjektívne vníma jedinec. Analýza z fMRI naznačila, že živosť motorického obrazu sa týka aj nervovej aktivácie v pravom superiornom parietálnom laloku. Predstava hodnotená ľahšou obtiažnosťou bola podstatne lepšie odlišiteľná v aktivácii týchto oblastí CNS, čo potvrdzuje, že živá motorická predstava koreluje s výraznejším neurálnym zapojením. Nervová aktivácia počas predstavy je priamo prepojená s vnímanou kvalitou tvorit' danú predstavu.

Dôležitá je aj skúsenosť s daným pohybom, ktorá môže ovplyvniť subjektívnu náročnosť predstavy. Po reálne vykonanom pohybe dochádza k zlepšeniu schopnosti predstavy a zaznamenaná je aj zvyšujúca sa aktivita mozgových centier (Wriessnegger et al., 2014, s. 7).

Naše merania tiež poukázali na súvis medzi kvalitou predstavy a reálnou skúsenosťou s pohybom. Hypotézou **HA4** sme potvrdili prepojenie medzi subjektívnym vnímaním obtiažnosti predstavy pred fyzickým vykonaním výstupu na schod a po výstupe, kedy všetci probandi udávali ľahšie tvorenie predstavy (Príloha 8, s. 85). To potvrdzuje lepšiu schopnosť tvoriť predstavu po reálnom prežití danej situácie.

8.4 Prínos predstavy pohybu pre prax

Štúdie v posledných rokoch preukázali, že pri predstave pohybu dochádza k vedomej aktivácii oblasti mozgu, ktoré súvisia s plánovaním a vykonávaním skutočného pohybu (Wriessnegger et al., 2017, s. 8). Potvrdenie pozitívnych účinkov predstavy pohybu na

motorický výkon zaradilo túto techniku do každodennej praxe športovcov, ale aj hudobníkov, ktorí pomocou mentálnej stimulácie zlepšujú svoje zručnosti. Okrem efektívnejšieho motorického učenia dochádza aj k zlepšeniu viacerých aspektov výkonu. Medzi hlavné aspekty zlepšenia patrí presnosť, obratnosť a variabilita pohybu, ale aj zvýšenie svalovej sily a rýchlosti (Pascual-Leone et al., 1995, s. 1044; Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 4).

Potvrdené pozitívne účinky predstavy na motoriku rýchlo začlenili túto techniku aj do rehabilitačnej praxe. Imagináciu je možné využiť pri rehabilitácii pacientov s miernym motorickým postihnutím, kedy máme za cieľ zlepšiť funkčnosť, koordináciu a presnosť pohybu. Ale tiež ju môžeme využiť aj v neurorehabilitácii u pacientov s vážnym poškodením, kedy sú metódy založené na aktívnom pohybe pacienta nevhodné (Steenbergen et al., 2009, s. 695; Mokienko et al., 2014, s. 483).

Hlavným cieľom v rehabilitácii neurologického pacienta je uľahčiť opätovné naučenie pohybu a obnoviť funkciu a samostatnosť pacienta. Najúčinnějšíe metódy k dosiahnutiu tohto cieľa sú stratégie konkrétne zamerané na funkčné a komplexné úlohy, z anglického task-oriented training. U týchto pacientov je predstava pohybu prezentovaná ako prípravný nástroj na pohybovú terapiu. Ide o dostupnú a nízko nákladovú možnosť ako zlepšiť samotnú pohybovú terapiu (López et al., 2019, s. 1). Kombinácia mentálneho tréningu a pohybu je efektívny prístup na zlepšenie motorickej funkcie a obnovu motorického učenia v neurorehabilitácii (Liu, 2004, s. 1407; Malouin a Richards, 2010, s. 249; Oostra et al., 2016, s. 2). Najmä u pacientov po CMP v časom štádiu rehabilitácie, kedy môžeme pomocou predstavy pohybu opäť aktivovať senzomotorické siete, čím sa podporí proces neuroplasticity a zabráni sa maladaptívnym zmenám a reorganizácii synapsií v dôsledku inaktivity (Butler a Page, 2006, s. 9; Oostra et al., 2016, s. 2).

Aktivácie oblastí CNS počas motorickej predstavy súvisia so schopnosťou jednotlivca vytvárať živý a autentický obraz predstavy. Prvé štúdie, ktoré sa zaoberali kvalitou predstavy prebehli na zdravej populácii prevažne išlo o mladých športovcov, ktorí si predstavovali svoj športový výkon. Otázne bolo, či by boli pozitívne výsledky dokázané aj medzi pacientami s klinickými príznakmi, ktoré môžu vplývať na schopnosť vytvárať predstavu (Williams et al., 2012, s. 375). Malouin a kol. (2008, s. 318) zistili, že úroveň živosti predstavy pohybu u pacientov po CMP bola podobná ako u zdravých osôb, kde sa našli jedinci s lepšou a horšou predstavivosťou. Avšak, je pravda, že pacienti po CMP udávali výrazne lepšiu živosť predstavy na nepoškodenej strane tela.

U pacientov s kognitívnym deficitom alebo inak narušenou schopnosťou tvoriť predstavu je vhodné použiť metódu pozorovanie pohybu, kedy tiež dochádza k aktivácii CNS.

Preto je vhodné pred zaradením mentálneho tréningu do praxe vyšetriť schopnosť pacienta vytvárať pohybovú predstavu a následne zvoliť vhodnú stratégiu tréningu (Williams et al., 2012, s. 375).

Ďalším diskutovaným faktorom ovplyvňujúcim kvalitu predstavy je zvolenie vhodnej stratégie. Výber závisí od individuálnych schopností jedinca, trénovanej úlohy a od prostredia, v ktorom sa tréning odohráva. Pre aktiváciu motorických neurálnych okruhov a podporu neuroplasticity je vhodnejšie použiť kinestetickú stratégiu predstavy (Stinear et al., 2006, s. 163). Efektívnejšie je realizovať predstavu pohybu z pohľadu prvej osoby, kedy sa zväčšuje podobnosť so skutočným pohybom. Dochádza k výraznejším fyziologickým odozvám (napr. zmena srdcovej a dychovej frekvencie) a rýchlejšiemu motorickému učeniu (Mulder et al., 2007, s. 1268; Ruffino, Papaxanthis a Lebon, 2016, s. 7).

Imaginácia pohybu je dobrou alternatívou pri rehabilitácii zranení DKK v akútnych štádiách, kedy musí byť končatina imobilizovaná a záťaž je kontraindikáciou. Scott a kol. (2019, s. 4) zisťovali, či má predstava vplyv na zvýšenie excentrickej sily hamstringov, keďže táto svalová skupina býva často poškodená najmä v športoch zahŕňajúcich šprinty a skoky. V tejto štúdií sa skúmal mentálny tréning ako alternatívy spôsob terapie v akútnom štádiu úrazu na dvoch skupinách, pričom jedna skupina si pohyb iba predstavovala. U druhej skupiny bola zvolená kombinácia metód mentálneho tréningu v podobe pozorovania a predstavovania pohybu. Pri kombinácii mentálneho tréningu prišlo k zvýšeniu svalovej sily hamstringov, a preto je vhodné túto metódu zaradiť počas imobilizácie, kedy dochádza k poklesu svalovej sily a bezpečným spôsobom, tak podporiť pohybovú rehabilitáciu.

Niekoľko štúdií skúmalo účinnosť predstavy strečingu na zlepšenie flexibility, ale málo ktoré sa zamerali aj na neurofyziologické koreláty a súčasnú aktiváciu cieľových svalov. Williams a kol. (2004, s. 166) uvádzajú zlepšenie rozsahu pohybu v bedrovom kĺbe keď sa do aktívnych techník pohybu pridala aj imaginácia daného pohybu. Ďalší výskum zameraný na túto problematiku hodnotili efektívnosť strečingu hamstringov u elitných synchronizovaných plavcov, ktorí v rozpätí 5 týždňov pridali do svojho tréningu aj predstavu pohybu. Výsledky boli v porovnaní s kontrolnou skupinou priaznivejšie a rozsah pohybu väčší (Guillot et al., 2010, s. 298). Kanthack a kol. (2017, s. 11) sa zamerali na neurofyziologické koreláty predstavy pohybu počas strečingu. Väčšie zlepšenia výkonu nastalo v skupine vykonávajúcej predstavu počas strečingu. Došlo k zníženiu svalovej aktivácii hamstringov a m. rectus femoris a zároveň sa odhalila vyššia aktivácia sympatiku. Lepší výkon pri kombinácii strečingu a predstavy je dôsledkom zníženej svalovej aktivácie po opakovaní predstavy. Takéto zlepšenie môže spočívať v prevahe kortikálneho riadenia nad spinálnymi reflexami.

Predstava pohybu je dostupný a efektívny spôsob ovplyvnenia rôznych parametrov pohybu. Dá sa ľahko aplikovať a môže sa používať u pacientov s rôznymi diagnózami. Ide o bezpečnú techniku, ktorá je finančne nenáročná a pacienti ju môžu vykonávať aj doma samostatne. Výnimkou sú iba pacienti s kognitívnymi poruchami (López et al., 2019, s. 11).

8.4.1 Prínos výsledkov našej štúdie pre prax

Z výsledkov našej štúdie a spolu s ďalšími informáciami vyplývajúcimi zo štúdií o predstave pohybu je vhodné zaradiť do praxe komplexnú pohybovú predstavu. V prvom rade sa väčšina bežných denných aktivít skladá z komplexných a funkčných pohybov a v druhom rade je pri komplexných pohyboch dokázaná väčšia aktivácia oblastí CNS (Szameitat et al., 2012, s. 279; Williams et al., 2012, s. 375). Z našich zistení vyplýva, že pri komplexnej predstave pohybu je prítomná značná svalová aktivita, ktorá má po opakovaní predstavy tendenciu znižovať sa. K poklesu aktivity dochádza dôsledkom osvojenia si daného pohybu a nadobudnutia kognitívnej stratégie. Trend znižovania svalovej aktivity vo svojej štúdií zaznamenali aj Kanthack a kol. (2017, s. 11), ktorí využili znižovanie aktivity svalov dolných končatín pri opakovanej predstave ako efektívny nástroj pri strečingu.

Vzhľadom k tomu, že sme z EMG aktivity svalov nezistili významný rozdiel medzi predstavou výstupu na schod dominantnou a nedominantnou DK, nie je nutné v praxi klásť veľký dôraz na dominanciu končatín. Ani ostatní autori nepreukázali významné rozdiely v aktivácii oblastí CNS pri predstave dominantnou a nedominantnou končatinou, pokiaľ nešlo o špecifickú činnosť viazanú k lateralite HK (Mizuguchi et al., 2014, s. 71; Vukelic et al., 2019, s. 22).

Pred zaradením predstavy pohybu do praxe je nutné zistiť, aká je schopnosť jedinca tvoriť živú a kvalitnú predstavu. Výsledky našej štúdie poukazujú na štatisticky významné zlepšenie subjektívneho vnímania predstavy po tom, čo probandi daný pohyb, t.j. výstup na schod, fyzicky vykonali. Preto by sme odporučili pred predstavou pohybu samotný pohyb vykonať, pokiaľ to umožňujú schopnosti jedinca.

8.5 Limity štúdie

Jedným z najväčších limitov našej štúdie bola malá vzorka probandov, čo mohlo spôsobiť, že niektoré namerané hodnoty vyšli ako štatisticky nevýznamné. Pretože u pár probandov bola tendencia svalovej aktivity počas predstavy vyššia, a teda aj štatistické hodnoty

boli bližšie k významným tabuľkovým hodnotám. Na druhej strane sa nemôžeme opierať ani o štatisticky významné hodnoty z dôvodu malej vzorky, t.j. 10 probandov a nemôžeme vyvodiť všeobecnú platnosť získaných výsledkov. Limitovaný počet probandov vo veľkej miere ovplyvnila súčasná pandemická situácia, ktorú spôsobilo vírusové ochorenie Covid-19. Počas výnimočného stavu bol zakázaný prístup študentov do kineziologického laboratória Fakultnej nemocnici v Olomouci, čo značne ovplyvnilo možnosť praktického merania.

Za ďalšie obmedzenie štúdie by sme mohli pokladať použitie polyEMG pri objektivizácii svalovej aktivity počas predstavy pohybu. V niekoľkých predošlých štúdiách používajúcich na ozrejmienie svalovej aktivity pri predstave polyEMG neboli namerané žiadne významné rozdiely medzi pokojovou aktivitou a predstavou, čo môže byť dôsledkom aktivity svalu v hlbších štruktúrach (Geiger et al., 2019, s. 6; Lafleur et al., 2002, s. 148)

Limitujúci je aj faktor schopnosti tvorenia živej predstavy (Williams et al., 2012, s. 375). Preto sme si vybrali do našej štúdie mladých a zdravých jedincov a jedno zo vstupných kritérií bolo dosiahnutie dostatočného skóre z MIQ-R dotazníku, čo potvrdilo dobrú úroveň predstavivosti. Otázne by bolo, aké by boli výsledky u staršej populácie alebo u pacientov s klinickými príznakmi, ktoré môžu ovplyvňovať predstavu pohybu.

Priebeh experimentálneho merania bol všetkými probandami subjektívne vnímaný ako nenáročný. Merané situácie na seba plynulo nadväzovali a celkový čas merania aj s prípravou nepresiahol 40 minút. Tým sme chceli docieľiť maximálnu možnú koncentráciu probandov a eliminovať únavu, ktorá by sa mohla odzrkadliť na výsledkoch práce.

Pri porovnávaní vplyvu dominancie na predstavu pohybu sa stretávajú obidva vyššie uvedené limitujúce faktory. V prvom rade to je malá vzorka probandov, ktorá nebola vyvážená v dominancií končatín. U ôsmich probandov bola dominantná pravá DK a u dvoch ľavá DK. Druhý limit bol práve zvolená objektivizačná metóda v podobe povrchovej EMG. V štúdiách, v ktorých sa porovnával vplyv dominancie končatín na predstavu pohybu pomocou EMG neboli nájdené žiadne zmeny. Avšak štúdie, ktoré používali iné zobrazovacie metódy (napr. EEG) boli schopné detegovať rozdiel v zapojení jednotlivých oblastí mozgu pri predstave dominantnou a nedominantnou končatinou (Vukelic et al., 2019, s. 22).

Pre ďalšie štúdie by bolo vhodnejšie porovnávať dopad dominancie na predstavu komplexného pohybu na HKK, kde je dominancia viac diferencovaná. Práve v týchto štúdiách boli zaznamenané štatisticky významné zmeny (Matsuo et al., 2019, s. 5).

Záver

Predstava pohybu a jej vplyv na motorický výkon je aj v dnešných dňoch predmetom mnohých výskumov. Možnosť objektivizovať efekt predstavy otvára stále nové možnosti využitia tejto techniky mentálneho tréningu v praxi. Práve moderné zobrazovacie metódy potvrdili prepojenie medzi predstavou pohybu a reálnym vykonaním danej činnosti. Podobnosti sa našli na rôznych úrovniach riadenia CNS. Potvrdenie neuroplastických zmien počas predstavy pohybu viedlo k rozšíreniu použitia imaginácie nielen v rámci športu a motorického učenia, ale aj v rámci rehabilitácie.

Na objektivizáciu vplyvu predstavy pohybu na svalovú činnosť sme si v diplomovej práci zvolili polyEMG. Hodnotili sme aktivitu proximálnych svalov dolných končatín, konkrétne m. rectus femoris a m. biceps femoris počas komplexnej predstavy pohybu - výstupu na schod.

Cieľom tejto diplomovej práce bolo zhodnotiť aktivitu proximálnych svalov dolných končatín počas predstavy výstupu na schod, pred fyzickým vykonaním tohto výstupu a pri predstave po výstupe. Ďalej sme v práci porovnávali rozdielnu aktivitu svalov počas predstavy výstupu na schod dominantnou a nedominantnou dolnou končatinou.

Vzhľadom na to, že v súčasnej dobe neexistuje veľa štúdií, ktoré by hodnotili vplyv komplexného pohybu a prepojenie predstavy s dominantnou končatinou, sme experimentálnu časť práce merali na mladých a zdravých jedincoch, ktorí disponovali dobrou úrovňou predstavivosti.

Výsledky našej práce poukázali na štatisticky významný rozdiel aktivácie svalov počas prvej a druhej predstavy, avšak prítomný bol trend znižovania svalovej aktivity pri predstave po fyzickom vykonaní pohybu. K poklesu svalovej aktivity došlo, pravdepodobne, v dôsledku vymedzenia kognitívnej stratégie a utvrdenia pohybu pri samotnej realizácii výstupu na schod. Hodnoty namerané počas predstavy výstupu na schod nepoukázali na žiaden významný rozdiel medzi dominantnou a nedominantnou končatinou. Avšak pri subjektívnom hodnotení obťažnosti predstavy došlo k zlepšeniu vnímania náročnosti po fyzickom pohybe. Z toho vyplýva, že pred samotnou predstavou je vhodné daný pohyb vykonať a zlepšiť tak kvalitu a živosť predstavy.

Do ďalšej štúdie by bolo dobré zaradiť väčší počet probandov, prípadne aj pacientov s motorickým deficitom a ozrejmiť tak vplyv predstavy komplexného pohybu v rámci rehabilitačnej praxe. Tak isto by bolo vhodné porovnať prepojenie medzi predstavou pohybu a dominanciou na hornej končatine, kde je lateralita viac diferencovaná.

Referenčný zoznam

ABRAHAM, A., HART, A., ANDRADE, I., HACKNEY, M. E. 2018. Dynamic Neuro-Cognitive Imagery improves mental imagery ability, disease severity, and motor and cognitive function in people with Parkinson's disease. *Neural Plasticity* [on-line]. E-collection, 1-16 [cit. 2021-02-05]. Dostupné z: doi: 10.1155/2018/6168507.

ALKADHI, H., BRUGGER, P., HOTZ-BOENDERMAKER, S., CRELIER, G., CURT, A., REYMOND, M.C., KOLLIAS, S. S. 2005. What disconnection tells about motor imagery: evidence from paraplegic patients. *Cerebral Cortex* [on-line]. 15 (2), 131-140 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: doi: 10.1093/cercor/bhh116.

AZIZ-ZADEH, L., KOSKI, L., ZAIDEL, E., MAZZIOTTA, J., IACOBONI, M. 2006. Lateralization of the human mirror neuron system. *Journal of neuroscience* [online]. 26 (11), 2964-2970 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: doi: 10.1523/JNEUROSCI.2921-05.2006.

BAIER, B., KARNATH, H.O., DIETERICH, M., BIRKLEIN, F., HEINZE, C., MULLER, N.G. 2010. Keeping Memory Clear and Stable – The contribution of human basal ganglia and prefrontal cortex to working memory. *The Journal of Neuroscience* [on-line]. 30 (29), 9788–9792 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: DOI:10.1523/JNEUROSCI.1513-10.2010.

BOYNE, P., DOREN, S., SCHOLL, V., STAGGS, E., WHITESEL, D., MALONEY, T., AWOSIKA, O., KISSELA, B., DUNNING, K., VANNEST, J. 2021. Functional magnetic resonance brain imaging of imagined walking to study locomotor function after stroke. *Clinical Neurophysiology* [on-line]. 132, 167–177 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.clinph.2020.11.009.

BRENCE, J., POWERS, M. 2016. The role of vision in rehabilitation. *Co-kinetic Journal* [on-line]. 70 (10), 12-15 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.co-kinetic.com/index.php/content/the-role-of-vision-in-rehabilitation>.

BUTLER, J. A., PAGE, S. J. 2006. Mental practice with motor imagery: evidence for motor recovery and cortical reorganization after stroke. *Archives of Physical medicine and rehabilitation* [on-line]. 87 (12), 2-11 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.apmr.2006.08.326.

- CALIGIORE, D., MUSTILE, M., SPALLETTA, G., BALDASSARRE, G. 2017. Action observation and motor imagery for rehabilitation in Parkinson's disease: A systematic review and an integrative hypothesis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* [on-line]. 72, 210 - 222 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.11.005.
- CENGIZ, B., BORAN, H. E. 2016. The role of the cerebellum in motor imagery. *Neuroscience Letters* [on-line]. 617, 156 - 159 [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.01.045>.
- CENGIZ, B., VURALLI, D., ZINNUROGLU, M., BAYER, G., GUNENDI, Z., TURGUT, A.E., IRFANGLU, B., ARIKAN, K.B. 2018. Analysis of mirror neuron system activation during action observation alone and action observation with motor imagery tasks. *Experimental brain reserach* [on-line]. 236, 497-503 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: doi: 10.1007/s00221-017-5147-5.
- CUI, X., JETER, C. B., YANG, D., MONTAGUE, P. R., EAGLEMAN, D. M. 2007. Vividness of mental imagery: Individual variability can be measured objectively. *Science Direct* [on-line]. 47, 474-478 [cit. 2021-05-07]. Dostupné z: doi:10.1016/j.visres.2006.11.013.
- DANA, A., GOZALZADEH, E. 2017. Internal and external imagery effects on tennis skills among novices. *Perceptual and Motor Skills* [on-line]. 124 (5), 1-22 [cit. 2021-01-20]. Dostupné z: DOI: 10.1177/0031512517719611.
- DEBARNOT, U., ABICHO, K., KALENZAGA, S., SPERDUTI, M., PIOLINO, P. 2015. Variable motor imagery training induces sleep memory consolidation and transfer improvements. *Neurobiology of Learning and Memory* [on-line]. 119, 85-92 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.nlm.2014.12.010>.
- DEBARNOT, U., CREVEAUX, T., COLLET, CH., GEMIGNANI, A., MASSARELLI, R., DOYON, J., GUILLOT, A. 2009. Sleep-related improvements in motor learning following mental practice. *Brain and Cognition* [on-line]. 69, 398-405 [cit. 2021-04-29]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.bandc.2008.08.029.
- DEBARNOT, U., SPERDUTI, M., DI RIENZO, F., GUILLOT, A. 2014. Experts bodies, experts minds: How physical and mental training shape the brain. *Frontiers in Human Neurosciences* [on-line]. 280, 1-17 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: doi: 10.3389/fnhum.2014.00280.

DECETY, J. 1996. Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Brain research. Cognitive brain research* [on-line]. 3 (2), 87-93 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: doi: 10.1016/0926-6410(95)00033-x.

DECETY, J., JEANNEROD, M., DUROZARD, D., BAVEREL, G. 1993. Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. *Journal of Psychology* [on-line]. 461, 549-563 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: doi: 10.1113/jphysiol.1993.sp019528.

DI CORRADO, D., GUARNERA, M., VITALI, F., QUARTIROLI, A., COCO, M. 2019. Imagery ability of elite level athletes from individual vs. team and contact vs. no-contact sports. *Brain and cognition* [on-line]. in press [cit. 2020-02-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.7717/peerj.6940>.

DI RIENZO, F., COLLET, CH., HOYEK, N., GUILLOT, A. 2014. Impact of Neurologic Deficits on Motor Imagery: A Systematic Review of Clinical Evaluations. *Neuropsychology Review* [on-line]. 24(2), 116–147 [cit. 2020-12-26]. Dostupné z: doi:10.1007/s11065-014-9257-6.

DI RIENZO, F., DEBARNOT, U., DALIGAULT, S., SARUCO, E., DELPUECH, C., DOYON, J., COLLET, CH., GUILLOT, A. 2016. Online and offline performance gains following motor imagery practice: A comprehensive review of behavioral and neuroimaging studies. *Frontiers in Human Neuroscience* [on-line]. 315 (10), 1–15 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00315>.

DICKSTEIN, R., GAZIT-GRUNWALD, M., PLAX, M., DUNSKY, A., MARCOVITZ, E. 2005. EMG activity in selected target muscles during motor imagery rising on tiptoes in healthy adults and post strokes hemiparetic patients. *Journal of Motor Behavior* [on-line]. 37 (6), 475–483 [cit. 2020-10-27]. Dostupné z: doi: 10.3200/JMBR.37.6.475-483.

DICKSTEIN, R., LEVY, S., SHEFI, S., HOLTZMAN, S., PELEG, S., VATINE, J. 2014. Motor imagery group practice for gait rehabilitation in individuals with post-stroke hemiparesis: A pilot study. *Neural rehabilitation* [on-line]. (34), 267–276 [cit. 2020-09-20]. Dostupné z: doi:10.3233/NRE-131035.

DOBKIN, B. H., FIRESTINE, A., WEST, M., SAREMI, K., WOODS, R. 2004. Ankle dorsiflexion as an fMRI paradigm to assay motor control for walking during rehabilitation.

Neuroimage [on-line]. 23 (1), 370-381 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.06.008>.

DRISKELL, J., COPPER, C., MORAN, A. 1994. Does mental practice enhance performance? *Journal of Applied Psychology* [on-line]. 79 (4), 481-492 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1037/0021-9010.79.4.481>.

EL- WISHY, A. FAYEZ. E.S. 2013. Effect of locomotor imagery training added to physical therapy program on gait performance in Parkinson patients: A randomized controlled study. *Egypt J Neurol Psychiat Neurosurg.* [on-line]. 50 (1), 31–37 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/284714826_Effect_of_Locomotor_Impagery_Training_Added_to_Physical_Therapy_Program_on_Gait_Performance_in_Parkinson_Patients_A_Randomized_Controlled_Study.

EMERSON, J. R., BINKS, J. A., SCOTT, M., KENNY, R. P., EAVES, D. L. 2018. Combined action observation and motor imagery therapy: a novel method for post-stroke motor rehabilitation. *AIMS Neuroscience* [on-line]. 5 (4), 236–252 [cit. 2020-09-23]. Dostupné z: doi: 10.3934/Neuroscience.2018.4.236.

FADIGA, L., FOGASSI, L., PAVESI, G., RIZZOLATTI, G. 1995. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology* [on-line]. 73 (6), 2608-2611 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: doi: 10.1152/jn.1995.73.6.2608.

FINK, A., GRAIF, B., NEUBAUER, A. C. 2009. Brain correlates underlying creative thinking: EEG alpha activity in professional vs. novice dancers. *Neuroimage* [on-line]. 46 (3), 854-862 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.02.036.

FIORI, F., SEDDA, A., FERRE, E. R., TORALDO, A., QUERZOLA, M., PASOTTI, F., OVADIA, D., PIRODDI, CH., REDAELLI, T., BOTTINI, G. 2014. Motor imagery in spinal cord injury patients: moving makes the difference. *Journal of Neuropsychology* [on-line]. 8 (2), 199-215 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: doi: 10.1111/jnp.12020.

GATTI, R., TETTAMANTI, A., GOUGH, P. M., RIBOLDI, E., MARINONI, L., BUCCINO, G. 2013. Action observation versus motor imagery in learning a complex motor task: A short review of literature and a kinematics study. *Neuroscience Letters* [on-line]. 540, 37-42 [cit. 2020-12-30]. Dostupné z: doi:10.1016/j.neulet.2012.11.039.

GEIGER, D. E., BEHRENDT, F., SCHUSTER-AMFT, C. 2019. EMG muscle activation pattern of four lower extremity muscles during stair climbing, motor imagery, and robot - assisted stepping: A cross- sectional study in healthy individuals. *Research article* [on-line]. (19) 1-8 [cit. 2021-01-05]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2019/9351689>.

GENTILI, R. J., PAPAXANTHIS, C. 2015. Laterality effects in motor learning by mental practice in right-handers. *Neuroscience* [on-line]. 297, 231-242 [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuroscience.2015.02.055.

GENTILI, R., PAPAXANTHIS, C., POZZO, T. 2006. Improvement and generalization of arm motor performance through motor imagery practice. *Neuroscience* [on-line]. 137 (3), 761-772 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.10.013.

GUILLOT, A., COLLET, CH. 2008. Construction of the motor imagery integrative model in sport: a review and theoretical investigation of motor imagery use. *International Review of sport and Exercise Psychology* [on-line]. 1 (1), 31-44 [cit. 2021-02-08]. Dostupné z: doi:10.1080/17509840701823139.

GUILLOT, A., COLLET, CH., LOUIS, A. 2010. Neurophysiological correlates of motor imagery. In: GUILLOT, A., COLLET, CH. *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-954625-1.

GUILLOT, A., COLLET, CH., NGUYEN, V. A., MALOUIN, F., RICHARDS, C., DOYON, J. 2008. Functional neuroanatomical networks associated with expertise in motor imagery. *Neuroimage* [on-line]. 41 (4), 1471-1483 [cit. 2021-02-29]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuroimage.2008.03.042.

GUILLOT, A., TOLLERON, C., COLLET, CH. 2010. Does motor imagery enhance stretching and flexibility ?. *Journal Sports Science* [on-line]. 28 (3), 291-298 [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: doi: 10.1080/02640410903473828.

HAALAND, K. Y., HARRINGTON, D. L. 1996. Hemispheric asymmetry of movement. *Current Opinion in Neurobiology* [on-line]. 6 (6), 796-800 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(96\)80030-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(96)80030-4).

HEREMANS, E., SMITS-ENGELSMAN, B., CAEYENBERGHS, K., VERCRUYSSSE, S., NIEUWBOER, A., FEYS, P., HELSEN, W.F. 2011. Keeping an eye on imagery: The role of

eye movements during motor imagery training. *Neuroscience* [on-line]. 195, 37–44 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroscience.2011.07.030.

HETU, S., GREGOIRE, M., SAIMPONT, A., COLL, M. P., EUGENE, F., MICHON, P. E., JACKSON, P. L. 2013. The neural network of motor imagery: an ALE meta-analysis. *Neuroscience and Behavioral reviews* [on-line]. 37 (5), 930–949 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.03.017.

HOLMES, P. S., COLLINS, D. J. 2001. The PETTLEP approach to motor imagery: a functional equivalence model for sport psychologists. *Journal of Applied Sport Psychology* [on-line]. 13 (1), 60-83 [cit. 2021-02-29]. Dostupné z: DOI:10.1080/10413200109339004.

HOTZ-BOENDERMAKER, S., FUNK, M., SUMMERS, P., BRUGGER, P., REYMOND, M. C., CURT, A., KOLLIAS, S. S. 2008. Preservation of motor imagery programs in paraplegics as demonstrated by attempted and imagined foot movements. *Neuroimage* [on-line]. 39 (1), 383-394 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuroimage.2007.07.065.

CHATTERJEE, A. 2018. Reflection on mirror neurons and rehabilitation. *Cong. Behav. Neurology* [on-line]. 31 (4), 243–253 [cit. 2020-12-29]. Dostupné z: <https://journals.lww.com/cogbehavneurol/pages/default.aspx>.

JACKSON, P. L., LAFLEUR, M. F., MALOUIN, F., RICHARDS, C., DOYON, J. 2001. Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation* [on-line]. 82 (8), 1133-1141 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: doi: 10.1053/apmr.2001.24286.

JOHNSON-FREY, S. H. 2004. Stimulation through simulation ? Motor imagery and functional reorganization in hemiplegic stroke patients. *Brain and cognition* [on-line]. 55 (2), 328-331 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.bandc.2004.02.032.

KANTHACK, T. F. D., GUILLOT, A., PAPAXANTHIS, CH., GUIZARD, T., COLLET, CH., DI RIENZO, F. 2017. Neurophysiological insights on flexibility improvements through motor imagery. *Behavioral Brain Research* [on-line]. 28 (331), 1–28 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.bbr.2017.05.004.

- KOSSLYN, S. M., GANIS, G., THOMPSON, W. L. 2001. Neural foundations of imagery. *Nature reviews. Neuroscience* [on-line]. 2 (9), 635-642 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: doi: 10.1038/35090055.
- KOSSLYN, S. M., GANIS, G., THOMPSON, W. L. 2010. Multimodal images in the brain. In: GUILLOT, A., COLLET, CH. *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-954625-1.
- KROBOT, A., KOLÁŘOVÁ, B. 2011. *Povrchová elektromyografie v klinické rehabilitaci*. Univerzita Palackého: Olomouc. ISBN 978-80-244-62-1.
- LAFLEUR, M. F., JACKSON, P. L., MALOUIN, F., RICHARDS, C. L., EVANS, A. C., DOYON, J. 2002. Motor learning produces parallel dynamic functional changes during the execution and imagination of sequential foot movements. *NeuroImage* [on-line]. 16, 142–157 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: doi:10.1006/nimg.2001.1048.
- LEBON, F., ROUFFET, D., COLLET, C., GUILLOT, A. 2008. Modulation of EMG power spectrum frequency during motor imagery. *Neuroscience Letters* [on-line]. 435 (3), 181-185 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neulet.2008.02.033.
- LEE, H. W., KIM, E., SEO, H. G., OH, B. M., NAM, H. S., KIM, Y. J., LEE, H. H., KANG, M.G., BANG, M. S. 2019. Target – oriented motor imagery for grasping action: different characteristics of brain activation between kinesthetic and visual imagery. *Scientific Reports* [on-line]. 9, 1–14 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49254-2>.
- LEE, S. A., CHA, H. G. 2019. The effect of motor imagery and mirror therapy on upper extremity function according to the level of cognition in stroke patients. *International journal of rehabilitation research* [on-line]. 42 (4), 330–336 [cit. 2020-11-04]. Dostupné z: doi: 10.1097/MRR.0000000000000366.
- LIU, K. P., CHAN, CH. C., LEE, T. M., HUI-CHAN, CH. 2004. Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: a randomized controlled trial. *Archives of Physical medicine and rehabilitation* [on-line]. 85 (9), 1403-1408 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.apmr.2003.12.035.
- LÓPEZ, N. D., PEREIRA, E. M., CENTENO, E. J., PAGE, J. C. M. 2019. Motor imagery as a complementary technique for functional recovery after stroke: a systematic review. *Topics in*

stroke rehabilitation [on-line]. 1- 13 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10749357.2019.1640000>.

LOTZE, M., ZENTGRAF, K. 2010. Contribution of the primary motor cortex to motor imagery. In: GUILLOT, A., COLLET, CH. *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-954625-1.

MALOUIN, F., JACKSON, P. L., RICHARDS, C. L. 2013. Towards the integration of mental practice in rehabilitation programs. A critical review. *Frontiers in Human Neuroscience* [on-line]. 576 (7), 1-20 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: doi: 10.3389/fnhum.2013.00576.

MALOUIN, F., RICHARDS, C. J., DURAND, A., DOYON, J. 2008. Reliability of mental chronometry for assessing motor imagery ability after stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [on-line]. 89 (2), 311-319 [cit. 2021-05-08]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.apmr.2007.11.006.

MALOUIN, F., RICHARDS, C. L. 2010. Mental practice for relearning locomotor skills. *Physical Therapy* [on-line]. 90 (2), 240-251 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: doi: 10.2522/ptj.20090029.

MANTANI, T., OKAMOTO, Y., SHIRAO, N., OKADA, G., YAMAWAKI, S. 2005. Reduced activation of posterior cingulate cortex during imagery in subjects with high degrees of alexithymia: a functional magnetic resonance imaging study. *Biological Psychiatry* [on-line]. 57 (9), 982-990 [cit. 2021-04-24]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.biopsych.2005.01.047.

MATSUO, M., ISO, N., FUJIWARA, K., MORIUCHI, T., TANAKA, G., HONDA, S., MATSUDA, D., HIGASHI, T. 2019. Cerebral haemodynamics during motor imagery of self-feeding with chopsticks: differences between dominant and non-dominant hand. *Somatosensory Motor Research* [on-line]. 37 (1), 1-9 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: doi: 10.1080/08990220.2019.1699044.

MIZUGUCHI, N., NAKATA, H., KANOSUE, K. 2014. Effector-independent brain activity during motor imagery of the upper and lower limbs: An fMRI study. *Neuroscience Letters* [on-line]. 581, 69-74 [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: DOI: 10.1016/j.neulet.2014.08.025.

- MOKIENKO, O.A., CHERNIKOVA, L. A., FROLOV, A., BOBROV, P. D. 2014. Motor imagery and its practical application. *Neuroscience and Behavioral Physiology* [on-line]. 44 (5), 483–489 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: doi:10.1007/s11055-014-9937-y.
- MORAN, A., O'SHEA, H. 2020. Motor imagery practice and cognitive processes. *Frontiers in Psychology* [on-line]. 11 (394), 1-5 [cit. 2021-01-08]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00394>.
- MULDER, T. 2007. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *Journal of Neural Transmission* [on-line]. 114 (10), 1265-1278 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: doi: 10.1007/s00702-007-0763-z.
- MUNZERT, J., LOREY, B., ZENTGRAF, K. 2009. Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain research reviews* [on-line]. 60 (2), 306-326 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.brainresrev.2008.12.024.
- MUTHA, P. K., HAALAND, K., SAINBURG, R. L. 2012. The effects of brain lateralization on motor control and adaptation. *Journal of Motor Behavior* [on-line]. 44 (6), 455–469 [cit. 2021-05-03]. Dostupné z: doi: 10.1080/00222895.2012.747482.
- NAISH, K. R., HOUSTON-PRICE, C., BREMNER, A. J., HOLMES, N. P. 2014. Effects of action observation on corticospinal excitability: Muscle specificity, direction, and timing of the mirror response. *Neuropsychologia* [on-line]. 64, 331-348 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2014.09.034.
- NASCIMENTO, I. A. P., SANTIAGO, M. L., SOUZA, A. A., PEGADO, C. L., RIBEIRO, T. S., LINDQUIST, A. R. 2019. Effects of motor imagery training of Parkinson's disease: a protocol for a randomized clinical trial. *Trials* [on-line]. 20 (626) , 1-8 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: DOI: 10.1186/s13063-019-3694-8.
- NEUPER, CH., PFURTSCHELLER, G. 2010. Electroencephalographic characteristics during motor imagery. In: GUILLOT, A., COLLET, CH. *The neurophysiological foundations of mental and motor imagery*. New York: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-954625-1.
- OOSTRA, K.M., BLADEL, A. V., VANHOONACKAR, A. C. L., VINGERHOETS, G. 2016. Damage to Fronto-Parietal Networks Impairs Motor Imagery Ability after Stroke: A Voxel-

- Based Lesion Symptom mapping study. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* [on-line]. 10 (5), 1– 9 [cit. 2021-01-03]. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2016.00005>.
- PALVA, S., KULASHEKHAR, S., HAMALAINEN, M., PAVLA, J. M. 2011. Localization of cortical phase and amplitude dynamics during visual working memory encoding and retention. *Journal of Neuroscience* [on-line]. 31 (13), 5013-5025 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: doi: 10.1523/JNEUROSCI.5592-10.2011.
- PAPADELIS, CH., PAPADELI, CH. K., BAMIDIS, P., ALBANI, M. 2007. Effects of imagery training on cognitive performance and use of physiological measures as an assessment tool of mental effort. *Brain and Cognition* [on-line]. 64 (1), 74-85 [cit. 2021-05-02]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.bandc.2007.01.001.
- PASCUAL-LEONE, A., NGUYET, D., COHEN, L.G., BRASIL-NETO, J. P., CAMMAROTA, A., HALLETT, M. 1995. Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *Journal of Neurophysiology* [online]. 74 (3), 1037-1045 [cit. 2021-05-19]. Dostupné z: doi: 10.1152/jn.1995.74.3.1037.
- PETERSON, D. S., PICKETT, K. A., GAMMON, M., EARHART, M. 2012. Effects of levodopa on vividness of motor imagery in Parkinson disease. *Journal of Parkinsons disease* [on-line]. 2 (2), 127-133 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: doi: 10.3233/JPD-2012-12077.
- POZZO, T., PAPAXANTHIS, CH., PETIT, J. L., SCHWEIGHOFER, N., STUCCHI, N. 2006. Kinematic features of movement tunes perception and action coupling. *Behavioural Brain Research* [on-line]. 169, 75-82 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: doi:10.1016/j.bbr.2005.12.005.
- RAFFIN, E., MATTOU, J., REILLY, K.T., GIRAUX, P. 2012. Disentangling motor execution from motor imagery with the phantom limb. *Brain a Journal of Neurology* [on-line]. 135, 582-595 [cit. 2021-01-04]. Dostupné z: doi:10.1093/brain/awr337.
- ROBERTS, R., CALLOW, N., HARDY, L., MARKLAND, D., BRINGER, J. 2008. Movement imagery ability: development and assesment of a revised version of the vividness of movement imagery questionnaire. *Journal of Sport Exercise Psychology* [on-line]. 30 (2), 200-221 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: doi: 10.1123/jsep.30.2.200.

RUFFINO, C., PAPAXANTHIS, CH., LEBON, F. 2016. Neural plasticity during motor learning with motor imagery practice: Review and Perspectives. *Neuroscience* [on-line]. in press, 1–18 [cit. 2021-02-24]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.11.023>.

SAKAI, K. IKEDA Y. 2019. Clinical assessment of motor imagery and physical function in mild stroke patients. *Journal of physical therapy science* [on-line]. 31 (12), 992–996 [cit. 2020-09-15]. Dostupné z: doi: 10.1589/jpts.31.992.

SCANDOLA, M., AGLIOTI, M. S., POZEG, P., AVESANI, R., MORO, V. 2017. Motor imagery in spinal cord injured people is modulated by somatotopic coding, perspective taking, and post-lesional chronic pain. *Journal of Neuropsychology* [on-line]. 11 (3), 305-326 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: doi: 10.1111/jnp.12098.

SCOTT, M., TAYLOR, S., CHESTERTON, P., VOGT, S., EAVES, D. L. 2017. Motor imagery during action observation increase eccentric hamstring force: an acute non-physical intervention. *Disability and Rehabilitation* [on-line]. 40 (12), 1–10 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: doi: 10.1080/09638288.2017.1300333.

SERRIEN, D. J., IVRY, R. B., SWINNEN, S. P. 2006. Dynamics of hemispheric specialization and integration in the context of motor control. *Nature reviews Neuroscience* [on-line]. 7 (2), 160-166 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: doi: 10.1038/nrn1849.

SMALL, S. L., BUCCINO, G., SOLODKIN, A. 2012. The mirror neuron system and treatment of stroke. *Developmental Psychobiology* [on-line]. 293 -310 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: DOI 10.1002/dev.20504.

SMITH, M. E., GEVINS, A., BROWN, H., KARNIK, A., DU, R. 2001. Monitoring task loading with multivariate EEG measures during complex forms of human-computer interaction. *Human factors* [on-line]. 43 (3), 366-380 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: doi: 10.1518/001872001775898287.

STEENBERGEN, B., CRAJÉ, C., NILSEN, D. M., GORDON, A. M. 2009. Motor imagery training in hemiplegic cerebral palsy: a potentially useful therapeutic tool for rehabilitation. *Developmental Medicine and Child Neurology* [on-line]. 51 (9), 690-696 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: doi: 10.1111/j.1469-8749.2009.03371.x.

- STINEAR, C. M., BYBLOW, W. D., STEYVERS, M., LEVIN, O., SWINNEN, S. P. 2006. Kinesthetic, but not visual, motor imagery modulates corticomotor excitability. *Experimental Brain Research* [on-line]. 168 (2), 157–164, [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: doi:10.1007/s00221-005-0078-y.
- SZAMEITAT, A. J., SHEN, S., CONFORTO, A., STERR, A. 2012. Cortical activation during executed, imagined, observed, and passive wrist movements in healthy volunteers and stroke patients. *NeuroImage* [on-line]. 62, 266–280 [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.05.009.
- TIDONI, E., GRISONI, L., LIUZZA, M. T., AGLIOTI, S. M. 2014. Rubber hand illusion highlights massive visual capture and sensorimotor face-hand remapping in a tetraplegic man. *Restorative Neurology and Neuroscience* [on-line]. 32 (5), 611-622 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: doi: 10.3233/RNN-130385.
- TOMSCHEWSKI, A., STROHLEIN, A., LANGTHALER, B.P., SCHMID, E., POTTHOFF, J., HOLLER, P., LEIS, S., TRINKA, E., HOLLER, Y. 2017. Imagine there is no plegia. Mental Motor Imagery difficulties in patients with traumatic spinal cord injury. *Frontiers in Neuroscience* [on-line]. 11 (689), 1-9 [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: doi: 10.3389/fnins.2017.00689.
- TONG, Y., PENDY, J.T., LI, W. A., DU, H., ZHANG, T., GENG, X., DING, Y. 2017. Motor imagery – based rehabilitation: Potential neural correlates and clinical application for functional recovery of motor deficits after stroke. *Aging and disease* [on-line]. 8(3), 364–371 [cit. 2021-01-02]. Dostupné z: DOI: 10.14336/AD.2016.1012.
- TOUCHE, R. L., PARIS-ALEMANY, A., AGUDO-CARMONA, D., FERNÁNDEZ-CSRNERO, J., GADEA-MATEOS, L., SUSO-MARTI, L., CUENCA-MARTÍNEZ, F. 2019. Visual motor imagery predominance in professional Spanish dancers. *Somatosensory and Motor Research* [on-line]. 36 (3), 179–188 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/08990220.2019.1641480>.
- VUKELIC, M., BELARDINELLI, P., GUGGENBERGER, R., ROYTER, V., GHARABAGHI, A. 2019. Different oscillatory entrainment of cortical networks during motor imagery and neurofeedback in right and left handers. *Neuroimage* [on-line]. 15 (195), 1–48 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.03.067.

WILLIAMS, J., ODLEY, J. L., CALLAGHAN, M. 2004. Motor imagery boosts Proprioceptive Neuromuscular Facilitation in the attainment and retention of range-of-motion at the hip joint. *Journal of Sports Science Medicine* [on-line]. 3 (3), 160 –166 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3905298/>.

WILLIAMS, J., PEARCE, A. J., LOPORTO, M., MORRIS, T., HOLMES, P. S. 2012. The relationship between corticospinal excitability during motor imagery and motor imagery ability. *Behavioural brain research* [on-line]. 226 (2), 369-375 [cit. 2021-05-05]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.bbr.2011.09.014.

WILLIAMS, S. E., GUILLOT, A., DI RIENZO, F., CUMMING, J. 2015. Comparing self-report and mental chronometry measures of motor imagery ability. *European Journal of Sport Science* [online]. 15 (8), 703-711 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: doi: 10.1080/17461391.2015.1051133.

WOLPERT, D. M., FLANAGAN, J., R. 2001. Motor prediction. *Current Biology* [on-line]. 11 (18), 729-732 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: doi: 10.1016/s0960-9822(01)00432-8.

WRIESSNEGGER, S. C., STEYRL, D., KOSCHUTNIG, K., MÜLLERPUTZ, G. R. 2014. Short time sports exercise boosts motor imagery patterns: implications of mental practice in rehabilitation programs. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 8 (469), 1-9 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: doi:10.3389/fnhum.2014.00469.

WRIESSNEGGER, S.C., KIRCHMEYR, D., BAUERNFEID, G., PUTZ, G. R. 2017. Force related hemodynamic responses during execution and imagery of a hand grip task: A functional near infrared spectroscopy study. *Brain and Cognition* [on-line]. in press, 1- 9 [cit. 2021-02-20]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandc.2017.06.010>.

YALI, H., AIGUO, S., HAITO, G., SONGQING, Z. 2015. The muscle activation patterns of lower limb during stair climbing at different backpack load. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* [on-line]. 17 (4), 13-20 [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: DOI: 10.5277/ABB-00155-2014-06.

ZABICKI, A., HAAS, B., ZENTGRAF, K., STARK, R., MUNZERT, J., KRUGER, B. 2019. Subjective vividness of motor imagery has a neural signature in human premotor and parietal complex. *Neuroimage* [on-line]. 197, 1-32 [cit. 2021-05-04]. Dostupné z: doi: 10.1016/j.neuroimage.2019.04.073.

Zoznam skratiek

ADL	activity of daily living
BF	m. biceps femoris
CMP	cievna mozgová príhoda
CNS	centrálny nervový systém
dex.	dBFexter
D	dominantná
DK	dolná končatina
DKK	dolné končatiny
EEG	elektroencefalografia
EMG	elektromyografia
fMRI	funkčná magnetická rezonancia
HK	horná končatina
HKK	horné končatiny
KVIQ	Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire
m.	musculus
M1	primárny motorický kortex
MEG	magnetoencefalografia
MIIMS	The Motor Imagery Integrative Model in Sport
MIQ	The Movement Imagery Questionnaire
MIQ-R	The Movement Imagery Questionnaire - Revised
MRI	magnetická rezonancia
N	nedominantná
p	hladina štatistickej významnosti
PET	pozitrónová emisná tomografia
PETTLEP	physical, environment, timing, task, learning, emotion, perspective
PNS	periférny nervový systém
polyEMG	povrchová elektromyografia
RF	m. rectus femoris

RMS	root mean square
s	sekunda
SD	smerodajná odchýlka
sin.	sinister
TMS	transkraniálna magnetická stimulácia
VMIQ	Vividness of Motor Imagery Questionnaire

Zoznam tabuliek

Tab. 1	Popisná štatistika dominantnej aj nedominantnej DK pri prvej predstave pred vykonaním fyzického pohybu a pri druhej predstave po reálnom vykonaní pohybu.....	37
Tab. 2	Popisná štatistika subjektívneho hodnotenia predstavy pred výstupom na schod a po reálnom výstupe na schod.....	38
Tab. 3	Wilcoxonov párový test pre subjektívne hodnotenie predstavy pred fyzickým výstupom na schod a po výstupe.....	38
Tab. 4	Mann-Whitney U test na porovnanie predstavy výstupu na schod dominantnou a nedominantnou DK.....	38

Zoznam obrázkov

Obrázok 1	fMRI zobrazujúce aktivované časti mozgu počas predstavy pohybu HK (Mizuguchi et al., 2014, s. 72).....	16
Obrázok 2	Konštantne aktivované regióny CNS počas predstavy pohybu (Hetu et al., 2013, s. 934).....	16
Obrázok 3	Graf zobrazujúci priemernú aktivitu m. biceps femoris dominantnej DK.....	39
Obrázok 4	Graf zobrazujúci priemernú aktivitu m. rectus femoris dominantnej DK.....	40
Obrázok 5	Graf zobrazujúci priemernú aktivitu m. rectus femoris nedominantnej DK.....	41
Obrázok 6	Graf porovnávajúci hodnoty nedominantného a dominantného m. biceps femoris pri predstave výstupu na schod.....	42
Obrázok 7	Graf porovnávajúci hodnoty nedominantného a dominantného m. rectus femoris pri predstave výstupu na schod.....	42
Obrázok 8	Graf zobrazujúci subjektívnu náročnosť predstavy dominantnej DK pred vykonaným výstupom a po výstupe.....	43
Obrázok 9	Graf zobrazujúci subjektívnu náročnosť predstavy nedominantnej DK pred vykonaným výstupom a po výstupe.....	44
Obrázok 10	Hemodynamické korelácie počas predstavy pohybu dominantnou a nedominantnou HK (Matsuo et al., 2019, s. 5).....	48

Zoznam príloh

Príloha 1	Informovaný súhlas.....	75
Príloha 2	Umiestenie senzorov.....	77
Príloha 3	Movement Imagery Questionnaire - Revised (MIQ-R).....	78
Príloha 4	Usmernenie k hodnoteniu dotazníka MIQ-R a stupnica na vyhodnotenie obťažnosti vizuálnej a kinestetickéj stupnice.....	81
Príloha 5	Záznamový hárok probanda a hodnotenie MIQ-R dotazníku.....	82
Príloha 6	Subjektívne hodnotenie predstavy probandom.....	83
Príloha 7	Výstup na schod.....	84
Príloha 8	Výsledky subjektívneho hodnotenia predstavy výstupu na schod pred reálnym vykonaním a po.....	85

Prílohy

Príloha 1 - Informovaný súhlas

Informovaný súhlas

Pro výzkumný projekt: Diplomová práce s názvem – Predstava komplexného pohybu dolných končatín v obraze povrchovej elektromyografie

Období realizace: Září 2020–Srpen 2021

Řešitelé projektu: Bc. Karolína Takáčová, Mgr. Marek Tomsa

Vážená paní, vážený pane,

obracíme se na Vás se žádostí o spolupráci na výzkumném šetření, jehož cílem je zhodnotit aktivitu svalu dolních končetin a břicha při představě výstupu na schod pomocí povrchového EMG, kdy si samotný pohyb budete prve jenom představovat a pak se výstup na schod aj prakticky provede. Měření bude trvat okolo 45 min, proběhne jednorázově v prostorech Univerzity Palackého pod dohledem fyzioterapeuta. Z účasti na výzkumu se dozvíte informace o schopnosti zapojit Vaše svaly při představě pohybu a o tom, zda je stereotyp aktivaci svalu při samotném provedení pohybu správný a jaká je Vaši schopnost celkového vnímání svého těla. Z výzkumů pro Vás nevyplývají žádné rizika, pokud budete dodržovat instrukce řešitele projektu. Pokud s účastí na výzkumu souhlasíte, připojte podpis, kterým vyslovujete souhlas s níže uvedeným prohlášením.

Prohlášení účastníka výzkumu

Prohlašuji, že souhlasím s účastí na výše uvedeném výzkumu. Řešitel/ka projektu mne informoval/a o podstatě výzkumu a seznámil/a mne s cíli a metodami a postupy, které budou při výzkumu používány, podobně jako s výhodami a riziky, které pro mne z účasti na výzkumu vyplývají. Souhlasím s tím, že všechny získané údaje budou anonymně zpracovány, použity jen pro účely výzkumu a že výsledky výzkumu mohou být anonymně publikovány.

Měl/a jsem možnost vše si řádně, v klidu a v dostatečně poskytnutém čase zvážit, měl/a jsem možnost se řešitele/ky zeptat na vše, co jsem považoval/a za pro mne podstatné a potřebné

vědět. Na tyto mé dotazy jsem dostal/a jasnou a srozumitelnou odpověď. Jsem informován/a, že mám možnost kdykoliv od spolupráce na výzkumu odstoupit, a to i bez udání důvodu.

Osobní údaje (sociodemografická data) účastníka výzkumu budou v rámci výzkumného projektu zpracována v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady EU 2016/679 ze dne 27. dubna 2016 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů a o zrušení směrnice 95/46/ES (dále jen „nařízení“).

Prohlašuji, že beru na vědomí informace obsažené v tomto informovaném souhlasu a souhlasím se zpracováním osobních a citlivých údajů účastníka výzkumu v rozsahu a způsobem a za účelem specifikovaným v tomto informovaném souhlasu.

Tento informovaný souhlas je vyhotoven ve dvou stejnopisech, každý s platností originálu, z nichž jeden obdrží účastník výzkumu (nebo zákonný zástupce) a druhý řešitel projektu.

Jméno, příjmení a podpis účastníka výzkumu (zákonného zástupce): _____

V _____ dne: _____

Jméno, příjmení a podpis řešitele projektu: _____

Príloha 2 – Umiestnenie senzorov



Legenda: Na fotke 1. je zachytený pohľad spredu, v čiernom krúžku sú senzory pre m. rectus femoris, v červenom krúžku je akcelerometer, ktorý bo umiestnený na tibiou. Na fotke 2. je zaznamenaný pohľad zozadu, pričom v čiernom krúžku je senzor umiestnený na m. biceps femoris.

Priloha 3 – Movement Imagery Questionnaire - Revised (MIQ-R)

1. **VÝCHOZÍ POZICE:** Stoj snožmo s horními končetinami připáženými.

POHYB: Pomalu zvedni pravé koleno co nejvýše a opět jej pomalu vrať do výchozí pozice.

MENTÁLNÍ ÚKOL: Zaujmi výchozí pozici a pokus se vnímat, jak opět provádíš právě vykonaný pohyb, ale nyní bez jeho skutečného provedení. Následně zhodnot' snadnost/obtížnost, se kterou jsi byla schopna tento mentální úkol provést.

HODNOCENÍ:

2. **VÝCHOZÍ POZICE:** Stoj s dolními končetinami mírně od sebe a horními končetinami připáženými.

POHYB: Přejdi do mírného podřepu a následně se současným pohybem horních končetin směrem vzhůru vyskoč co nejvýše a snaž se dopadnout do výchozí pozice.

MENTÁLNÍ ÚKOL: Zaujmi výchozí pozici. Pokus se vidět samu sebe, jak provádíš právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější představě. Nyní zhodnot' snadnost/obtížnost, se kterou jsi byla schopna tento mentální úkol provést.

HODNOCENÍ:

3. **VÝCHOZÍ POZICE:** Stoj snožmo s nedominantní horní končetinou upaženou, kdy dlaň směřuje dolů a druhou horní končetinou připáženou.

POHYB: Svou upaženou nedominantní horní končetinu pomalým vodorovným pohybem předpaž. Během celého pohybu ji drž nataženou.

MENTÁLNÍ ÚKOL: Zaujmi výchozí pozici a pokus se vnímat, jak opět provádíš právě vykonaný pohyb, ale nyní bez jeho skutečného provedení. Následně zhodnot' snadnost/obtížnost, se kterou jsi byla schopna tento mentální úkol provést.

HODNOCENÍ:

4. **VÝCHOZÍ POZICE:** Stoj s dolními končetinami mírně od sebe a horními končetinami vzpaženými.

POHYB: Pomalu se předkloň tak, aby ses prsty dotkla země či nohou. Poté se stejným způsobem vrať do výchozí pozice.

MENTÁLNÍ ÚKOL: Zaujmi výchozí pozici. Pokus se vidět samu sebe, jak provádíš právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější představě. Nyní zhodnoť snadnost/obtížnost, se kterou jsi byla schopna tento mentální úkol provést.

HODNOCENÍ:

5. VÝCHOZÍ POZICE: Stoj s dolními končetinami mírně od sebe a horními končetinami připaženými.

POHYB: Přejdi do mírného podřepu a následně se současným pohybem horních končetin směrem vzhůru vyskoč co nejvýše a snaž se dopadnout do výchozí pozice.

MENTÁLNÍ ÚKOL: Zaujmi výchozí pozici a pokus se vnímat, jak opět provádíš právě vykonaný pohyb, ale nyní bez jeho skutečného provedení. Následně zhodnoť snadnost/obtížnost, se kterou jsi byla schopna tento mentální úkol provést.

HODNOCENÍ:

6. VÝCHOZÍ POZICE: Stoj snožmo s horními končetinami připaženými.

POHYB: Pomalu zvedni pravé koleno co nejvýše a opět jej pomalu vrať do výchozí pozice.

MENTÁLNÍ ÚKOL: Zaujmi výchozí pozici. Pokus se vidět samu sebe, jak provádíš právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější představě. Nyní zhodnoť snadnost/obtížnost, se kterou jsi byla schopna tento mentální úkol provést.

HODNOCENÍ:

7. VÝCHOZÍ POZICE: Stoj s dolními končetinami mírně od sebe a horními končetinami vzpaženými.

POHYB: Pomalu se předkloň tak, aby ses prsty dotkla země či nohou. Poté se stejným způsobem vrať do výchozí pozice.

MENTÁLNÍ ÚKOL: Zaujmi výchozí pozici a pokus se vnímat, jak opět provádíš právě vykonaný pohyb, ale nyní bez jeho skutečného provedení. Následně zhodnoť snadnost/obtížnost, se kterou jsi byla schopna tento mentální úkol provést.

HODNOCENÍ:

8. VÝCHOZÍ POZICE: Stoj snožmo s nedominantní horní končetinou upaženou, kdy dlaň směřuje dolů a druhou horní končetinou připaženou.

POHYB: Svou upaženou nedominantní horní končetinu pomalým vodorovným pohybem předpaž. Během celého pohybu ji drž nataženou.

MENTÁLNÍ ÚKOL: Zaujmi výchozí pozici. Pokus se vidět samu sebe, jak provádíš právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější představě. Nyní zhodnoť snadnost/obtížnost, se kterou jsi byla schopna tento mentální úkol provést.

HODNOCENÍ:

Príloha 4 – Usmernenie k hodnoteniu dotazníka MIQ-R a stupnica na vyhodnotenie obt'aznosti vizuálnej a kinestetickéj stupnice

Tento dotazník hodnotí dva spôsoby provádění pohybů v představě. První způsob je pokusit se vytvořit vizuální představu neboli obraz pohybu ve své mysli, druhý je pokusit se cítit a vnímat pohyb bez jeho skutečného provedení. Žádám Tě o provedení obou těchto mentálních úkolů pro dané pohyby v tomto dotazníku a následně zhodnocení do tabulky, jak snadné/obtížné pro Tebe tyto úkoly byly. Na dané otázky neexistují správné či špatné odpovědi. Každé z následujících tvrzení popisuje konkrétní pohyb. Čti pečlivě každé tvrzení, a pak proved' popsany pohyb. Ten vykonej pouze jednou. Vrat' se do výchozí pozice a splň druhou, mentální, část úkolu. Po dokončení požadovaného mentálního úkolu zhodnoť snadnost/obtížnost, s jakou jsi byla schopna úkol provést. Hodnoť dle následující stupnice:

Stupnice – vizuální představy

7	6	5	4	3	2	1
Velmi snadno viděná	Snadno viděná	Spíše snadno viděná	Neutrálně viděná (ani snadno ani těžce)	Spíše obtížně viděná	Obtížně viděná	Velmi obtížně viděná

Stupnice - kinestetické představy

7	6	5	4	3	2	1
Velmi snadno vnímaná	Snadno vnímaná	Spíše snadno vnímaná	Neutrálně vnímaná (ani snadno ani těžce)	Spíše obtížně vnímaná	Obtížně vnímaná	Velmi obtížně vnímaná

Príloha 5 – Záznamový hárok probanda a hodnotenie MIQ-R dotazníku

Meno a priezvisko:

Vek:

Výška:

Váha:

Dominantná DK:

Výsledky MIQ-R dotazníku

č. 1	
č. 2	
č. 3	
č. 4	
č. 5	
č. 6	
č. 7	
č. 8	

Príloha 6 – Subjektívne hodnotenie predstavy probandom

Ohodnot' na škále od 1-5, ako ľahká alebo náročná pre Teba bola predstava daného pohybu.

1 = veľmi náročná

2 = náročná

3 = stredne obt'azná

4 = ľahká

5 = veľmi ľahká

Situácia	Hodnotenie PDK	Hodnotenie LDK
Predstava výstupu na schod – ľah na chrbte		
Predstava výstupu na schod po fyzickom vykonaní výstupu – ľah na chrbte		

PDK - pravá dolná končatina

LDK - ľavá dolná končatina

Príloha 7 – Výstup na schod



Príloha 8 – Výsledky subjektívneho hodnotenia predstavy výstupu na schod pred reálnym vykonaním a po

proband	D pred	N pred	D po	N po
1	3	4	5	5
2	3	4	4	5
3	2	2	5	4
4	4	3	5	4
5	4	4	5	5
6	3	2	5	3
7	5	4	5	5
8	2	3	5	4
9	4	2	5	3
10	4	5	5	5

Stupnica hodnotenia (1 – veľmi náročné; 5 – veľmi ľahké)