

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav klinické rehabilitace

Bc. Aneta Burešová

**Představa chůze aspektem povrchové elektromyografie**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Hana Haltmar

Olomouc 2022

## **ANOTACE**

**Typ závěrečné práce:** Diplomová práce

**Název práce:** Představa chůze aspektem povrchové elektromyografie

**Název práce v AJ:** Gait imagery in aspect of surface electromyography

**Datum zadání:** 2020-01-31

**Datum odevzdání:** 2022-07-29

**Vysoká škola, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta zdravotnických věd  
Ústav klinické rehabilitace

**Autor práce:** Bc. Burešová Aneta

**Vedoucí práce:** Mgr. Hana Haltmar

**Oponent práce:** PhDr. Barbora Kolářová Ph.D.

### **Abstrakt v ČJ:**

**Úvod:** Představa pohybu je definována jako mentální úkol, při kterém je pohyb představován, ale není vykonáván. Tento přístup zahrnuje opakované imaginární pohyby těla nebo nacvičování imaginárních činností ke zlepšení motorického výkonu v rámci rehabilitace.

**Cíl:** Cílem této práce bylo zjistit vliv představy chůze a její modifikace chůze po čáře na aktivitu vybraných svalů dolních končetin.

**Metodika:** Měření se zúčastnilo 20 zdravých probandů v průměrném věku 56,7 let ( $\pm 6,0$ ), průměrné výšky 172,6 cm ( $\pm 9,4$ ) a hmotnosti 74 kg ( $\pm 12,1$ ). Všichni jedinci prokázali dobrou schopnost představy pohybu podle MIQ-R, MIQ-RS. Bilaterální aktivita vybraných svalů, konkrétně m. rectus femoris a m. biceps femoris, byla snímána ve stoji povrchovou elektromyografií. Experimentální měření se skládalo ze dvou částí, z představy chůze a představy chůze po čáře, v randomizovaném pořadí. Každá z těchto částí obsahovala



následující situace: klidová poloha (KCH, KČ), představa chůze / chůze po čáře před její realizací (PCH před, PČ před), reálná chůze / chůze po čáře, představa chůze / chůze po čáře po její realizaci (PCH po, PČ po).

**Výsledky:** Při představě chůze byl zaznamenán signifikantní pokles svalové aktivity u m. rectus femoris dx. v těchto situacích: KCH x PCH po, PCH před x PCH po, u m. rectus femoris sin. při KCH x PCH po. Během představy chůze po čáře, byl signifikantní pokles zjištěn u m. rectus femoris dx. při KČ x PČ před, KČ x PČ po, PČ před x PČ po, u m. rectus femoris sin. při srovnání KČ x PČ před, PČ před x PČ po a u m. biceps femoris sin. KČ x PČ před. Byl zaznamenán postupný pokles svalové aktivity, od nejvyšších hodnot v klidové poloze k nejnižším po realizaci chůze/chůze po čáře.

**Závěr:** Představa chůze i představa chůze po čáře má vliv na svalovou aktivitu dolních končetin.

#### **Abstrakt v AJ:**

**Introduction:** Motor imagery is defined as a mentally task in which movement is imagined but is not performed. The approach includes repetitive imagined body movements or rehearsing imagined acts to improve motor performance in terms of rehabilitation.

**Aim:** The aim of this thesis was to detect the activity of selected lower limb muscles during motor imagery of gait and its modification gait imagery along the line.

**Methods:** 20 healthy probands participated in the measurement: the average age of 56,7 years ( $\pm 6,0$ ), height 172,6 cm ( $\pm 9,4$ ) and weight 74 kg ( $\pm 12,1$ ). All subjects exhibited a good motor imagery ability according to MIQ-R, MIQ-RS. The bilateral activity of the selected muscles, specifically m. rectus femoris, m. biceps femoris, was measured by surface electromyography in the standing position. The experimental measurement consisted of two parts - gait imagery and gait imagery along the line, the order was randomized. Each of these parts contained following situations: rest position (KCH, KČ), gait imagery / gait imagery along the line before realization (PCH před, PČ před), real gait / gait along the line, gait imagery / gait imagery along the line after realization (PCH po, PČ po).

**Results:** Statistical results showed a significant decrease in muscle activity during gait imagery in the rectus femoris dx. in these situations: KCH x PCH po, PCH před x PCH po, in the m. rectus femoris sin. in KCH x PCH po. During gait along the line imagery there was found a significant decrease in the rectus femoris dx. KČ x PČ před, KČ před x PČ po, PČ před x PČ po, in the m. rectus femoris sin. KČ x PČ před, PČ před x PČ po, in the m. biceps femoris sin. KČ x PČ před. A gradual decrease in muscle activity was

detected, from the highest values in a rest position to the lowest after the realization gait imagery/ gait imagery along the line.

**Conclusion:** The gait imagery and the gait imagery along the line affects the muscle activity of lower limbs.

**Klíčová slova v ČJ:** představa pohybu, mentální trénink, představa chůze, chůze, elektromyografie

**Klíčová slova v AJ:** motor imagery, mental practice, gait imagery, gait, electromyography

**Rozsah:** počet stran 122 / počet příloh 7

## DEDIKACE

Tato diplomová práce vznikla za podpory grantu Univerzity Palackého v Olomouci IGA\_FTK\_2020\_014 „Vliv představy pohybu na svalovou aktivitu a posturální stabilitu“ (hlavní řešitel Mgr. Hana Haltmar).

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 29. července 2022

---

podpis

## PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych tímto poděkovala Mgr. Haně Haltmar za cenné připomínky, ochotu a především čas, který věnovala vedení mé diplomové práce. Další poděkování patří mé rodině a blízkým za podporu a velkou trpělivost v průběhu celého studia.

## Obsah

Obsah .....	7
1 Pohyb.....	11
1.1 Motorické řízení pohybu .....	11
2 Představa pohybu .....	13
2.1 Teorie představy pohybu .....	15
2.2 Druhy představy pohybu .....	17
2.3 Mozková aktivita při představě pohybu .....	18
2.4 Motorické učení a představa pohybu.....	19
2.5 Zrcadlové neurony a vliv pozorování na představu pohybu.....	20
2.6 Neuroplasticita a představa pohybu.....	22
2.7 Uplatnění představy pohybu v rehabilitaci .....	24
3 Chůze.....	27
3.1 Řízení chůze .....	28
3.2 Představa chůze .....	30
4 Vybrané možnosti hodnocení představy pohybu .....	32
4.1 Povrchová elektromyografie.....	32
4.2 Dotazníky .....	32
5 Cíle a hypotézy .....	34
5.1 Cíl práce.....	34
5.2 Hypotézy.....	34
5.2.1 Hypotézy pro představu chůze .....	34
5.2.2 Hypotézy pro představu chůze po čáře .....	34
6 Metodika měření .....	36
6.1 Charakteristika testovaných osob .....	36

6.2	Experimentální měření .....	36
6.2.1	Realizace experimentu .....	36
6.2.2	Metoda měření.....	36
6.2.3	Příprava měření .....	37
6.2.4	Průběh měření .....	37
6.3	Zpracování dat .....	39
6.3.1	Zpracování dat povrchové elektromyografie .....	39
6.3.2	Statistické zpracování dat.....	39
7	Výsledky.....	41
7.1	Vyjádření k hypotézám na základě statistického vyhodnocení .....	47
8	Diskuze.....	50
8.1	Vliv představy pohybu na skutečný pohyb .....	51
8.2	Vliv věku a pohlaví na schopnost představy .....	53
8.3	Výzkumné metody a zapojení mozkových oblastí při představě chůze.....	54
8.4	EMG svalová aktivita během představy pohybu.....	58
8.5	Změny svalové aktivity během představy chůze.....	60
8.5.1	Posouzení změn aktivity svalů v experimentálních situacích .....	60
8.6	Přínos pro praxi .....	69
8.7	Limity studie.....	71
	Referenční seznam .....	75
	Seznam zkratk .....	105
	Seznam tabulek .....	108
	Seznam příloh.....	109
	Přílohy .....	110

## Úvod

Představa pohybu je kognitivní simulační proces, při kterém si jedinec představuje pohyb ve své mysli, ale nedochází k jeho reálnému provedení. Mentální simulace pohybu patří mezi pozoruhodné schopnosti lidského mozku a v současné době se jí věnuje stále více pozornosti, jelikož může být využita v mnoha oblastech, ať již ve sportu, lékařství nebo v klinické rehabilitaci. U sportovců je běžně používanou strategií k posílení kinestetické paměti mezi tréninky k udržení úrovně výkonu a k upevnění pohybové rutiny. V medicínských oborech se stává zajímavou doplňkovou metodou pro učení motorických dovedností.

Bylo prokázáno, že představa pohybu má vliv nejen na zlepšení výkonu, získávání dovedností a motorického učení, ale jsou indukovány i plastické změny v mozku. Představa pohybu má podobné účinky jako reálný fyzický pohyb a jsou při ní aktivovány shodné specifické kortikální oblasti. Výhody terapie pomocí představy pohybu lze spatřovat především v její efektivitě, bezpečnosti a neinvazivitě, proto je možné ji využít jako komplementární léčbu v rehabilitaci u pacientů s neurologickým deficitem, po traumatickém poranění mozku či v terapii bolesti. U těchto pacientů může být vykonání samotného pohybu velmi obtížné, ba dokonce nemožné a imaginace pohybu se jeví jako slibná neurorehabilitační technika, jež by mohla zlepšit funkci postižené končetiny nebo samotnou chůzi.

Chůze je lokomoční pohyb, který je pro člověka důležitý. Jedná se o složitý děj, jenž vyžaduje neporušený muskuloskeletární aparát, a který je regulován složitým mechanismem, do něhož je zapojeno více etáží centrálního nervového systému. Ztráta mobility má velký dopad na nezávislost jedince, jelikož chůze je základem pro většinu ostatních činností každodenního života.

Cílem diplomové práce je zhodnocení změn svalové aktivity vybraných svalů dolních končetin, konkrétně m. rectus femoris a m. biceps femoris, aspektem povrchové elektromyografie v jednotlivých situacích při představě chůze i složitější variantě představě chůze po čáře. V rámci práce je také zkoumáno ovlivnění elektromyografické svalové aktivity během představy po následné realizaci chůze.

Pro splnění cílů byly k vyhledávání zahraničních článků použity on-line databáze PubMed, Medline a Google Scholar. Vyhledávány byly studie publikované v časovém rozmezí od 1. 1. 2000 do 1. 6. 2022. Pro vyhledávání v databázích byla použita klíčová slova: představa pohybu, mentální trénink, představa chůze, chůze, elektromyografie a jejich anglické ekvivalenty: motor imagery, mental practice, gait imagery, gait, electromyography.

Celkem bylo použito 277 zdrojů, z toho 250 článků v anglickém jazyce, 18 zdrojů odborné knižní publikace a 9 obhájených diplomových prací. Pro základní orientaci v dané oblasti byla použita níže uvedená literatura:

GUILLOT, A., DI RIENZO, F., MACINTYRE, T., MORAN, A., COLLET, Ch. 2012. Imagining is Not Doing but Involves Specific Motor Commands: A Review of Experimental Data Related to Motor Inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 6, 1-22, [cit. 2022-06-06]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2012.00247.

KOLÁŘOVÁ, B., STACHO, J., JIRÁČKOVÁ, M., KONEČNÝ P., NAVRÁTILOVÁ, L. 2019. *Počítačové a robotické technologie v klinické rehabilitaci. 2.*, přepracované a doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-5403-0.

MIRELMAN, A., SHEMA, S., MAIDAN, I., HAUSDORF, J. M. 2018. Gait. In: AMINOFF, M. J., BOLLER, F., SWAAB, D. F. *Handbook of Clinical Neurology* [online]. 119-134, ISBN 978-0444639165. Dostupné z: doi 10.1016/b978-0-444-63916-5.00007-0.

MULDER, T. 2007. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *Journal of Neural Trasmision* [online]. 114(10), 1265-1278, [cit. 2021-02-05]. ISSN 0300-9564. Dostupné z: doi 10.1007/s00702-007-0763-z.

SAVAKI, H., RAOS, V. 2019. Action perception and motor imagery: Mental practice of action. *Progress in Neurobiology* [online]. 175, 1-71, [cit. 2021-02-15]. ISSN 03010082. Dostupné z: doi 10.1016/j.pneurobio.2019.01.007.



# 1 Pohyb

Pohyb patří k základním projevům života. Je to aktivní proces řízený záměrem jedince k dosažení určitého cíle, jež si sám určí, nebo podle kterého instinktivně jedná. Pohybový záměr tedy vychází z potřeb živého organismu a pomáhá k udržení jeho integrity v okolním prostředí (Véle, 1997, s. 11; Webber, Porter a Menec, 2010, s. 1).

Schopnost pohybu provází člověka téměř po celý život a má významný vliv na jeho zdraví (Trojan, 2003, s. 612; Vokurka, 2008, s. 201; Webber, Porter a Menec, 2010, s. 1).

Vývoj motoriky probíhá již v intrauterinním období a zrcadlí vývoj nervové soustavy. Pohybový projev člověka je vysoce organizovaná činnost, zajišťuje nejen vzpřímenou polohu těla, změnu pozice i místa, získávání potravy, rozmnožování, ale souvisí také s psychickou aktivitou. Je zásadní pro zachování nezávislosti při každodenních činnostech (Shumway-Cook et al., 2007, s. 2; Trojan, 2003, s. 612).

Pohybové chování je definováno jako celkový průběh pohybové činnosti živého objektu, chování řízené tvořivým volným úsilím pak označujeme za ideomotorický pohyb. Pohybové projevy jsou ovlivněny motivačními pochody, které lokalizujeme do oblasti limbického systému, který je pokládán za nejstarší motorický systém (Salbach et al., 2014, s. 127; Véle, 1997, s. 11-12).

Pohyb, pravidelně střídán s klidem, je pro život nezbytný. Dlouhodobá imobilizace je značným patogenním faktorem a pro lidi, zejména mladšího věku, působí jako stresový podnět. Důsledky jsou nepříznivé především pro starší jedince, kteří jsou méně odolní vůči komplikacím vzniklým z nedostatku pohybu. Bývá postižen především lokomoční systém, ale odrazí se to i v intelektové či emoční oblasti, nakonec může dojít k celkovému fyzickému a psychickému rozvratu (Nečas, 2000, s. 58-59; Webber, Porter a Menec, 2010, s. 1; Yeom, Fleury a Keller, 2008, s. 133).

## 1.1 Motorické řízení pohybu

Náš hybný projev je podmíněný nejen volní hybností, ale také geneticky determinovanou složkou probíhající po stejných perforovaných drahách, které se objevují v téže podobě ve sledu generací. Tuto jednoduchou formu motorické odpovědi označujeme jako reflexy, u složitějších jako motorické vzory. Ve fyzioterapii využíváme provokaci motorických vzorů k cílené facilitaci nebo inhibici porušené motorické funkce, tyto vzory mají rovněž význam diagnostický (Kolář et al., 2009, s. 33-34).

Motorické vzory jsou tedy standardizované pohybové reakce či motorické odpovědi centrálního nervového systému na přesně definované podněty. Jedná se o zákonitou odpověď

na dráždění čidel. Představují stabilizujícího činitele, kdežto hybné stereotypy (naučené a zautomatizované pohyby) činitele proměnlivého a podmiňujícího výkonnou individualitu (Kolář et al., 2009, s. 34).

Automatické činnosti jsou méně náročné a nevyžadují zapojení mozkové kůry. Motorický projev těchto činností závisí na stimulaci smyslových a sensorických receptorů. Při náročnějších činnostech, jako jsou pohyby vědomé a pod volní kontrolou, je nutné zapojení vyšších etáží centrálního nervového systému (korových center). Tyto činnosti nejsou tolik závislé na stimulaci smyslového a sensorického systému, ale řídí se především představivostí a plánováním pohybu v korových oblastech mozku (Savaki a Raos, 2019, s. 4).

Nervové mechanismy, které jsou zásadní pro volní pohyb, lze rozdělit do několika částí. Nejprve dochází k primárnímu popudu k určitému vzorci chování, který vychází z motivačního ústředí centrálního nervového systému (CNS), poté následuje sensorická analýza okolí, je vytvořen plán akce a na základě vybrané strategie je vypracován program pohybu, který je pak iniciován a realizován (Králíček, 2004, s. 158).

Svalová činnost lidského organismu je ovládána motorickým systémem. Ten se podílí nejen na volních a mimovolních pohybech, ale také na myšlenkových procesech, které podporují vnímání a motorickou představu pohybu. Při motorickém projevu činnosti je důležité nejen plánování a uskutečňování dané činnosti, ale také její motorická představa a rozpoznání. Při vnímání činnosti dochází často ke stimulaci smyslového systému i bez přítomnosti našeho vědomí. Ve srovnání s představou pohybu (motorická představa) daný jedinec prožívá tento pohyb pouze ve své mysli a bez současné smyslové stimulace. Je tedy přítomno vědomí a volní kontrola, ale není pozorovatelná motorická činnost (Savaki a Raos, 2019, s. 2).

## 2 Představa pohybu

Představa pohybu je všeobecně vysvětlována jako kognitivní simulační proces, během kterého si můžeme pohyb v naší mysli představovat a vnímat bez jakéhokoliv vstupu vnějších podnětů, nedochází však k jeho skutečnému provedení ani k aktivitě svalů (Lotze a Cohen, 2006, s. 135-140 ; Mulder, 2007, s. 1267, Munzer, Lorey a Zentgraf, 2009, s. 306).

Jedná se o dynamický stav, při kterém je vnitřně aktivována představa konkrétní motorické činnosti bez motorické odezvy. Imaginace pohybu vyžaduje vědomé zapojení oblastí mozku, které se podílejí na přípravě a provádění pohybu, ale je doprovázená volní inhibicí reálného pohybu (Lotze a Cohen 2006, s. 135-140).

Studie Mulder (2007, s. 1265) popisuje představu pohybu jako mentální provedení pohybu bez zjevné svalové aktivace. Uvádí, že představa pohybu má za následek stejné plastické změny v motorickém systému jako při skutečném fyzickém cvičení a ukázalo se, že jsou aktivovány stejné oblasti mozku jako při reálném pohybu. Nejde však o náhradu fyzického cvičení a mělo by se na ni pohlížet jako na doplňkovou, ale relevantní techniku rehabilitace, ke zlepšení motorického učení.

Mentální představa činnosti může být prováděna několika různými způsoby, například představa na úrovni vizuální, sluchové, hmatové, kinestetické, chuťové, čichové anebo různé kombinace těchto smyslů. Speciální podkategorií je motorická představa činnosti, která představuje vnitřní vnímání specifické motorické aktivity bez jakéhokoliv motorického projevu. Motorické představy se využívá při učení, nácviku nebo zlepšení provedení určitého pohybu (Mulder et al., 2004, s. 211).

Procvičování představy pohybu v mysli, které je opakováním imaginární akce, je považováno za významnou intervenci do různých oborů, jako je sport, medicína, psychologie, vzdělávání a hudba (Schuster et al., 2011, s. 2). Ukázalo se, že představa pohybu nezlepšuje pouze sekvenci pohybu (Gentili et al., 2010, s. 779), cílení pohybu (Kim et al., 2014, s. 173-182), jeho načasování (Pascual-Leone et al., 1995, s. 1037), ale také sílu (Lebon, Collet a Guillot, 2010, s. 1685; Ranganathan et al. 2004, s. 955; Yue a Cole, 1992, s. 1114). Trénink mentální simulace pohybu ukazuje srovnatelnou tréninkovou křivku s výkonostním tréninkem (Gentili et al., 2010, s. 774-783).

Nácvik určitého úkolu pouze pomocí představy však vykazuje horší výsledky než při jeho fyzickém trénování. Pokud však provedeme srovnání se subjekty, které nepraktikovaly ani fyzické cvičení, ani mentální představu, zjistíme zlepšení provedení dané aktivity (Gentili et al., 2010, s. 782; Mulder et al., 2004, s. 215).

Bylo zjištěno, že na představě pohybu i jeho skutečném provedení se většinou podílejí stejné nervové substráty (Jeannerod, 2001, s. 103-104; Sharma a Baron, 2013, s. 1-8). Je aktivována frontální, parietální síť i subkortikální a cerebelární oblasti (Hétu et al., 2013, s. 933). Některé změny, které lze očekávat po mentální simulaci pohybu, jsou velmi podobné jako po nácviku reálného úkonu. Učení motorických dovedností je obecně indikováno zlepšením výkonu senzomotorického systému a změnami v přidružené kortikální a subkortikální oblasti. S opakujícím se skutečným tréninkem se výkon stává přesnějším a automatictější (Dayan a Cohen, 2011, s. 446; Hund-Georgiadis a Cramon, 1999, s. 417).

Studie Stippich et al. (2002, s. 51) popsala, že při představě pohybu různých částí těla (nap. pohybu prstů rukou, nohou, jazykem) dochází ke zvýšené činnosti v gyrus praecentralis, somatotopicky organizované oblasti primární motorické kůry. Spiegler et al. (2004, s. 50-54) prokázali bilaterální aktivitu v primární motorické kůře během představy vyplazování jazyka.

Podobné výsledky zjistila další studie Ehrsson et al. (2003, s. 3314), která pomocí snímků mozku z funkční magnetické rezonance objevila zapojení primární motorické kůry somatotopickým způsobem, tedy že došlo k vybuzení konkrétního okrsku somatotopicky odpovídající pohybuji se části těla.

Wieland, Behringer a Zentgraf (2022, s. 58) konstatovali, že i když byla ve více studiích prokázána při imaginaci pohybu zvýšená kortikospinální excitabilita, tak signály, jež při ní vznikají, neaktivují samotný  $\alpha$ -motoneuron, ale jiné struktury, jako jsou interneurony. Grospretre et al. (2019, s. 20), potvrdili, že nebyl prokázán vliv na globální excitabilitu páteře, ale na spinální presynaptickou síť, tj. míšní motoneurony, u kterých bylo zjištěno, že mají nižší práh než motoneurony a mohou být tak citlivější na podprahové signály generované při představě pohybu.

Malouin et al. (2003, s. 53) uvádí během imaginace pohybu aktivaci suplementární motorické oblasti a primární motorické kůry. Kromě nervové aktivace stejných oblastí během imaginace a při skutečně provedeném pohybu byly zjištěny také další podobnosti, čas potřebný k dokončení imaginovaného pohybu je totožný s časem, který je potřeba pro uskutečnění tohoto pohybu. Tento jev je znám jako mentální izochronie (Mulder, 2007, s. 1268).

Decety et al. (1993, s. 553) pozorovali probandy, kteří byli instruováni k mentální simulaci pohybu a poté k jeho skutečnému provedení. Během obou situací jim byla měřena frekvence srdce a dechu. Výsledky ukázaly, že nejen během skutečného cvičení se začala zvyšovat srdeční frekvence a frekvence dýchání, ale také během mentální představy, i přes to, že nebyla vykonána žádná aktivita.

Tato zjištění vedla k teoretickému postoji nazvanému simulační hypotéza (Jeannerod, 2001, s. 103). Ta uvádí, že provedení, představa či pozorování pohybu jsou řízeny stejným základním mechanismem. Představa a pozorování akce jsou však koncipovány jako „offline“ operace motorických oblastí v mozku (není proveden skutečný pohyb).

Studie Naito et al. (2002, s. 3687) zdůraznila, že imaginace pohybu obsahuje prvky kinestetických vjemů, které lze považovat za náhražku smyslové zpětné vazby, která by nastala, kdyby byl pohyb skutečně proveden, tedy že během představy pohybu subjekty interně simulují kinestetické vjemy spojené s představovaným pohybem. Tato skutečnost poukazuje na to, že kognitivní aktivita, jako je zobrazování pohybu v naší mysli, není pouze symbolickým procesem a aktem bez modality, ale že aktivuje senzorio-motorické oblasti v mozku.

Ačkoli jsou klinické důkazy stále skromné, výzkumů neustále přibývá. Použití této metody v neurologické rehabilitaci lze obhájit jak teoretickými poznatky, tak i na základě výsledků experimentálních studií se zdravými subjekty (Mulder, 2007, s. 1265).

## **2.1 Teorie představy pohybu**

Existují dvě teoretická vysvětlení motorické představy pohybu - periferní a centrální teorie. Periferní je označena jako psychoneuromuskulární teorie. Je založena na pozorování, kdy během zobrazování konkrétního pohybu v naší mysli, jsou aktivovány stejné svaly jako při samotném provádění tohoto pohybu (Driskell et al. 1994, s. 489; Mulder, 2007, s. 1274). Jak při mentálním, tak při fyzickém provedení pohybu dochází k vybuzení stejných motorických drah. Tato aktivace pomáhá k nauce dovedností zlepšením příslušných koordinačních vzorů v důsledku posílení motorických programů v mozkové kůře a aktivací odpovídajících motoneuronů svalů nezbytných k provedení motorického úkonu (Page et al. 2001, s. 1455-1462). Během imaginace pohybu dochází k nárůstu elektromyografické aktivity svalů, která funguje jako aferentní senzoričtý vstup do motorických řídicích center v mozku. Toto tvrzení podporuje řada studií z 90. let (Bakker, Boschker a Chung, 1996, s. 320; Livesay a Samaras 1998, s. 371-374). Byly však provedeny i další experimenty, při kterých aktivace svalů nebyla prokázána. V dalších studiích bylo zjištěno zlepšení produkce síly při mentální tréninku bez jakékoli periferní aktivace (Mulder et al., 2004, s. 215-216; Mulder, De Vries a Zijlstra, 2005, s. 349-350).

Mulder (2007, s. 1274) argumentují, že pokud imaginace pohybu skutečně vede k periferní aktivaci, ve skutečnosti se o ni v pravém slova smyslu nejedná, jelikož definice představy pohybu odkazuje na mentální provedení pohybu bez jakékoli svalové aktivace.

Získané experimentální výsledky proto do značné míry závisí na pokynech poskytnutých účastníkům.

Více studií se přiklání k centrální teorii vysvětlení představy pohybu. Autoři zdůrazňují, že představu pohybu v naší mysli lze chápat jako vnitřní simulaci akce a nedochází k aktivaci svalů (Gallese, 2005, s. 35-36; Gallese a Lakoff, 2005, s. 463-464; Jeannerod 2001, s. 103-109).

Grush (2004, s. 378-380) zaujímá stejné stanovisko, ale dodává, že představy pohybu jsou výsledkem řízení mozkových center speciálním systémem, který přijímá kopie eferentních příkazů i spolu s odhadovanými smyslovými následky. Po vydání eferentní signálu k provedení pohybu dochází ke generování korelačního výboje a ten je odeslán do tohoto systému pro aktualizaci reprezentaci pohybu. Klíčovým bodem je, že z korelačního výboje je možné předpovědět i aferentaci, jež by byla generována pohybem v případě jeho skutečného provedení. To znamená, že dochází k napodobení funkce vstupu a výstupu senzomotorického systému, je předpovídána zpětná vazba a jsou lépe zpracovány senzorní informace. Díky tomuto mechanismu lze vytvářet a odhadovat výsledky různých akcí či hodnotit a rozvíjet motorické plány, i když k provedení pohybu vůbec nedojde.

Další autoři (Wolpert a Flanagan, 2001, s. 729-732; Wolpert, Ghahramani a Jordan, 1995, s. 1880) potvrzují předpoklad, že simulace pohybu využívá interní model, který napodobuje kauzální tok fyzického procesu předpovídáním budoucího senzomotorického stavu těla na základě eferentní kopie příkazu motoriky a aktuálního stavu. Představa motoriky spoléhá na eferentní kopie a pracovní paměť již dříve provedeného úkonu k vytvoření odhadu pohybu, jelikož zde neexistuje smyslová zpětná vazba, zatímco při fyzickém výkonu úkolu je odhad stavu založen jak na dopředném interním modelu, tak i na smyslové zpětné vazbě (Desmurget a Grafton, 2000, s. 423-426; Gentili et al., 2004, s. 231-239).

Tato teorie vysvětluje výsledky studie Mulder et al. (2004, s. 215), kteří zjistili, že pohyb (abdukce) palce nohy lze naučit pomocí myšlenkové představy pohybu pouze u subjektů, které již byly schopny provádět cílený pohyb alespoň na minimální úrovni.

Při motorické představě byla měřena i elektromyografie (EMG), nicméně svalová aktivita nebyla prokázána, to potvrdila i další studie Muldera et al. (2005, s. 349), v níž si subjekty měli představit provedení série 25 dřepů, což je oproti abdukci palce náročnější pohyb. Kromě EMG byly sledovány i kardiorespirační parametry (tepová, dechová frekvence). Výsledky ukázaly, že s výjimkou respirace nebyly zjištěny žádné další změny na periférii, proto se zdá, že motorické učení vlivem představ v naší mysli není výsledkem periferní nízkoprahové aktivace svalů, ale výsledkem centrálního mechanismu.

Lacourse et al. (2004, s. 519) se snažili průběh tohoto procesu objasnit. Zkoumali, co se v mozku děje, jestliže se projeví zlepšení provedení sekvenčního úkolu (klik na tlačítko), ať ve skupině která absolvovala fyzický či mentální trénink, nebo ve skupině bez praxe. Zjistili, že zlepšení po fyzickém tréninku doprovázela zvýšená aktivita striata, ale snížená aktivita mozečku, zatímco ve skupině s mentálním tréninkem došlo ke zvýšení nejen aktivity striata, mozečku, ale i premotorické oblasti.

## **2.2 Druhy představy pohybu**

Mentální trénink může probíhat různými způsoby, může využívat představu vizuální, kinestetickou, hmatovou, sluchovou, chuťovou, čichovou nebo jejich různé kombinace (Mulder et al., 2004, s. 211).

Jedna z možností dělení strategie představy je rozdělení na kinestetickou a vizuální. Při kinestetické představě má jedinec pocit, že pohyb provádí sám, z perspektivy první osoby, se všemi smyslovými následky. Během vizuální představy jedinec pozoruje provádění stejného pohybu z dálky, jako by se sám na sebe díval, tedy z perspektivy třetí osoby (Chholak, 2019, s. 1; Stinear, 2006, s. 157-164).

Magill (In Mulder, 2007, s. 1268) tuto perspektivu mezi první a třetí osobou popisuje jako rozdíl mezi interním a externím zobrazením. V interním zobrazení se subjekt přibližuje skutečné situaci takovým způsobem, že opravdu prožívá smyslové vjemy, které lze v dané situaci očekávat. Během externího zobrazování subjekt vidí své já jako pozorování jiné osoby provádějící jeho pohyb.

Yang et al. (2021, s. 1) dodává, že kinestetická představa je více propioceptivní smyslová představa a vizuální je spíše jako pozorování příslušného pohybu. Tyto dva způsoby zobrazování mohou používat různé kortikální sítě.

Klasické experimenty a studie představy pohybu mají podobný postup. V rámci provedené studie byli účastníci vyzváni, aby nejprve provedli definovanou pohybovou sekvenci, poté si ji představili vizuálně nebo kinesteticky a následně vyhodnotili snadnost/obtížnost generování představy. Tento postup obsahuje opakované pokyny vyžadující buď kinestetické, nebo vizuální zobrazení vlastní pohybové činnosti spolu s výslovnými verbálními pokyny o pohybu (Munzer, Lorey a Zentgraf, 2009, s. 307).

Studie Stinear et al. (2006, s. 163) prokázala, že kinestetická, nikoli vizuální, představa pohybu moduluje kortikomotorickou excitabilitu především na supraspinální úrovni. Výsledky studie ukazují, že nejen oblast, ale také stupeň aktivace závisí na typu prováděné

imaginace, což je důležité pro klinické využití. Kinestetická představa pohybu je pro motorické učení účinnější než vizuální představa (Gerardin et al., 2000, s. 1102).

Chholak et al (2019, s. 6) se zabývali aktivací a inhibicí mozkových oblastí během kinestetické a vizuální představy pohybu. Významný rozdíl byl odhalen v zapojení frontální oblasti mozku, kdy u probandů, jež praktikovali kinestetickou představu byla aktivita ve frontálním kortexu potlačena, zatímco u vizuální představy byl frontální kortex vždy aktivní. Bylo také zjištěno, že vizuální představa se vyznačuje neurální aktivací okcipitálního kortexu narozdíl od kinestetické představy, která vykazuje aktivitu v premotorické oblasti.

### **2.3 Mozková aktivita při představě pohybu**

Vzhledem k zájmu neurologických věd o mentální činnost mozku, pokročilejším teoretickým znalostem, ale především díky vývoji výpočetní techniky se rozvíjí zájem o sledování průběhu kognitivních procesů a jsou prováděny různé výzkumy týkající se této problematiky. Moderní metody zobrazování mozku jsou důležitým nástrojem pro vizualizaci anatomických struktur zapojených nejen do řízení motoriky, ale také vnímání a jeho myšlenkové simulace. Mezi používané metody mapující mozkovou odezvu patří funkční magnetická rezonance (fMRI), pozitronová emisní tomografie (PET) a metody využívající elektrické či magnetické pole, jako je elektroencefalografie (EEG) a magnetoencefalografie (MEG) (Mac Intyre, 2018, s. 2; Munzert, Lorey a Zentgraf, 2009, s. 306).

Jak již bylo zmíněno, představa pohybu je typ myšlenkového zobrazování pohybu, která je definovaná jako mentální simulace konkrétní akce bez odpovídajícího motorického výstupu. K neurální aktivitě dochází, i když si člověk představuje pohybující se části těla. Je známo, že nervová aktivita pochází z motorické a somatosenzorické oblasti mozku (Yang et al., 2021, s. 1).

Řada studií potvrzuje, že při imaginaci pohybu se zapojují stejné části mozku jako při provedení skutečného pohybu (Gerardin et al., 2000, s. 1095-1098; Grezes a Decety, 2001, s. 15; Jeannerod, 2001, s. 103-109; Kimberley et al., 2006, s. 274). Vybudí se premotorická oblast, suplementární motorická oblast, parietální kortikální oblast, bazální ganglia, cingulum a mozeček (Dechent, Merboldt a Frahm, 2004, s. 138-144; Hanakawa et al., 2003, s. 997-998).

Metaanalýza Héту et al. (2013, s. 941-942) popisuje aktivitu konkrétně v těchto oblastech parietální kůry – v inferiorních, superiorních lalocích a supramarginálním gyru. Inferiorní gyrus v premotorické kůře a suplementární motorická area jsou oblastí, které jsou stěžejní pro plánování, přípravu a provedení motorických úkonů.



Meister et al. (2004, s. 222-226) provedli studii, při níž sledovali hudebníky, kteří hráli na klavír pouze „v mysli“. Při hraní hudby na tiché klávesnici došlo k aktivaci sítě neuronů levé primární senzomotorické oblasti, levého mozečku, premotorické (doplňkové) korové oblasti, intraparietálního sulku a bilaterálně extrastriatální vizuální oblasti. Jen čistá imaginace hudebního vystoupení aktivovala stejnou síť jako při skutečném pohybu s výjimkou oblasti primární motorické kůry v levé hemisféře a pravém mozečku.

Některé studie využívající fMRI také našly aktivaci v primární motorické kůře (Gerardin et al., 2000, s. 1094; Porro et al. 2000, s. 3059-3063; Roth et al., 1996, s. 1280-1284; Sharma, Pomeroy a Baron, 2006, s. 1948).

Metaanalýza Héту et al. (2013, s. 943) nicméně neprokázala stejnoměrnou aktivaci této oblasti napříč studiemi. Neznamená to však, že by nedocházelo k vůbec žádnému zapojení primární motorické kůry při představě pohybu, ale dle současných studií nebyla nalezena konzistentnost při její aktivaci. Důvodem může být nevhodnost použití technik fMRI a PET, které nejsou dostatečně citlivé ke zjištění excitace či inhibice kůry.

Několik oblastí se jeví jako obzvláště zásadních pro imaginaci pohybu a jsou specifické ve srovnání s exekucí pohybu. Jedná se o síť zahrnující dorzální premotorickou kůru, dolní parietální lalůček a část čelního gyru (Sharma a Baron, 2013, s. 3-6; Zapparoli et al., 2013, s. 520). Ukázalo se také, že parietální a premotorická místa jsou pro imaginaci důležitá, zejména při srovnání s jinými plánovacími procesy bez simulace pohybu (Johnson et al., 2002, s. 1698-1701). Kromě toho se zdá, že zadní temenní kůra kóduje různé strategie zobrazování (Pelgrims, Andres a Olivier, 2009, s. 2305).

## **2.4 Motorické učení a představa pohybu**

Na rehabilitaci může být nahlíženo jako na proces učení, při kterém dochází jak k obnovení již dříve naučených, tak i k získání nových dovedností prostřednictvím praxe. Aktivní cvičení představuje příjem aferentních informací. Na základě smyslových vjemů dochází k vyvolání odpovědi, což je důležitý aspekt pro obnovu motoriky i motorického učení (Mulder, 2007, s. 1265).

Motorické učení souvisí s plánováním a generováním pohybu, ale také s představou pohybové činnosti. V poslední době bylo dokázáno, že motorický systém se podílí nejen na zjevných motorických pohybech, ale také na mentálních procesech podporujících skryté pohyby. V rámci studie provedené v roce 2019 bylo zkoumáno, které oblasti kůry se zapojují při provádění, pozorování a představě téhož pohybu. Data ukázala, že pozorování nebo představa pohybu aktivuje prakticky stejnou senzorio-motorickou kortikální síť, která

podporuje samotné provedení pohybu. Byly poskytnuty empirické důkazy, že mentální simulace pohybu je základem motorického učení (Savaki a Raos, 2019, s. 2). Obecně platí, že motorické oblasti v mozku hrají při zobrazování pohybu důležitou roli (Munzert, Lorey a Zentgraf, 2009, s. 307).

Senzoricko-motorické neuronové sítě podporující provádění, pozorování a představování dané činnosti jsou propojené, to poukazuje na blízký vztah mezi zamýšlenou činností (vnímání a představa akce) a výkonnými senzoricko-motorickými sítěmi (provedení pohybu). Tělesné zkušenosti v senzoricko-motorickém systému jsou spouštěny během kognitivního vývoje (Savaki a Raos, 2019, s. 2). Představa a observace pohybu mohou mít významný vliv pro opětovné učení pohybů (Mulder, 2007, s. 1270).

Mulder et al. (2004, s. 211) provedli studii, jejímž cílem bylo získání většího vhledu do mechanismů mentálního tréninku a zabývali se otázkou, zda se díky němu můžeme naučit zcela nový pohyb. Zdraví dospělí dostali za úkol naučit se abdukovat palec na noze dominantní končetiny pomocí představy pohybu ve své mysli, aniž by pohnuly ostatními prsty. V tomto experimentu byli jedinci rozděleni na ty, kteří nebyli schopni jakékoliv abdukce (označení jako absolutní nula) a ty, kteří dokázali palec do určité míry abdukovat, ale mohlo dojít ke zlepšení. Poté byly obě skupiny náhodně dále rozděleny. Část z nich trénovala pohyb ve své mysli, část skupiny cvičila pohyb fyzicky a kontrolní skupina abdukci palce vůbec nepraktikovala. Výsledky ukázaly, že absolutně nulové subjekty neziskaly schopnost pohybu ani pomocí mentální praxe, zatímco u druhé skupiny, která již pohyb částečně uměla, došlo k významnému zlepšení abdukce palce nejen fyzickým, ale i mentálním tréninkem. Kontrolní skupina nevykazovala žádné zlepšení.

## **2.5 Zrcadlové neurony a vliv pozorování na představu pohybu**

Lidský mozek obsahuje zhruba 86 miliard neuronů, které jsou uspořádány do určitých oblastí mozku a jader. Mezi neurony existuje synaptická komunikace, ta v určitých obvodech tvoří základ pro adaptivní chování, učení a paměť (Gulyaeva, 2017, s. 240).

Zrcadlové neurony byly objeveny před více než 25 lety v premotorické oblasti u opice makaka, jehož neurony byly zkoumány jak zobrazovacími, tak invazivními technikami (Kilner a Lemon, 2013, s. 1057). Vědci pojmenovali tyto neurony „zrcadlové“ a uvedli, že poskytují základ pro interpretaci úmyslů nebo cílů osoby nebo opice, které pozorují (Marshall, 2014, s. 6531).

Název zrcadlové neurony je odvozen z jejich schopnosti „zrcadlení“ akce, činnosti ostatních. Aktivují se nejen tehdy, když je záměrný pohyb skutečně prováděn, ale i tehdy,

když ho jedinec pouze pozoruje (observace pohybu), ví o něm nebo slyší zvuk, který pohyb doprovází (Gallese, 2005, s. 23).

Pozoruhodnou vlastností těchto neuronů je tedy nejen jejich aktivace při provádění nějaké pohybové aktivity, ale také když člověk pouze pasivně pozoruje podobnou aktivitu u jiných jedinců (Cook et al., 2014, s. 177; Heyes a Catmur, 2022, s. 2).

Zrcadlové neurony tvoří rozsáhlou síť neuronů v lidském mozku, větší než v mozku opic či jiných zvířat. Zdá se, že tato složitá síť ovlivňuje řadu reakcí, včetně akcí, pocitů, emocí, a dokonce i řeči. Například vidět jiného jedince, jak trpí v bolestech, vede k tzv. žalostné reakci mezi stejnými neurony, které by se aktivovaly, kdyby pozorovatel sám cítil bolest (Busby, 2016, s. 31).

Jak již bylo uvedeno výše, představa pohybu, jeho pozorování i motorické vykonání jsou řízeny stejným základním mechanismem. První dvě jsou koncipovány jako „offline“ operace motorického systému a mohou hrát roli při opětovném učení pohybů (Mulder, 2007, s. 1270).

Na základě experimentálních studií lze potvrdit, že observace pohybu facilituje pohybový systém a lze ji považovat za druh motorické aktivace s klinickým významem. Pozorováním pohybu či určité činnosti dochází ve skutečnosti k usnadnění realizace této akce. Pro tento argument poskytují důkazy výsledky studií Brass et al. (2000, s. 124-143) a Urgesi et al. (2006, s. 2527-2529).

Při pouhé observaci pohybu bylo zjištěno regionální zvýšení průtoku krve mozkiem v premotorické kůře, středním temporálním závitu, horním a středním frontálním závitu a parietální kůře během vnímání cílených pohybů rukou (Gallese a Goldman, 1998, s. 493-501; Grezes a Decety, 2001, s. 1-19).

Maeda, Kleiner-Fisman a Pascual-Leone (2002, s. 1333) provedli výzkum, kde požádali deset probandů ke sledování ukázek pravé ruky provádějící různé pohyby (abdukci, addukci palce i ostatních prstů, flexi, extenzi jednotlivých článků prstů) a prokázali nejen zvýšení kortikospinální excitability, ale i to, že dochází k mnohem větší facilitaci pohybu při pozorování přirozeně orientovaných rukou než při jejich nepřirozeném nastavení.

To podporuje i studie Pelphrey et al. (2003, s. 6824-6825), která tvrdí, že observací pohybu, jenž je pro člověka přirozený, např. lidské chůze, se významně více aktivuje oblast temporálního sulku, oproti např. izolovanému pohybu segmentů končetin v prostoru.

Autoři Brass et al. (2000, s. 130-131) studovali, do jaké míry pozorování pohybu ovlivnilo provedení tohoto pohybu, použili paradigma reakčního času. Jedinci byli instruováni, aby provedli pohyb prstem co nejrychleji. Výsledky ukázaly, že iniciační časy

pohybů byly kratší, když pohyb, který bylo třeba provést, byl totožný s pohybem, který byl pozorován. Testované subjekty pozorovaly model provádějící pohyb zvedání prstu, při němž dlaň ruky směřovala dolů, iniciační doba provedení stejného pohybu byla podstatně kratší než doba zahájení pohybu zvedání prstu s dlaní nahoru. Tyto výsledky poskytly důkazy o vlivu pozorování na provedení pohybu.

Mattar a Gribble (2005, s. 153-160) ukázali, že pozorování jiné osoby podstupující proces motorického učení ovlivnilo výkonnost pozorovatele. Subjekty sledovaly video zobrazující jinou osobu, jak se učí provádět pohyby v silovém poli. Při pozdějším testování pak vykazovaly výrazně lepší výkon než kontrolní skupina, které pohybový vzor nebyl ukázán.

Zrcadlové neurony jsou činné nejen tehdy, když člověk provádí pohyb, ale i pokud jej provádí někdo jiný a my jej sledujeme. Fadiga et al. (1995, s. 2608-2611) poskytli první důkazy o existenci zrcadlového systému u lidí tím, že prokázali, že observace pohybu vede k facilitaci motoriky.

Zrcadlová terapie (MT, mirror therapy) je definována jako intervence, při které se pomocí zrcadla vytváří odraz neparetické horní nebo dolní končetiny, čímž je člověku poskytnuta vizuální zpětná vazba o normálním pohybu paretické končetiny (Thieme et al., 2018, s. 7). V rehabilitační péči je nejčastěji používána u pacientů po cévní mozkové příhodě (CMP). Zaměřuje se na aktivaci a úpravu funkčních schopností postižené končetiny, ulevuje od bolesti a způsobuje změny v mozkové kůře, které vedou k reorganizaci mozku po poškození. Při zrcadlové terapii je pacient vyzván, aby sledoval pohyb zdravé končetiny v zrcadle, postižená končetina leží za zrcadlem (Ju a Yoon, 2018, s. 77; Kim et al., 2018, s. 213).

Ju a Yoon (2018, s. 77-81) prokázali, že zrcadlová terapie má významné rehabilitační účinky a pozitivní vliv na motorické funkce postižené horní končetiny u pacientů po CMP, což následně vedlo i ke zlepšení výkonu v činnostech každodenního života jako je oblékání, stravování a hygiena.

## **2.6 Neuroplasticita a představa pohybu**

Nervový systém lze pokládat za plastický, což znamená, že je tvárný a nese v sobě potenciál dynamické přeměny. Schopnost nervového systému měnit se v závislosti na vnitřních i vnějších podmínkách a na základě zkušeností se nazývá neuroplasticita (Kolář et al., 2009, s. 304, Murata et al., 2015, s. 84).

Neuroplasticita či plasticita mozku je pozoruhodná vlastnost, jež umožňuje přetvářet a reorganizovat neurální síť v mozku. Nervové buňky mohou měnit svou strukturu, funkci a na základě interakcí organismu s okolím reagovat a adaptovat se na různé změny (Gulyaeva, 2017, s. 237; Kleim a Jones, 2008, s. 225; Murata et al., 2015, s. 84).

Plasticita zahrnuje funkční změny v kvalitě i kvantitě synaptických spojení. Synapse jsou neustále odstraňovány nebo znovu tvořeny, přičemž rovnováha těchto procesů je závislá na aktivitě neuronů (Friedlová, 2007, s. 57; Gulyaeva, 2017, s. 237).

Plastické změny jsou důležitým předpokladem pro učení, paměť a adaptivní chování, což jsou procesy formující neurální síť. I když trvá celoživotně, nejvýraznější je v časném období života jedince. V dospělosti mozkové buňky postupně ztrácejí schopnost tvorby nervových synapsí a schopnost plastických změn je nižší (Friedlová, 2007, s. 57; Gulyaeva, 2017, s. 240).

V posledních letech je zkoumán vliv plasticity na poškozený mozek. Nově prováděné výzkumy se snaží objasnit neuroplastické principy, které mohou být následně využity ke zlepšení efektu tréninkových strategií a intervencí v rehabilitační péči (Dimyan a Cohen, 2011, s. 76; Gulyaeva, 2017, s. 240; Kleim a Jones, 2008, s. 225).

Kleim a Jones (2008, s. 225) uvádí, že neurální plasticita je mechanismus, kterým mozek kóduje zkušenosti. Je základním předpokladem pro učení v neporušeném mozku, ale také pro opětovné učení v mozku poškozeném, kde pomáhá znovu načíst ztracené reakce. Vlastnosti a omezení plastických změn v mozku mají zásadní význam pro rehabilitaci lidí s lézí centrálního nervového systému. Cílem je obnovit ztracené funkce, které jsou důležité pro samostatnost člověka v každodenním životě (Turolla et al., 2018, s. 2).

K vyvolání trvalých plastických změn nestačí pouhé zapojení neurálního obvodu při vykonávání úkolu, ale je potřeba nově naučené chování neustále opakovat. Trénink dovedností pak vyvolá změny v synaptické účinnosti, dojde ke zvýšení počtu synapsí v motorické kůře s následnými změnami v topografickém uspořádání mozku. Neuroplasticita vyžaduje nejen získání dovedností, ale také jejich opakování v průběhu času, díky tomu je pak získané chování odolné vůči výpadku při absenci tréninku. K navození efektivní reorganizace mozku je potřeba dosáhnout určité prahové hodnoty tréninku, tzn. minimálního počtu opakování, aby byla indukována plasticita závislá na zkušenostech. U zvířecích modelů tato hodnota dosáhla 1000 až 10 000 opakování (Kleim a Jones, 2008, s. 229; Turolla et al., 2018, s. 1-2).

Ruffino et al. (2009, s. 1-9) uvádí, že mentální trénink představy pohybu indukuje plasticitu závislou na zkušenosti, mechanismu, který je základem motorického učení. Bylo

potvrzeno, že tento nervový proces je doprovázen zvýšením excitability v mozkové kůře a že mentální trénink zlepšuje motorický výkon.

## **2.7 Uplatnění představy pohybu v rehabilitaci**

Představa pohybu je analyzována a používána ve více oblastech. Může být využita jako terapeutický nástroj v rehabilitaci, ale i v aplikacích pro silový trénink u sportovců za účelem zlepšení provedení optimálních pohybů (Lebon et al., 2018, s. 1805; Mac Intyre et al., 2018, s. 1; Mulder et al., 2004, s. 216; Munzert, Lorey a Zentgraf, 2009, s. 307).

U mnoha pacientů s poškozením CNS je provádění motorických úkolů velmi obtížné, někdy nemožné, a to i po brzké účasti na aktivním rehabilitačním programu (Jackson et al., 2001, s. 1133).

Individuálně zaměřená rehabilitace těchto pacientů je uskutečňována prostřednictvím různých rehabilitačních metod, jejichž cílem je zmírnění důsledků dlouhodobě nepříznivého zdravotního stavu pacienta, umožnění osobám s disabilitou dosažení optimální fyzické, smyslové, intelektové, psychické, sociální úrovně funkcí a poskytnutí prostředků i pomoci pro dosažení vyšší nezávislosti (Švestková, 2013, s. 136).

V praxi byl také vyzkoušen inovativní přístup mentální simulace jako terapeutické techniky ke zlepšení výkonu pohybových funkcí (Jackson et al., 2001, s. 1133). Tato metoda však nemusí být vhodná pro každého pacienta, v případě poškození mozku, kdy dojde ke ztrátě schopnosti představit si pohyb, tato intervence postrádá smysl (Mulder, 2007, s. 1273). Jackson et al. (2001, s. 1138) tvrdí, že imaginace pohybu může být výrazně omezena při lézi parietálních laloků. Jiní autoři Lotze a Halsband (2006, s. 393) uvádí, že nejen pacienti s parietální, ale i s prefrontální lézí mají stejný problém. Sirigu et al. (1996, s. 1564-1568) prokázali, že parietální kůra je důležitá pro vytváření mentální reprezentace pohybů. Pacienti s lézí v této oblasti byli postiženi mentální izochronií a nebyli schopni odhadnout čas nutný k provedení úkolu pohybu prstů.

Nejvíce studií je zaměřeno na využití této techniky u pacientů po CMP. Hodnocena byla především účinnost simulace myšlenkového provedení pohybu na zlepšení motorických funkcí nebo snížení bolesti např. u komplexního regionálního syndromu či fantomových bolestí po amputaci. Další výzkumy se věnují různorodým diagnózám jako popáleniny rukou, operace šlach, kvadruplegie (Harris a Herbert, 2015, s. 1093).

Sharma, Pomeroy a Baron (2006, s. 1950) diskutovali ve svém článku o významu přínosu mentální simulace pohybu pro rehabilitaci u pacientů po CMP. Zdůraznili skutečnost, že dosud existuje jen několik studií zkoumající klinickou hodnotu představy pohybu

u pacientů s touto diagnózou. Autoři Butler a Page (2006, s. 2-9) se shodují, že díky teoretickým poznatkům může imaginace pohybu představovat nový zajímavý přístup v rehabilitaci. Dokáže totiž aktivovat příslušné motorické oblasti v mozku jako při reálném pohybu a její největší výhodou je nezávislost na místě a čase, tj. pacient ji může využít kdykoli, kdekoli, a tak často, jak bude chtít. Situace je totožná i co se týká terapeutického využití napodobování a observace pohybu, bylo by vhodné provést více výzkumů zaměřených na rehabilitaci. Buccino, Solodkin a Small (2006, s. 61) předložili slibné výsledky observační terapie při rehabilitaci mozkové mrtvice.

Page (2000, s. 209-210) zkoumal příznivý účinek představy pohybu na funkci paže u pacientů v časně fázi po mrtvici, v období 2 až 11 měsíců po iktu. Výsledky ukázaly, že pacienti s hemiparézou, kteří absolvovali čtyřtýdenní kombinovaný program mentálního tréninku pohybu a fyzického cvičení, se prokazatelně více zlepšili než ti, kteří pouze aktivně cvičili.

Zda by došlo ke klinickému zlepšení i u pacientů v chronickém stadiu (nejméně 1 rok po CMP), u nichž je již pohybový deficit, zkoumali ve své studii Page, Levine a Leonard (2005, s. 399-402). Z výzkumu vyplynulo, že k výraznějšímu funkčnímu zlepšení hemiparetického ramene došlo po šestitýdenním tréninku u skupiny, jež kombinovala fyzioterapii s mentální simulací pohybu, oproti skupině, jež dostávala fyzioterapii kombinovanou s relaxačními cvičeními. To naznačuje pozitivní účinek této inovativní techniky.

Liu et al. (2004, s. 1403-1408) sledovali 26 pacientů po CMP, jež byli léčeni kombinací fyzioterapie a myšlenkového provedení pohybu po dobu 1 hodiny denně během 3 týdnů. Autoři prokázali, že pacienti ve skupině s mentálním tréninkem se významně zlepšili ve funkčních úkolech podstatně více než pacienti v kontrolní skupině, kterým byla poskytnuta pouze pomoc terapeuta. Jejich intervenční protokol však nebyl zaměřen na osvojení základních motorických dovedností, ale na učení pohybů při provádění každodenních činností (např. skládání prádla). Specifické pokyny pro vytvoření kinestetického obrazu nebo vizuální představy z pohledu první osoby chyběly. To naznačuje, že tito pacienti nepoužívali „skutečnou“ kinestetickou představu pohybu, ale pouze formu vizuálního obrazu, což pak vysvětluje příznivý účinek na provedení každodenních úkolů, ale žádný účinek na zlepšení motoriky. Výsledky prokázaly, že pacienti provádějící mentální trénink se zdokonalili v neuropsychologických úlohách zaměřených na zvýšení pozornosti. Z toho vyplývá, že vizuální představy mohou být použity k osvojení si kognitivních a plánovacích aspektů

pohybů, zatímco kinestetická představa by mohla hrát roli při osvojování základních motorických dovedností.

Imaginaci pohybu lze využít jako nový, fyziologicky podložený přístup v neurorehabilitaci i u pacientů s Parkinsonovou chorobou (PD), která je charakterizována progresivním zhoršováním motorických schopností uplatňujících se v každodenním životě. K farmakologické a neurochirurgické léčbě je zatím fyzioterapie brána pouze jako doplněk a může u pacientů s PD poskytnout pouze krátkodobý klinický přínos. Vývoj inovativních rehabilitačních přístupů s větší dlouhodobou účinností je velká nesplněná potřeba a jako slibný rehabilitační nástroj se jeví jak imaginace, tak observace pohybu. Oba mají potenciál uplatnit se při rehabilitaci lidí s PD, i když s určitými omezeními. K definitivní podpoře jejich účinnosti je zapotřebí dalšího zkoumání (Abbruzzese et al., 2015, s. 1).

Metaanalýza Nicholson et al. (2019, s. 1) a studie Nicholson, Keogh a Low Choy (2018, s. 713) uvádí, že trénink imaginace pohybu zlepšuje rovnováhu, pohybový výkon a mobilitu u starších dospělých (osob nad 60 let) bez neurologického deficitu. Z toho vyplývá, že tento psychický trénink je vhodným doplněním standardní fyzioterapeutické péče u lidí starší věkové kategorie.

Yang et al. (2021, s. 1) uvádí, že představa pohybu je jediným způsobem, jak mohou těžce postižení jedinci používat robotické rameno s rozhraním mozek-stroj (z angl. brain machine interface - BMI). Rozhraní je navrženo k převodu surových nervových signálů na motorické příkazy tak, aby reprodukovalo pohyby těla pomocí neuroprotetického zařízení. U lidí s těžkým neuromuskulárním postižením může BMI nahradit, nebo dokonce obnovit ztracené motorické výstupy. Cílem BMI je zejména dekodování povelového signálu z motorické kůry, který pak slouží jako nový funkční výstup. Příkazovým signálem, se kterým mohou zdravotně postižené osoby manipulovat, je pouze nervová aktivita při představě pohybu. Většina pohybových BMI tedy využívá senzomotorické aktivity během představy.



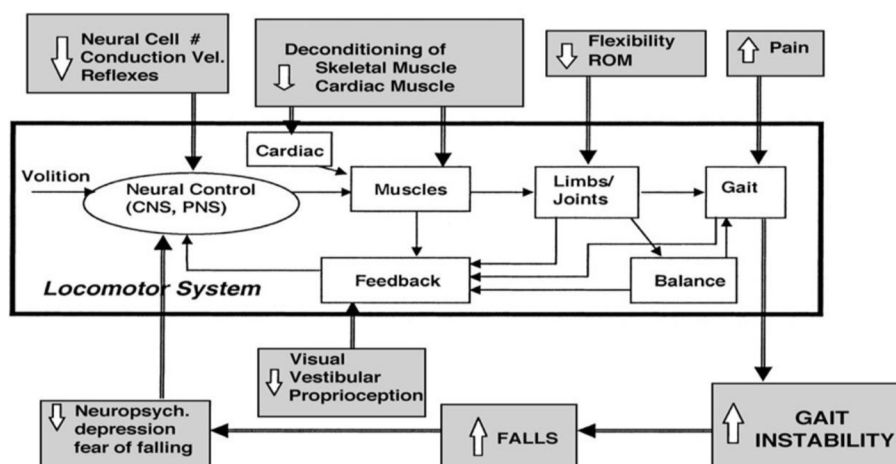
### 3 Chůze

Chůze je funkční pohyb, který je důležitý pro život, a především pro přesun v prostředí z jednoho místa na druhé. Dochází při ní ke koordinaci tělesných segmentů a je prováděna pomocí neuromuskuloskeletálního systému. Normální chůze je stabilní, flexibilní, umožňuje změny rychlosti a manévrování na různých terénech při zachování energetické účinnosti (Mirelman et al., 2018, s. 119).

Chůze je základním pohybem, i přesto, že se s ní každodenně setkáváme, neexistuje její obecně platná definice. Můžeme ji charakterizovat jako způsob lokomoce, při kterém je vzpřímené pohybující se tělo podpíráno střídavě jednou a druhou dolní končetinou. Ve fázi, kdy tělo přechází přes stojnou končetinu, se druhá končetina nachází ve švihové fázi a připravuje se pro následující oporu. Při chůzi je vždy minimálně jedno chodidlo v kontaktu s podložkou, na rozdíl od běhu. V literatuře lze najít odlišné definice chůze od různých autorů, vždy to vychází z jejich rozdílných přístupů k analýze této pohybové činnosti (Neumannová et al., 2015, s. 8).

Kolář et al. (2009, s. 48) popisuje chůzi jako základní lokomoční stereotyp vytvořený během vývoje na fylogeneticky fixovaných principech charakteristických pro každého jedince. Jde o komplexní pohyb, při němž se mohou projevit poruchy nervového systému nebo nervové soustavy.

Mirelman et al. (2018, s. 131) uvádí, že chůze je složitý proces, který vyžaduje neporušenou muskuloskeletální funkci a je regulován a kontrolován více oblastmi nervového systému (viz Obrázek 1, str. 27). Řízení na nižší úrovni je pro chůzi stěžejní, novější důkazy však upozorňují i na důležitou roli kognitivních procesů vyšší úrovně.



**Obrázek 1** Schéma znázorňující různé komponenty pohybového systému při volných pohybech (Mirelman et al., s. 120)

### 3.1 Řízení chůze

Chůze je komplikovaný motorický projev, který vyžaduje koordinaci svalů končetin a trupu. Pro chůzi je typická rytmická střídavá aktivita flexorů a extenzorů. Rytmické střídání kontrakcí agonistů a antagonistů, na němž je založena lokomoce, let nebo plavání živočichů, může probíhat i bez zpětné signalizace z periferie. Mezi rytmické pohyby patří i dýchání a žvýkání (Frigon, 2012, s. 56; MacKay-Lyons, 2002, s. 69).

Chůze je regulována složitým mechanismem, do něhož je zapojena nejen mícha, mozkový kmen, mozeček, bazální ganglia, thalamus, ale i mozková kůra. Zpětná vazba je uskutečňována pomocí prakticky všech proprioceptorů a exteroceptorů pohybového aparátu (Kolář et al., 2009, s. 50).

Fyziologická chůze závisí na integrované aktivitě všech uvedených regulačních neuronálních složek. Na úrovni míchy to jsou neuronální sítě generující lokomoční pohyb a v mozkovém kmeni je to mezencefalická lokomoční oblast. Senzorické signály vysílané do supraspinálních struktur slouží k úpravě a přizpůsobení pohybového chování. Mozečkové regulační okruhy zpracovávají informace z aferentních signálů, aktivita v mozečku se objeví i před započítím samotného pohybu. Zpracování informací mezi bazálními ganglii, mozečkem a mozkovým kmenem umožňuje automatickou regulaci svalového tonu a rytmických pohybů končetin. Mozková kůra se účastní kontroly a regulace chůze. Je také důležitá pro vizuální úpravy lokomoce při vyhýbání se překážkám (Kiehn a Dougherty, 2013, s. 1212-1213; Kolář et al., 2009, s. 50; Takakusaki, 2013, s. 1483).

Předpokládá se, že lokomoční pohyb je dán spuštěním tzv. centrálního motorického programu, což je předem připravený vzorec neurální aktivity. Samotný program je zakódován v paměti neurální sítě, již nazýváme generátorem vzorce pohybu (Frigon, 2012, s. 56; Králíček, 2004, s. 141; MacKay-Lyons, 2002, s. 69).

Generátory vzorce lokomočního pohybu (CPG, z angl. central pattern generators) se nachází ve spinální míše a jsou schopny generovat rytmus i pohybový vzor bez vstupu senzorických informací. Aktivita CPG je pak přenášena na motorické neurony, z nich na svaly a vzniká rytmický pohyb (Kiehn a Dougherty, 2013, s. 1211).

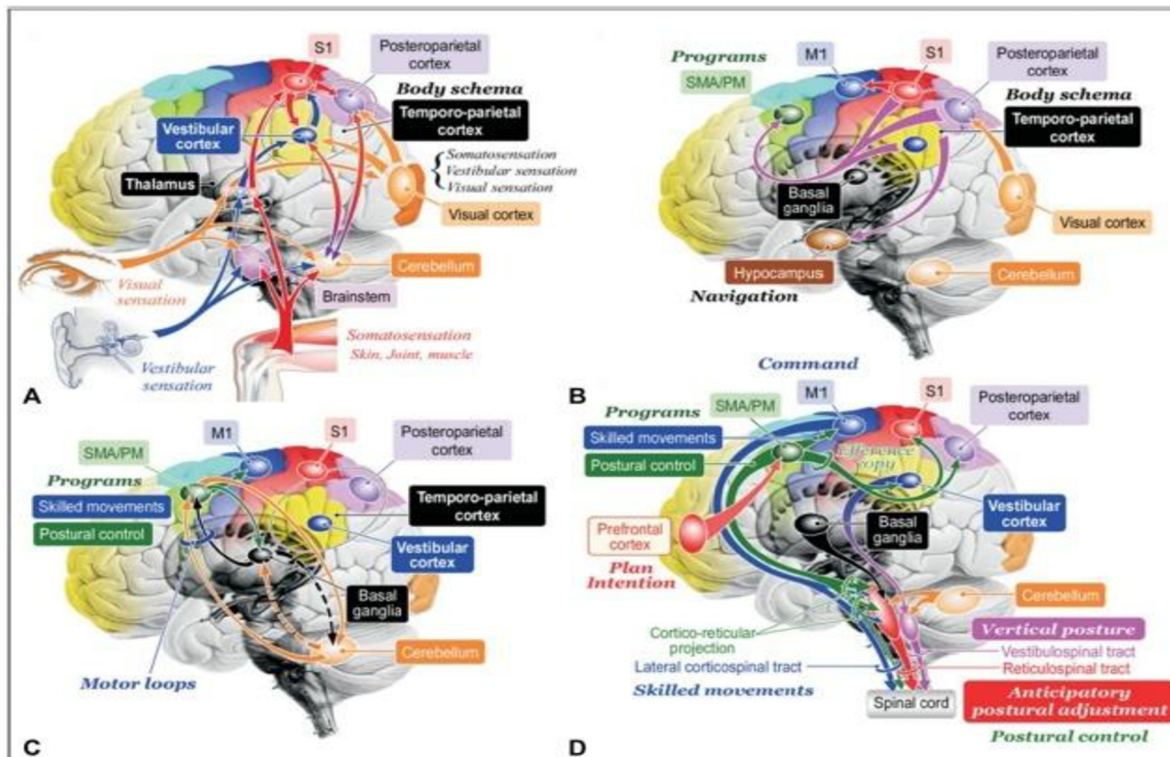
V míše jsou CPG umístěny pro každou končetinu zvlášť a aktivita všech generátorů je navzájem koordinována. Jsou aktivovány signálem z mesencefalické lokomoční oblasti (mesencephalic locomotor region), což je oblast retikulární formace ve středním mozku. Ta má za úkol jednak spuštění generátoru pohybu, ale také určuje, o jaký druh pohybu se bude jednat, zda půjde o chůzi nebo běh (Králíček, 2004, s. 141).

Ačkoli mohou CPG generovat rytmus bez sensorických vjemů, jejich funkce během chůze je iniciována a modulována supraspinálními strukturami. Lokomoční oblasti středního mozku, subthalamu a mozečku napomáhají aktivaci CPG a řídí jejich intenzitu. Dochází také ke zpětnovazebnému ovlivnění CPG z proprioceptorů a kožních exteroceptorů (Kiehn a Dougherty, 2013, s. 1211; Takakusaki, 2013, s. 1485).

I přesto, že lokomoce není primárně reflexního původu, je aferentní signalizace z proprioceptorů důležitá. Pokud dojde k jejímu vyřazení, např. porušením zadních míšních kořenů, dojde ke změně a zpomalení pohybu (Králíček, 2004, s. 141).

Při provedení skutečné lokomoce bylo zjištěno, že receptory ve svalech i kůži jsou aktivní, což pomáhá k přizpůsobení pohybu v prostředí. Úkolem sensorických vstupů je tedy reflexně upravovat motorický program CPG, aby došlo ke sladění lokomoce s terénem, na němž pohyb probíhá (Kiehn a Dougherty, 2013, s. 1211; Králíček, 2004, s. 141).

Během běžné chůze jsou naučené pohybové programy v případě potřeby upravovány díky nepřetržitému přílivu smyslových informací. To umožňuje stabilitu rovnováhy, postoje a kroku (Mirelman, 2018, s. 122). Takakusaki (2013, s. 1483) dodává, že osvojení motorických dovedností nebo přizpůsobení se neznámým situacím vyžaduje kognitivní posturální kontrolu chůze z vyšších center (viz Obrázek 2, s. 29).



**Obrázek 2** Model kognitivního procesu posturální kontroly chůze (Mirelman et al., 2018, s. 123)

### 3.2 Představa chůze

Při zkoumání představy pohybu je více studií zaměřeno na pohyby horních končetin s různými motorickými úkoly, jako je opozice palce (Heremans et al., 2011, s. 168-177), směřování na cíl (Tacchino et al., 2013, s. 561-570), manipulace ruky (Tacchino et al., 2018, s. 1-10) či bimanuální koordinace (Marioka et al., 2019, s. 1-9).

Existují však i výzkumy imaginace pohybu zahrnující dolní končetiny (Bakker et al., 2008b, s. 2519-2527; Kim et al., 2017, s. 1931-1933; Marusic et al., 2018, s. 1-9).

Pro širší porozumění představě pohybu je imaginace chůze obzvláště zajímavá. Zahrnuje totiž simulovaný pohyb celého těla a souběžnou aktualizaci informací o prostoru a prostředí (Personnier et al., 2010, s. 146-149).

Zásadním rozdílem mezi skutečným provedením chůze a chůzí v představě je absence jejího zjevného provedení při imaginaci. Například i chůze po slepu je doprovázena vestibulárními změnami, biomechanickou a haptickou zpětnou vazbou, zatímco u chůze v představě tyto ukazatele pro fyzický pohyb těla chybí (Kunz, Creem-Regehr a Thompson, 2009, s. 1459).

Bylo však zjištěno, že poskytnutím biomechanických informací souvisejících s chůzí, ať již před anebo souběžně s imaginární chůzí, dochází k ovlivnění představy chůze. Vznikne tak propojení skutečné a simulované chůze v kontextu pohybu těla v prostoru (Kunz, Creem-Regehr a Thompson, 2009, s. 1459).

Mulder (2007, s. 1268) popisuje, že během reálného provedení pohybu i jeho představy, jsou aktivovány nejen stejné oblasti mozku, ale existuje i časová spojitost, tzv. mentální izochronie. Provedení imaginárního pohybu trvá podobný čas jako jeho reálné provedení.

Studie Podda et al. (2020, s. 1) princip izochronie během představy chůze potvrzuje. Uvádí, že byla prokázána časová podobnost mezi dobami skutečných a představovaných pohybů, a to především u zdravých dospělých. Naopak anizochronie, tj. časový nesoulad mezi skutečnými a mentálními pohyby, byla často hlášena u starších subjektů nebo pacientů s neurologickým onemocněním, jako je Parkinsonova choroba nebo roztroušená skleróza (RS). Ve studii bylo zkoumáno, zda jedinci s RS mají zhoršenou představu chůze, když si představují, že kráčí po cestách o různé šířce. Při mentální simulaci pohybu chůze po omezené dráze docházelo k tendenci přeceňovat délku mentálního pohybu ve srovnání s jeho skutečným trváním.

Personnier et al. (2010, s. 146) provedli podobný výzkum již dříve. Devět mladých a devět starších dospělých se mělo reálně i imaginárně projít po cestě různé šířky (15 cm,

25 cm a 50 cm), zkoumala se časová podobnost představy chůze. Poznatky naznačovaly, že časová délka představy chůze byla zachována pouze ve skupině mladých osob, a to bez ohledu na šířku cesty. Ve skupině starších osob došlo však k výraznému zhoršení a časovému nadhodnocení představovaných pohybů oproti provedeným pohybům. Šířka cesty navíc negativně ovlivnila výkonnost při představě chůze ve skupině starších osob.

Bylo také zjištěno, že únava negativně ovlivňuje představu chůze a následný výkon jedince. Tyto poznatky mohou být uplatněny při sestavení účinného rehabilitačního plánu (Podda et al., 2020, s. 1).

Studie Marusic et al. (2018, s. 1-9) prokázala účinnost v terapii chůze za pomoci observace imaginace pohybů dolních končetin u ortopedických pacientů. Výzkumu se účastnilo 405 pacientů po operaci kyčelního kloubu. Vybraní pacienti měli provádět mentální observaci a následnou simulaci pohybových úkolů, např. rychlé či pomalé chůze, chůze po schodech nebo po nestabilní, úzké ploše, chůze po různých površích. Tyto úkoly prováděly nejprve 30 minut denně při pobytu v nemocnici, poté dvakrát až třikrát týdně v domácím prostředí po dobu 2 měsíců. Výsledky ukazují pozitivní ovlivnění rehabilitace, zlepšila se kognitivní-motorická kontrola chůze i parametry chůze. Tuto imaginaci pohybu a chůze lze provádět již v rané fázi po operačním zákroku a urychlit tak zahájení rehabilitačního procesu.

## **4 Vybrané možnosti hodnocení představy pohybu**

### **4.1 Povrchová elektromyografie**

Povrchová elektromyografie je neinvazivní experimentální metoda, kterou lze použít k objektivnímu hodnocení vlivu představy pohybu na pohybový aparát člověka. Je založena na principu snímání bioelektrických signálů svalové aktivity. Snímané akční potenciály svalových vláken vznikají jako elektrofyziologická odpověď motorických jednotek, které jsou řízeny nervovým systémem. Senzory jsou umístěné na kůži nad testovaným svalem (Farina a Negro, 2012, s. 3; Kale a Dudul, 2009, s. 1; Kolářová et al., 2014, s. 75; Mankar, 2011, s. 95).

Svalová aktivita je regulována CNS. Při realizaci pohybu lze míru zapojení testovaného svalu posoudit podle charakteru elektromyografického signálu. Jelikož je možné hodnotit více svalů současně, může být v obraze povrchové elektromyografie zřejmé vzájemné působení svalů, které konkrétní pohyb provázejí (Kolářová et al., 2019, str. 78).

EMG je unikátní tím, že nehodnotí průběh pohybu z hlediska kvality motorického provedení, ale poskytuje jedinečný vhled na mechanismy řízení pohybu. Jako prostředek pro hodnocení pohybu má tedy významnou roli a je nezastupitelný (Kolářová et al., 2014, s. 75; Mankar, 2011, s. 95). V kombinaci s jinými technologiemi, které hodnotí kvalitu pohybu, nabízí EMG kompletní obraz o dění na pohybové periférii a přináší užitečné informace o nervovém systému (Kolářová et al., 2019, s. 78; Mankar, 2011, s. 95).

Farina a Negro (2012, s. 3) uvádí, že analýza výstupního signálu ze svalu poskytuje jedinečný nástroj pro porozumění neurálnímu řízení a kontroly pohybu. Toho lze využít pro vývoj rehabilitačních technologií, ale také strategií pro obnovu a neuromodulaci pohybu s cílem nahradit ztracené či motorické funkce.

### **4.2 Dotazníky**

Cílený trénink představy pohybu podporuje rychlejší zotavení a usnadňuje proces rehabilitace. Jedinci s dobrou schopností představivosti se dokážou do tréninku efektivněji zapojit a získají z něj větší benefit. Schopnost představy pohybu je pro každého člověka odlišná, proto bylo nutné vytvořit vhodný nástroj pro subjektivní hodnocení (Gregg, Hall a Butler, 2010, s. 249). Pro individuální posouzení míry schopnosti provádění mentálního tréninku slouží různé dotazníky motorické představivosti (Dickstein a Deutsch, 2007, s. 945-946; Gregg, Hall a Butler, 2010, s. 250). Jen některé jsou však zaměřeny na vizuální a kinestetické modalit. Pro hodnocení testování úrovně představy se nejčastěji používá

dotazník Movement Imagery Questionnaire (MIQ) a jeho modifikace, např. Movement Imagery Questionnaire - Revised (MIQ-R), což je zkrácená verze stejného dotazníku (Butler et al., 2012, s. 1-2; Gregg, Hall a Butler, 2010, s. 250; Monsma et al., 2009, s. 1-2).

MIQ a MIQ-R jsou standardizované dotazníky, pomocí nichž je hodnocena schopnost vizuální a kinestetické představy pohybu. Jsou složeny z jednotlivých úkolů, které zahrnují pohyby horních, dolních končetin či celého těla. Vždy je popsána výchozí pozice i přesné provedení pohybu. Jedinec zaujme výchozí polohu a je vyzván k fyzickému provedení pohybu, poté se vrátí zpět do výchozí pozice a dostává pokyn k provedení pohybu jen ve své představě bez skutečné realizace pohybu. Poté účastník hodnotí snadnost či obtížnost představy pohybu ve své mysli na sedmi bodové stupnici, kde 1 značí velmi snadnou představu pohybu, 7 velmi obtížnou představu. Schopnost představy pohybu je hodnocena dvakrát. Při hodnocení vizuální představy je proband požádán, aby si ve své mysli představil, že se dívá sám na sebe při provádění zadaného úkolu. Při kinestetické představě je jedinec vyzván, aby vnímal své tělo, které daný pohyb provádí (Dickstein and Deutsch, 2007, s. 946; Gregg, Hall a Butler, 2010, s. 250; Monsma et al., 2009, s. 3).

Movement Imagery Questionnaire - Revised Second Version (MIQ-RS) je zkrácená a zjednodušená varianta dotazníku, která je určena pro jedince s motorickým deficitem. Z původního MIQ byly odstraněny některé složitější pohybové úkoly, např. výskoky, ale byly doplněny každodenní relativně jednoduché pohyby, např. předklon, tlak do předmětu, tah za kliku dveří a různé úchopy (Gregg, Hall a Butler, 2010, s. 251).

## 5 Cíle a hypotézy

### 5.1 Cíl práce

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit změny svalové aktivity m. rectus femoris a m. biceps femoris dolních končetin při představě chůze a při představě chůze po čáře.

### 5.2 Hypotézy

#### 5.2.1 Hypotézy pro představu chůze

**H<sub>01</sub>:** Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze před jejím reálným provedením ve srovnání s klidovou situací.

**H<sub>A1</sub>:** Existuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze před jejím reálným provedením ve srovnání s klidovou situací.

**H<sub>02</sub>:** Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po jejím reálném provedení ve srovnání s klidovou situací.

**H<sub>A2</sub>:** Existuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po jejím reálném provedení ve srovnání s klidovou situací.

**H<sub>03</sub>:** Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze před jejím reálným provedením ve srovnání s představou chůze po jejím reálném provedení.

**H<sub>A3</sub>:** Existuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze před jejím reálným provedením ve srovnání s představou chůze po jejím reálném provedení.

#### 5.2.2 Hypotézy pro představu chůze po čáře

**H<sub>04</sub>:** Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po čáře před jejím reálným provedením ve srovnání s klidovou situací.

**H<sub>A4</sub>:** Existuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po čáře před jejím reálným provedením ve srovnání s klidovou situací.

**H<sub>05</sub>:** Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po čáře po jejím reálném provedení ve srovnání s klidovou situací.



**HA5:** Existuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po čáře po jejím reálném provedení ve srovnání s klidovou situací.

**Ho6:** Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po čáře před jejím reálným provedením ve srovnání s představou chůze po čáře po jejím reálném provedení.

**HA6:** Existuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po čáře před jejím reálným provedením ve srovnání s představou chůze po čáře po jejím reálném provedení.

## **6 Metodika měření**

### **6.1 Charakteristika testovaných osob**

Výzkumnou skupinu k experimentálnímu měření diplomové práce tvořilo 20 zdravých probandů s průměrným věkem 56,7 ( $\pm$  6,0)let, výškou 172,7 ( $\pm$ 9,4)cm, hmotností 74,0 ( $\pm$ 12,1)kg. Věkové rozmezí probandů činilo 49 – 70 let.

Vstupním kritériem pro zařazení jedinců do studie byly 2 standardizované dotazníky MIQ-R (viz Příloha 3, str. 113), MIQ-RS (viz Příloha 4, str. 116). Při jejich plnění museli probandi prokázat dobrou úroveň vizuální, kinestetické motorické představitivosti a dosáhnout alespoň průměru 3 z každého dotazníku, jinak se nemohli studii zúčastnit. Dotazníky se skládaly z jednotlivých pohybových úkolů, během nichž bylo měřeno subjektivní hodnocení představy po každém provedení, a to na stupnici 1 až 7 (1 – velmi obtížné, 7 – velmi snadné).

Do studie nebyli zařazeni probandi s deficitem kognitivních funkcí, komunikačních schopností a jiných patologických stavů, s psychiatrickými, neurologickými poruchami, s vrozenými i získanými poruchami muskuloskeletálního aparátu, s akutními poúrazovými stavy a musela být splněna podmínka absence bolesti alespoň 1 týden. Ze studie byli vyloučeni jedinci s rovnovážnými problémy a patologiemi chůze.

Před zahájením měření byl všemi probandy podepsán informovaný souhlas (viz Příloha č. 1, s. 110). Výzkumná část diplomové práce a informovaný souhlas byl schválen Etickou komisí Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci dne 15. 7. 2022, číslo jednací UPOL-118332/1030S-2020 (viz Příloha č. 2, s. 112).

### **6.2 Experimentální měření**

#### **6.2.1 Realizace experimentu**

Měření byla realizována v průběhu července a srpna roku 2020 v prostorách učebny Fakulty zdravotnických věd v Olomouci. Celé testování trvalo přibližně 50 minut včetně podepsání informovaného souhlasu a vyplnění obou dotazníků. Před každým měřením byli zúčastnění jedinci seznámeni s průběhem experimentu a vše jim bylo vysvětleno. Pro všechny probandy byly zajištěny stejné podmínky, tzn. klidné prostředí bez rušivých elementů, přiměřená teplota v místnosti a stálé osvětlení.

#### **6.2.2 Metoda měření**

Výzkumnou metodou měření byla povrchová elektromyografie a analýza stoje pomocí přenosné tenzometrické plošiny (Zebris Medical GmbH, Germany), která obsahuje

integrované a kalibrované měřicí senzory. Plošina byla použita k hodnocení stability ve stoje parametrem center of pressure (COP).

Ke snímání svalové aktivity i posturálních výchylek byl použit systém povrchové elektromyografie Delsys Trigno (Natick, MA, USA) s hybridními telemetrickými senzory. Celkem bylo použito 13 senzorů, z nichž 8 EMG elektrod snímalo bilaterální aktivitu těchto svalů dolních končetin: m. rectus femoris, m. biceps femoris, m. tibialis anterior, m. gastrocnemius medialis (viz Příloha 6, s. 121). Dalších 5 senzorů se zabudovaným akcelerometrem snímalo posturální výchylky.

Pro výsledky diplomové práce byla vyhodnocena elektromyografická data bilaterální svalové aktivity ze 4 senzorů, a to z m. rectus femoris a m. biceps femoris. Posturální výchylky nebyly předmětem hodnocení této diplomové práce.

### **6.2.3 Příprava měření**

EMG a akcelerometrie – pro správné umístění senzorů pro snímání svalové aktivity bylo břicho každého svalu vypalováno při maximální izometrické kontrakci. Povrch kůže nad bříškem a místy určenými pro akcelerometry (zevní kondyly femuru a zevní kotníky bilaterálně) byl očištěn alkoholovým dezinfekčním prostředkem a osušen papírovou utěrkou. V případě ochlupení byla kůže nejprve oholena. Senzory pak byly přilepeny hypoalergenní páskou. Pro snímání svalové aktivity byl senzor aplikován paralelně se svalovými vlákny, šipka na něm znázorněná mířila kraniálním směrem.

Přenosná tenzometrická plošina – byla umístěna tak, aby proband při postavení na ni stál čelem k bílé zdi. Byly na ni nalepeny 4 pásy jako označení pro lepší kontrolu stejného umístění chodidel.

Lepicí páska – před začátkem měření byla na podlahu nalepena žlutá lepicí páska o šířce 5cm, která sloužila jako startovací čára. Páska byla také využita pro představu chůze po čáře a při realizaci chůze po čáře, kdy byla vedena středem celé místnosti v délce přibližně 12 metrů.

### **6.2.4 Průběh měření**

Výchozí pozice pro všechny probandy byl vzpřímený stoj s chodidly na šířku pánve a s horními končetinami spuštěnými podél těla. Během fáze klidného stoje i jednotlivých představ pohybu (tedy mimo reálnou chůzi) proband stál bez obuvi na tenzometrické plošině čelem k bílé stěně a s otevřenýma očima, tyto situace trvaly 30 vteřin.

Experimentální měření bylo rozděleno do dvou částí. První část (A) se zabývala představou chůze. Druhá část (B) se týkala představy chůze po čáře. Každá část pak zahrnovala tyto situace:

1. klid před představou chůze nebo chůze po čáře
2. představu chůze po místnosti nebo chůze po čáře bez předchozí zkušenosti
3. reálné provedení chůze po místnosti nebo chůze po čáře
4. představu chůze nebo chůze po čáře po předchozím reálném provedení.

U všech probandů byl sled situací stejný. Mezi těmito dvěma situacemi (chůze po místnosti, chůze po čáře) probíhala randomizace. Přesný popis jednotlivých situací je uveden níže (fotografie situací viz Příloha č. 7, s. 122).

#### Část A – představa chůze

1. Klid před představou chůze – výchozí pozice probanda byl klidný stoj na tenzometrické plošině čelem k bílé zdi s otevřenými očima po dobu 30 vteřin, ve své mysl si měl zpívat píseň Hodně štěstí zdraví a vyvarovat se tak jakýchkoli nežádoucích výchylek ve stoji, tato klidová svalová aktivita pak sloužila jako referenční hodnota.

2. Představa chůze po místnosti bez předchozí zkušenosti – proband byl požádán, aby se postavil ke startovací čáře a během 30 vteřin vnímal prostor v místnosti, následně měl opět zaujmout výchozí pozici na tenzometrické plošině a představovat si po dobu 30 vteřin, jak se po místnosti prochází. Poté byl dotázán na ohodnocení kvality představy chůze na škále 1 až 5 (1 – velmi obtížná náročnost tvorby představy, 5 – snadná tvorba představy).

3. Reálné provedení chůze po místnosti – proband byl požádán, aby se postavil na startovací čáru a pak se reálně prošel středem místnosti v přirozeném tempu nejméně po dobu 30 vteřin.

4. Představa chůze po předchozím reálném provedení – jedinec se vrátil do klidové výchozí pozice na tenzometrickou plošinu a měl si po dobu 30 vteřin představovat chůzi po místnosti, nyní již po reálné zkušenosti. Po provedení znovu ohodnotil obtížnost tvorby představy na škále 1 až 5 (1 – velmi obtížná náročnost tvorby představy, 5 – snadná tvorba představy).

#### Část B – představa chůze po čáře

1. Klid před představou chůze po čáře – výchozí pozice probanda byl klidný stoj na tenzometrické plošině čelem k bílé zdi s otevřenými očima po dobu 30 vteřin, ve své mysl si měl zpívat píseň Hodně štěstí zdraví a vyvarovat se tak jakýchkoli nežádoucích výchylek ve stoji, tato klidová svalová aktivita pak sloužila jako referenční hodnota.

2. Představa chůze po čáře bez předchozí zkušenosti – proband byl požádán, aby se postavil ke startovací čáře, od které vedla středem místnosti žlutá páska. Během 30 vteřin měl vnímat prostor v místnosti a následně zaujmout výchozí pozici na tenzometrické plošině a představovat si chůzi po čáře po dobu 30 vteřin. Poté byl dotázán na ohodnocení kvality představy chůze na stupnici 1 až 5 (1 – velmi obtížná náročnost tvorby představy, 5 – snadná tvorba představy).

3. Reálné provedení chůze po čáře – proband byl požádán, aby se postavil na start a provedl chůzi po čáře tak, aby chodidla kladl pouze na lepicí pásku, po dobu nejméně 30 vteřin.

4. Představa chůze po čáře po předchozím reálném provedení – jedinec se vrátil do klidové výchozí pozice na tenzometrickou plošinu a měl si po dobu 30 vteřin představovat chůzi po čáře, nyní již po reálné zkušenosti. Po provedení znovu ohodnotil obtížnost tvorby představy na škále 1 až 5 (1 – velmi obtížná náročnost tvorby představy, 5 – snadná tvorba představy).

## **6.3 Zpracování dat**

### **6.3.1 Zpracování dat povrchové elektromyografie**

Snímáním bioelektrických signálů svalů prostřednictvím EMG vzniká surový elektromyografický záznam. Pro zpracování signálu byl použit program EMGworks®Analysis. V záznamu byl vybrán časový úsek 1-30s, který byl rektifikován a bylo provedeno vyhlazení pomocí střední kvadratické hodnoty. Velikost okna pro vyhlazení byla zvolena 0,125 s a překrytí okna 0,0625 s. Dále byla data převedena do programu Microsoft Office Excel a byly určeny průměrné hodnoty jednotlivých svalů ve sledovaných situacích.

### **6.3.2 Statistické zpracování dat**

Data byla zpracována ve statistickém programu TIBCO Statistica, Version 14.0, StatSoft Inc. Z naměřených dat byla vytvořena popisná statistika a zapsána pomocí průměrů, mediánů, minimálních a maximálních hodnot a směrodatných odchylek.

Byly porovnávány hodnoty ve 3 situacích (klid, představa před reálným provedením chůze a představa po reálném provedení chůze), jak pro představu chůze, tak i pro představu chůze po čáře. Po výpočtu rozdílů hodnot porovnávaných situací byla ověřena normalita rozdílů pomocí Shapiro-Wilkova testu na hladině statistické významnosti  $\alpha = 0,05$ . V případě, že data měla normální rozložení četností hodnot, byl použit párový t-test. U dat, jež neměla

normální distribuci hodnot, byl použit neparametrický Wilcoxonův párový test. Vzhledem k mnohonásobně opakovanému testování byla hladina statistické významnosti korigována pomocí Bonferroniho korekce ( $\alpha = 0,05/3 = 0,017$ ).

## 7 Výsledky

Níže jsou uvedeny tabulky popisné statistiky pro testované svaly dolních končetin ve sledovaných situacích, při představě chůze (viz Tabulka 1) a představě chůze po čáře (viz Tabulka 2, s. 42).

Hodnocenými situacemi pro představu chůze byl klid před představou chůze (KCH), představa chůze před reálným provedením chůze (PCH před) a představa chůze po reálném provedení chůze (PCH po). Pro představu chůze po čáře se jednalo o klid před představou chůze po čáře (KČ), představu chůze po čáře před jejím reálným provedením (KČ před), představa chůze po čáře po jejím reálném provedení. (KČ po).

Naměřené hodnoty EMG aktivity svalů jsou popsány průměrem, mediánem, maximem, minimem a směrodatnou odchylkou.

**Tabulka 1** Popisná statistika průměrných hodnot svalové aktivity během KCH, PCH před, PCH po

Parametr (n = 20)	Průměr [ $\mu\text{V}$ ]	Medián [ $\mu\text{V}$ ]	Minimum [ $\mu\text{V}$ ]	Maximum [ $\mu\text{V}$ ]	SD [ $\mu\text{V}$ ]
BF dx_KCH	17,27	16,04	7,15	45,27	8,65
BF dx_PCH před	18,82	16,26	7,45	53,83	10,19
BF dx_PCH po	20,05	16,97	8,14	63,93	12,00
BF sin_KCH	24,77	19,92	3,65	78,41	19,38
BF sin_PCH před	21,86	14,41	6,05	69,11	16,51
BF sin_PCH po	20,09	14,77	5,17	51,42	13,18
RF dx_KCH	18,21	15,96	4,85	49,49	10,55
RF dx_PCH před	17,60	14,45	4,22	41,71	10,32
RF dx_PCH po	14,60	12,64	3,78	28,18	7,04
RFsin_KCH	18,75	16,21	3,53	41,56	10,69
RF sin_PCH před	16,98	13,46	3,43	36,17	9,81
RF sin_PCH po	14,95	13,21	3,44	27,75	7,35

**Legenda:** BF – musculus biceps femoris, RF – musculus rectus femoris, dx. – dexter, sin. – sinister, KCH – klid před představou chůze, PCH před – představa chůze před reálným provedením chůze, PCH po – představa chůze po reálném provedení chůze, n – počet probandů,  $\mu\text{V}$  – mikroVolt, SD – směrodatná odchylka

**Tabulka 2** Popisná statistika průměrných hodnot svalové aktivity během KČ, PČ před, PČ po

<b>Parametr (n = 20)</b>	<b>Průměr [μV]</b>	<b>Medián [μV]</b>	<b>Minimum [μV]</b>	<b>Maximum [μV]</b>	<b>SD [μV]</b>
BF dx_KČ	20,97	16,14	9,25	43,83	11,38
BF dx_PČ před	18,19	15,21	1,75	39,21	9,09
BF dx_PČ po	22,81	19,18	7,38	59,87	15,00
BF sin_KČ	27,42	18,11	8,85	99,59	23,60
BF sin_PČ před	20,17	15,01	2,34	56,31	12,88
BF sin_PČ po	18,13	18,59	6,76	37,24	8,83
RF dx_KČ	20,66	15,87	6,52	93,92	18,92
RF dx_PČ před	17,26	16,41	5,34	58,09	11,41
RF dx_PČ po	15,77	15,88	4,56	38,62	7,47
RF sin_KČ	21,24	16,18	3,84	69,41	16,62
RF sin_PČ před	17,58	12,90	3,97	60,71	13,86
RF sin_PČ po	16,62	12,71	3,69	52,84	12,45

**Legenda:** BF – musculus biceps femoris, RF – musculus rectus femoris, dx. – dexter, sin. – sinister, KČ – klid před představou chůze po čáře, PČ před – představa chůze po čáře před jejím reálným provedením, PČ po – představa chůze po čáře po jejím reálném provedení, n – počet probandů, μV – mikroVolt, SD – směrodatná odchylka

V tabulkách (viz Tabulka 3 a Tabulka 4) jsou zobrazeny p-hodnoty při porovnání aktivity testovaných svalů v jednotlivých situacích při představě chůze (viz Tabulka 3, s. 43) a představě chůze po čáře (viz Tabulka 4, s. 43). Hladina statistické významnosti byla korigována pomocí Bonferroniho korekce ( $\alpha = 0,05/3 = 0,0167$ ). Tučně jsou zvýrazněny signifikantní hodnoty, vždy pro  $p < 0,017$ .

Hraniční signifikantní rozdíl 0,017 byl vyhodnocen u m. BF sin. při srovnání situací KČ X PČ po, je tam tedy určitý trend, nicméně výsledná hodnota je stále větší než upravená hladina signifikance  $\alpha = 0,05/3$ .



**Tabulka 3** p-hodnoty při porovnání jednotlivých situací při představě chůze

p-hodnoty	KCH X PCH před	KCH X PCH po	PCH před X PCH po
BF dx.	0,911	0,106	0,296
BF sin.	0,247	0,086	0,247
RF dx.	0,445	<b>0,002</b>	<b>0,001</b>
RF sin.	0,042	<b>0,001</b>	0,021

**Legenda:** BF – musculus biceps femoris, RF – musculus rectus femoris, dx. – dexter, sin. – sinister, KCH – klid před představou chůze, PCH před – představa chůze před reálným provedením chůze, PCH po – představa chůze po reálném provedení chůze, SD – směrodatná odchylka, p – hladina signifikance (tučně jsou zvýrazněny signifikantní hodnoty)

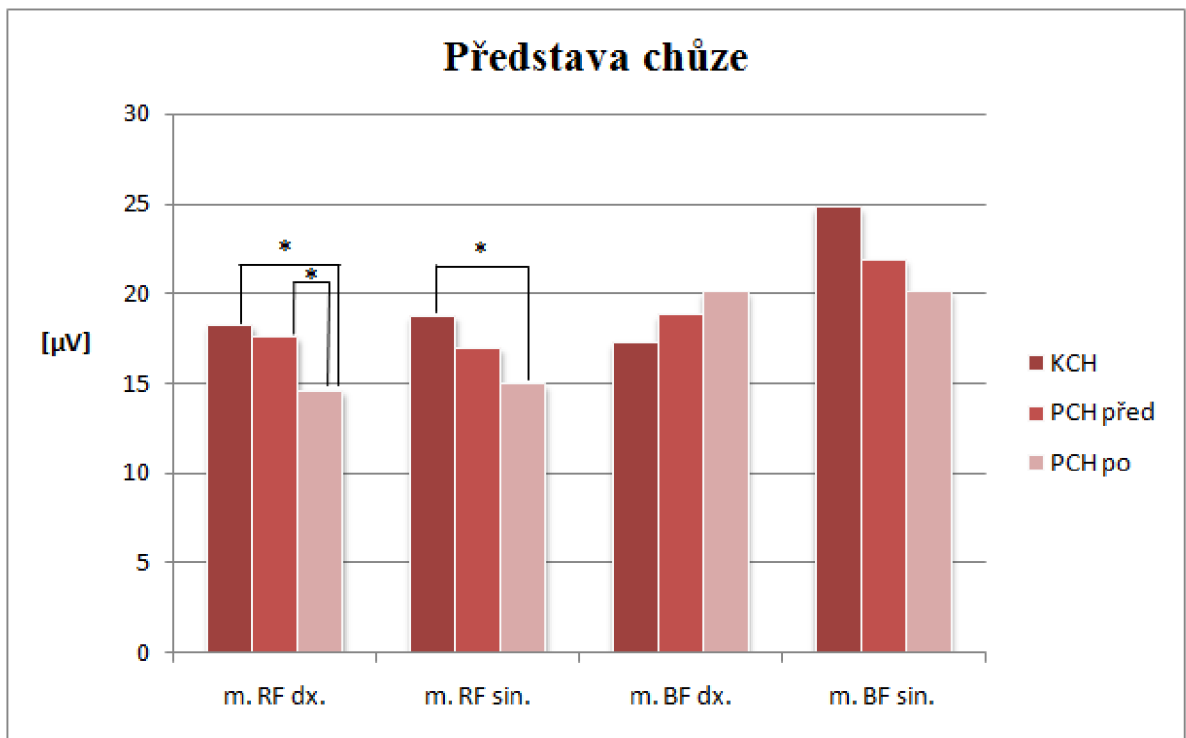
**Tabulka 4** p-hodnoty při porovnání jednotlivých situací při představě chůze po čáře

p-hodnoty	KČ X PČ před	KČ X PČ po	PČ před X PČ po
BF dx.	0,053	0,603	0,263
BF sin.	<b>0,002</b>	0,017	0,370
RF dx.	<b>0,007</b>	<b>0,009</b>	<b>0,007</b>
RF sin.	<b>0,001</b>	<b>0,005</b>	0,459

**Legenda:** BF – musculus biceps femoris, RF – musculus rectus femoris, dx. – dexter, sin. – sinister, KČ – klid před představou chůze po čáře, PČ před – představa chůze po čáře před jejím reálným provedením, PČ po – představa chůze po čáře po jejím reálném provedení, SD – směrodatná odchylka, p – hladina signifikance (tučně jsou zvýrazněny signifikantní hodnoty)

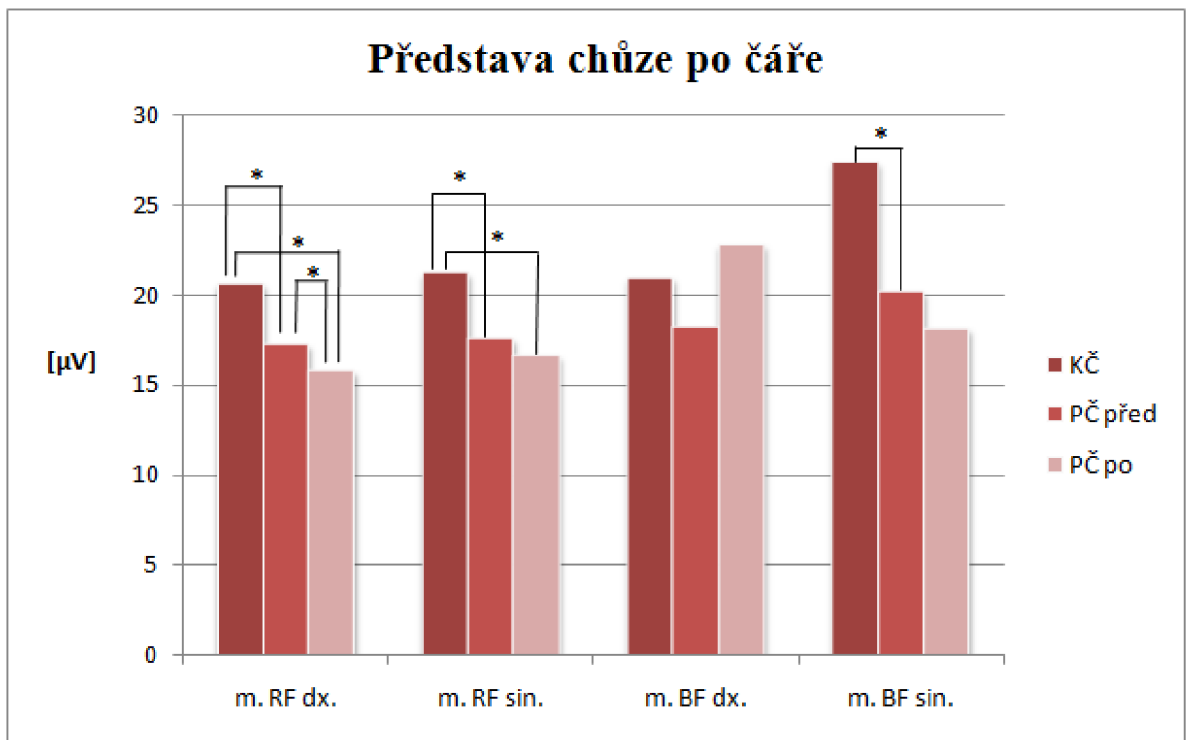
Níže jsou uvedena grafická znázornění průměrných hodnot svalové aktivity m. rectus femoris a m. biceps femoris bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze (viz Obrázek 3, s. 44) a při představě chůze po čáře (viz Obrázek 4, s. 45).

Dále jsou zobrazena grafická znázornění srovnávající průměry svalové aktivity m. rectus femoris (viz Obrázek 5, s. 46) a m. biceps femoris (viz Obrázek 6, s. 7) bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze a představě chůze po čáře.



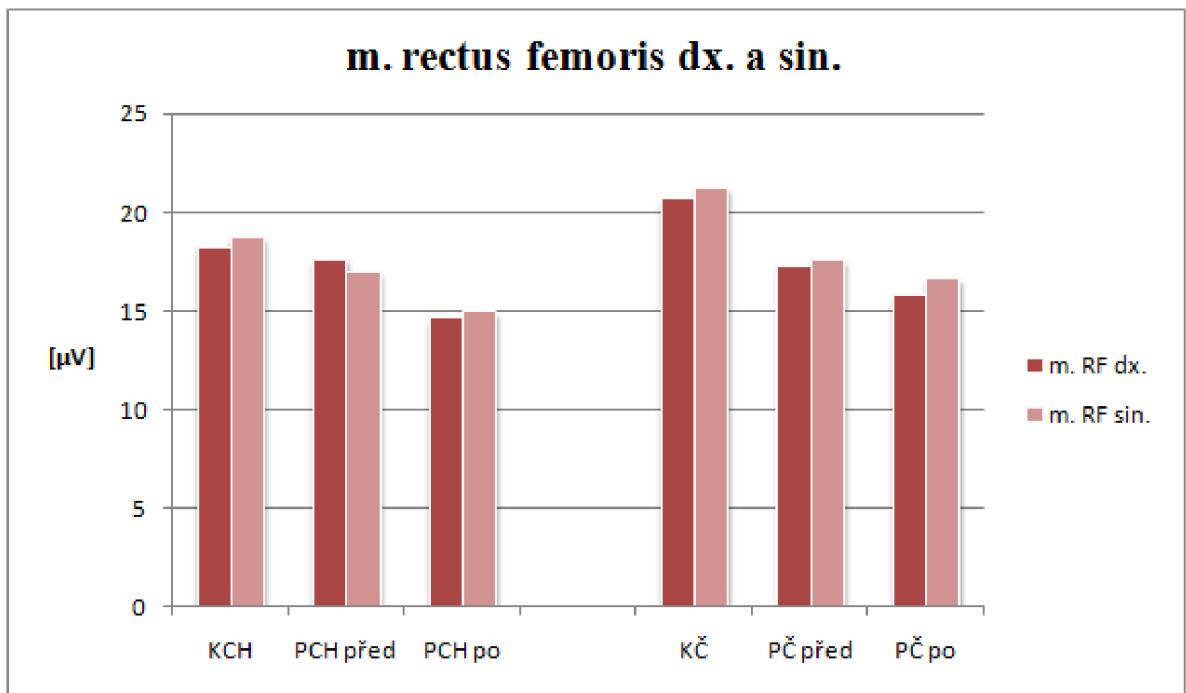
**Obrázek 3** Svalová aktivita m. rectus femoris a m. biceps femoris bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze

**Legenda:** RF – musculus rectus femoris, BF – musculus biceps femoris, dx. – dexter, sin. – sinister, KCH – klid před představou chůze, PCH před – představa chůze před reálným provedením chůze, PCH po – představa chůze po reálném provedení chůze,  $\mu\text{V}$  – mikroVolt, \* –  $p < 0,017$



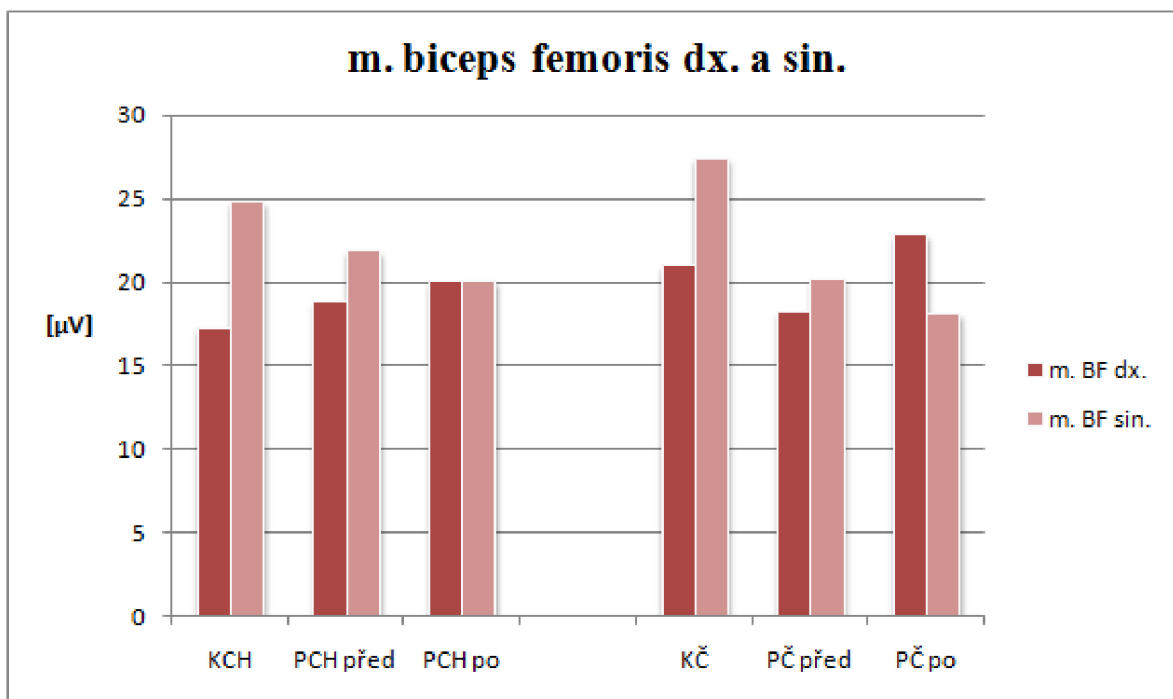
**Obrázek 4** Svalová aktivita m. rectus femoris a m. biceps femoris bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze po čáře

**Legenda:** RF – musculus rectus femoris, BF – musculus biceps femoris, dx. – dexter, sin. – sinister, KČ – klid před představou chůze po čáře, PČ před – představa chůze po čáře před jejím reálným provedením, PČ po – představa chůze po čáře po jejím reálném provedení,  $\mu\text{V}$  – mikroVolt, \* –  $p < 0,017$



**Obrázek 5** Srovnání svalové aktivity m. rectus femoris bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze a představě chůze po čáře

**Legenda:** RF – musculus rectus femoris, dx. – dexter, sin. – sinister, KCH – klid před představou chůze, PCH před – představa chůze před reálným provedením chůze, PCH po – představa chůze po reálném provedení chůze, KČ – klid před představou chůze po čáře, PČ před – představa chůze po čáře před jejím reálným provedením, PČ po – představa chůze po čáře po jejím reálném provedení,  $\mu\text{V}$  – mikroVolt



**Obrázek 6** Srovnání svalové aktivity m. biceps femoris bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze a při představě chůze po čáře

**Legenda:** BF – musculus biceps femoris, dx. – dexter, sin. – sinister, KCH – klid před představou chůze, PCH před – představa chůze před reálným provedením chůze, PCH po – představa chůze po reálném provedení chůze, KČ – klid před představou chůze po čáře, PČ před – představa chůze po čáře před jejím reálným provedením, PČ po – představa chůze po čáře po jejím reálném provedení, µV – mikroVolt

## 7.1 Vyjádření k hypotézám na základě statistického vyhodnocení

Hypotézu **H01:** „*Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze před jejím reálným provedením ve srovnání s klidovou situací.*“ **nelze zamítnout** pro žádný z testovaných svalů.

Hypotézu **HA1:** „*Existuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze před jejím reálným provedením ve srovnání s klidovou situací.*“ **lze zamítnout** pro všechny testované svaly.

Hypotézu **H02:** „*Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po jejím reálném provedení ve srovnání s klidovou situací.*“ **zamítáme** pro m. rectus femoris dx. ( $p=0,002$ ) a m. rectus femoris sin. ( $p=0,001$ ). **Nelze zamítnout** pro m. biceps femoris dx. ( $p=0,106$ ) a m. biceps femoris sin. ( $p=0,086$ ).

Hypotézu **H<sub>A2</sub>**: „Existuje rozdíl v aktivitě svalů *mm. rectus femoris* a *mm. biceps femoris* při představě chůze po jejím reálném provedení ve srovnání s klidovou situací.“ **zamítáme** pro *m. biceps femoris dx.* ( $p=0,106$ ) a *m. biceps femoris sin.*, ( $p=0,086$ ), **nelze zamítnout** pro *m. rectus femoris dx.* ( $p=0,002$ ) a *m. rectus femoris sin.* ( $p=0,001$ ).

Hypotézu **H<sub>03</sub>**: „Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů *mm. rectus femoris* a *mm. biceps femoris* při představě chůze před jejím reálným provedením ve srovnání s představou chůze po jejím reálném provedení.“ **zamítáme** pro *m. rectus femoris dx.* ( $p=0,001$ ), **nelze zamítnout** pro *m. rectus femoris sin.* ( $p=0,021$ ), *m. biceps femoris dx.* ( $p=0,296$ ) a *m. biceps femoris sin.* ( $p=0,247$ ).

Hypotézu **H<sub>A3</sub>**: „Existuje rozdíl v aktivitě svalů *mm. rectus femoris* a *mm. biceps femoris* při představě chůze před jejím reálným provedením ve srovnání s představou chůze po jejím reálném provedení.“ **zamítáme** pro *m. rectus femoris sin.* ( $p=0,021$ ), *m. biceps femoris dx.* ( $p=0,296$ ) a *m. biceps femoris sin.* ( $p=0,247$ ), **nelze zamítnout** pro *m. rectus femoris dx.* ( $p=0,001$ ).

Hypotézu **H<sub>04</sub>**: „Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů *mm. rectus femoris* a *mm. biceps femoris* při představě chůze po čáře před jejím reálným provedením ve srovnání s klidovou situací.“ **zamítáme** pro *m. biceps femoris sin.* ( $p=0,002$ ), *m. rectus femoris dx.* ( $p=0,007$ ), *m. rectus femoris sin.* ( $p=0,001$ ), **nelze zamítnout** pro *m. biceps femoris dx.* ( $p=0,053$ ).

Hypotézu **H<sub>A4</sub>**: „Existuje rozdíl v aktivitě svalů *mm. rectus femoris* a *mm. biceps femoris* při představě chůze po čáře před jejím reálným provedením ve srovnání s klidovou situací.“ **zamítáme** pro *m. biceps femoris dx.* ( $p=0,053$ ), **nelze zamítnout** pro *m. biceps femoris sin.* ( $p=0,002$ ), *m. rectus femoris dx.* ( $p=0,007$ ), *m. rectus femoris sin.* ( $p=0,001$ ).

Hypotézu **H<sub>05</sub>**: „Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů *mm. rectus femoris* a *mm. biceps femoris* při představě chůze po čáře po jejím reálném provedení ve srovnání s klidovou situací.“ **zamítáme** pro *m. rectus femoris dx.* ( $p=0,009$ ), *m. rectus femoris sin.* ( $p=0,005$ ), **nelze zamítnout** pro *m. biceps femoris dx.* ( $p=0,603$ ), *m. biceps femoris sin.* ( $p=0,017$ ).

Hypotézu **H<sub>A5</sub>**: „Existuje rozdíl v aktivitě svalů *mm. rectus femoris* a *mm. biceps femoris* při představě chůze po čáře po jejím reálném provedení ve srovnání s klidovou

situací.“ **zamítáme** pro m. biceps femoris dx. ( $p=0,603$ ), m. biceps femoris sin. ( $p=0,017$ ), **nelze zamítnout** pro m. rectus femoris dx. ( $p=0,009$ ), m. rectus femoris sin. ( $p=0,005$ ).

Hypotézu **H06**: „*Neexistuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po čáře před jejím reálným provedením ve srovnání s představou chůze po čáře po jejím reálném provedení.*“ **zamítáme** pro m. rectus femoris dx. ( $p=0,007$ ), **nelze zamítnout** pro m. rectus femoris sin. ( $p=0,459$ ) a m. biceps femoris dx. ( $p=0,263$ ), m. biceps femoris sin. ( $p=0,370$ ).

Hypotézu **HA6**: „*Existuje rozdíl v aktivitě svalů mm. rectus femoris a mm. biceps femoris při představě chůze po čáře před jejím reálným provedením ve srovnání s představou chůze po čáře po jejím reálném provedení.*“ **zamítáme** pro m. rectus femoris sin. ( $p=0,459$ ) a m. biceps femoris dx. ( $p=0,263$ ), m. biceps femoris sin. ( $p=0,370$ ), **nelze zamítnout** pro m. rectus femoris dx. ( $p=0,007$ ).

## 8 Diskuze

Mentální trénink je jednou z nejpozoruhodnějších schopností lidské mysli. Existují experimentální důkazy o tom, že představa pohybu přispívá k podstatnému zlepšení učení pohybu a motorického výkonu. Byly také popsány terapeutické přínosy mentálního zobrazování při podpoře zotavení u pacientů s motorickými poruchami.

Dokonce je imaginace pohybu využita astronauty při přizpůsobování se neobvyklým podmínkám, jako je stav beztlíže během kosmického letu, k přípravě na rychlé změny gravitačních sil, a navíc má potenciální roli při usnadnění opětovné adaptace při návratu na Zemi po dlouhodobém vystavení mikrogravitace (Guillot a Debarnot, 2019, s. 2).

Pochopení neurálních korelátů cíleného pohybu, ať již skutečně provedeného nebo představeného, jakož i zapojení funkčních neuroanatomických sítí a celkové propojení s odbornými poznatky v oblasti představy pohybu, bylo důležitým úspěchem při kognitivním výzkumu mozku, a to zejména s rozvojem zobrazovacích technik (Guillot a Debarnot, 2019, s. 5). Experimentální důkazy naznačují, že provedení pohybu i představa pohybu sdílejí podstatné překrytí, i když neúplné, v aktivních oblastech mozku (Guillot et al., 2012, s. 1-22; Hardwick et al., 2018, s. 1-33; Hétu et al., 2013, s. 930-949; Munzert a Zentgraf, 2009, s. 219-229), a proto je zdůrazněna funkční ekvivalence mezi těmito dvěma způsoby praktického tréninku. Princip funkční ekvivalence naznačuje, že imaginace pohybu zahrnuje nervové mechanismy podobné těm, které fungují během skutečného pohybu (Jeannerod, 2001, s. 103). Prováděné pohyby a simulace toho reálného zapojují srovnatelné vzorce konektivity mezi oblastmi kortikální motoriky (Gao Duan a Chen, 2011, s. 1280-1288). Představa pohybu proto představuje účinnou metodu ke stimulaci motorických sítí mozku zprostředkujících získávání a konsolidaci dovedností (Di Rienzo, 2016, s. 1-15; Ruffino et al., 2021, s. 8-10).

Imaginární a zjevné procvičování odpovídajícího pohybu sdílí další podobnosti. Zprvce bylo zjištěno, že časový průběh mentálně simulovaných akcí je vysoce korelován s průběhem provedeného pohybu (Papaxanthis et al., 2002, s. 209-215; Podda et al., 2020, s. 1). V této časové relaci dochází k určitým systematickým zkreslením ovlivněnými několika vnějšími faktory, včetně složitosti pohybu a doby trvání (Guillot a Collet, 2005, s. 10-20; Guillot et al., 2012, s. 1-22; Rozand et al., 2016, s. 70-74). Za druhé, periferní aktivita autonomního nervového systému je vykazována před a během imaginace pohybu stejně jako ve skutečné praxi (Collet et al., 2013, s. 1-17). Ukázalo se, že představa pohybu je ovlivněna biomechanickými a motorickými omezeními (Munzert a Zentgraf, 2009, s. 219-229). Celkově vzato, tyto podobnosti mezi skutečnými a představovanými pohyby podporují představu



pohybu jako relevantní alternativu anebo doplňkový přístup k fyzickému cvičení (Guillot a Debarnot, 2019, s. 6).

## **8.1 Vliv představy pohybu na skutečný pohyb**

Studie imaginace pohybu poskytly důkazy o tom, že mozková plasticita vyskytující se během konkrétního získávání motorické sekvence pohybu skutečnou praxí se projevila i během imaginace pohybu (Jackson et al., 2003, s. 1171-1180; Lafleur et al., 2002, s. 142-157). Již studie Pascual-Leone et al. (1995, s. 1037-1045) uvádí zvětšení kortikální reprezentace cílových svalů kontrolujících motorickou sekvenci při praktikování představy pohybu, čímž poskytují jasný důkaz neuroplasticity při mentálním tréninku. V posledních letech bylo zkoumáno, jak optimálně kombinovat představu pohybu a fyzickou praxi skutečného pohybu, aby bylo dosaženo co nejlepšího výkonu. Allami et al. (2007, s. 110) ve své studii prokázali, že aplikací mentálního cvičení pohybu je dosaženo lepšího efektu, než kdyby nebylo prováděno žádné cvičení. Dále poskytli důkazy o tom, že kombinace mentálního zobrazování pohybu (imaginace alespoň v 50%, 75%) s fyzickou praxí vede k podobnému, či dokonce k lepšímu výkonu než samotné fyzické cvičení. Podobně Reiser, Büsch a Munzert (2011, s. 1-8) uvádějí zvýšení síly, pokud byla prováděna imaginace pohybu i fyzické cvičení. V klinických podmínkách Malouin et al. (2004, s. 66-75) zjistili, že jedno rehabilitační sezení zahrnující 15% imaginace pohybu a 85% fyzického cvičení vedlo ke srovnatelným motorickým výkonům jako tři týdny fyzioterapie. Stejní autoři uvádí, že předchozí praxe imaginace pohybu může snížit četnost fyzického cvičení potřebného k dosažení stejné úrovně výkonu. Tato zjištění zdůrazňují důležitost začlenění mentální simulace pohybu do tréninkových programů. Představa pohybu je obzvláště užitečná v případě omezení fyzického cvičení.

Důvodem pro zvážení použití představy pohybu jsou příznivé účinky na omezení ztráty síly. Existuje obecná shoda, že představa pohybu přispívá ke zlepšení síly (Ranganathan et al., 2004, s. 944-956; Yao et al., 2013, s. 1-6; Yue a Cole, 1992, s. 1114-1123), svalové aktivace a silového výkonu (Di Rienzo et al., 2015, s. 146-156; Grosprêtre et al., 2017, s. 209-218). Ukázalo se, že představa pohybu omezuje úbytek síly u pacientů s motorickými poruchami a osob trpících imobilizací (Clark et al., 2014, s. 3219-3226; Lebon et al., 2012, s. 45-51; Newsom, Knight a Balnave, 2003, s. 249-258). Představa pohybu se jeví jako přijatelná alternativa místo fyzického cvičení, která může kompenzovat nedostatek skutečných svalových kontrakcí, o nichž je známo, že ovlivňují senzomotorickou reprezentaci imobilizovaných částí těla (Meugnot, Almecija a Toussaint, 2014, s. 180-186). Konkrétně

úbytek senzomotorických procesů může být potlačen praktikováním kinestetické představy pohybu, zatímco při vizuálním zobrazování by se tyto příznivé účinky neobjevovaly (Meugnot, Almecija a Toussaint, 2014, s. 180-186, Stinear et al., 2006, s. 163).

Několik experimentálních studií zdůraznilo vliv cirkadiálního rytmu na přesnost představy pohybu, zejména na časovou charakteristiku (Gueugneau, Mauvieux a Papaxanthis, 2009, s. 237-245; Gueugneau a Papaxanthis, 2010, s. 620-639; Gueugneau et al., 2017, s. 142-150; Rulleau, Mauvieux a Toussaint, 2015, s. 1229-1234). Na základě těchto zjištění o účincích denní doby na přesnost motorického výkonu by se cvičení mentálního tréninku mělo provádět ideálně ve stejnou denní dobu. Aby bylo možné zjištěné poznatky správně uplatnit, je potřeba aby intervence zahrnovaly specifické školení o kognitivních aspektech mentálního tréninku, o tom jak a kdy ho optimálně aplikovat, aby bylo dosaženo co nejvyššího efektu.

V návaznosti na výše uvedené, studie Gueugneau et al. (2017, s. 142-147) poukázali, že vztah mezi rychlostí a přesností pohybů je během dne modulován nejen u skutečných, ale i u imaginovaných pohybů. Zdraví dospělí prováděli pohyby paží, které měli nasměrovat co nejpřesněji a nejrychleji k cílům různých velikostí v odlišných hodinách denní doby. Vztah mezi rychlostí a přesností je formován Fittsovým zákonem a předpovídá lineární prodloužení doby pohybu a obtížnosti úkolu. Výsledky ukázaly cirkadiální variaci s nejlepšími výkony v odpoledních hodinách i pro imaginované pohyby.

Ukázalo se, že jak mentální simulace pohybu, tak i observace pohybu spouštějí neurofyziologickou aktivaci mozku související s plánováním a prováděním dobrovolného pohybu způsobem, který se podobá skutečně prováděnému pohybu (Frenkel et al., 2014, s. 225-232; Taube et al., 2015, s. 102-114; Wright, Williams a Holmes, 2014, s. 1-9). Několik studií prokázalo, že při tréninku představy pohybu bylo u pacientů zaznamenáno významné zlepšení síly (Arya et al., 2015, s. 1738-1748; Clark et al., 2014, s. 3219-3226; Fontani et al., 2007, s. 823; Kumar, Chakrapani a Kedambadi, 2016, s. 1-4; Oostra et al., 2015, s. 204-209). Existují také důkazy týkající se zlepšení motorických dovedností účastníků, kteří trénují imaginaci pohybu se zrcadlovou terapií (Battaglia et al., 2014, s. 225-234; Sarafrazi, Abdulah a Amiri-Khorasani, 2012, s. 2356-2363). Imaginace pohybu je uznávaná jako jedna z nejvíce populárních a efektivních forem tréninku ke zlepšení strategie učení a ke zvýšení kapacity pro přesné sportovní pohyby, jak bylo pozorováno u sportovní gymnastiky (Battaglia et al., 2014, s. 225-234; Sarafrazi, Abdulah a Amiri-Khorasani, 2012, s. 2356-2363). Ve studii Collet et al. (2013, s. 1-17) prokázali, že imaginace i observace pohybu provokují excitaci sympatického systému. Dochází ke zvýšení teploty kůže a elektrodermální aktivity, projevují se změny v dýchání (Bolliet, Collet a Dittmar, 2005,

s. 195-202; Brown et al., 2012, s. 1-6; Collet et al., 2013, s. 1-17; Paccalin a Jeannerod, 2000, s. 194-200). Imaginace pohybu je intervence, která může generovat adaptivní neuroplastické změny na kortikální úrovni, které vedou ke snížení chronické bolesti (Coslett et al., 2010, s. 603-612). Je používána jako rehabilitační technika při léčbě nociceptivních stavů a při poruchách pohybového aparátu, které mohou být způsobené změnami nervového systému (Lagueux et al., 2012, s. 138-145). Frenkel et al. (2014, s. 225-232) prokázali, že ztráta funkčních schopností se u pacienta sníží, pokud je po imobilizačním procesu použita imaginace či observace pohybu, výsledkem studie byla redukce ztráty pohyblivosti zápěstí, síly a svalové hmoty. Grabherr et al. (2015, s. 157-166) studovali přesnost pohybu horní končetiny u pacientů s hemiparézou. Zjistili, že pouze při představě pohybu, nebo jen při samotném provádění pohybu, došlo ke zlepšení výkonu během šesti tréninků. Avšak ve skupině, kde bylo přidáno i mentálního zobrazování, bylo zlepšení výrazně větší. Účinnost představy pohybu je však kontroverzní, jelikož několik studií neprokázalo vliv této techniky (Demougeot et al., 2009, s. 1-8; Kingsley et al., 2013, s. 265-269). Výsledky těchto studií mohly být ovlivněny některými proměnnými, jako je doba trvání tréninku, časová náročnost, typ motorického úkolu nebo počet sezení. Studie Lossana-Ferrer et al. (2018, s. 129) zjistili, že jak samotná představa pohybu, tak trénink observace v kombinaci s programem silového úchopu rukou má vliv na významnou změnu v síle a elektromyografické aktivitě svalů předloktí, nicméně v intramuskulární oxygenaci nebyla nalezena žádná změna.

## **8.2 Vliv věku a pohlaví na schopnost představy**

Představu pohybu lze analyzovat prostřednictvím několika charakteristik jako je živost, tj. je schopnost mentálně generovat živé obrazy pohybů i pocity, dále pak timing neboli načasování představy, což je schopnost reprodukovat délku představeného pohybu (Saimpont et al., 2015, s. 196-209; Saimpont et al., 2013, s. 21-28; Schott, 2012, s. 559-583).

Zda věk a pohlaví mohou ovlivnit schopnost jedince vytvářet imaginaci pohybu, o tom je diskutováno ve více studiích (Saimpont et al., 2015, s. 196-209; Saimpont et al., 2013, s. 21-28; Schott, 2012, s. 559-583, Campos, 2014, s. 107-111). Porozumět tomu by mohlo pomoci ve zlepšení hodnocení chůze a tréninku představy v neurologické rehabilitaci. Bylo zjištěno, že starší jedinci jsou schopni generovat mentální obrazy stejně živě jako mladší jedinci (Saimpont et al., 2015, s. 196-209; Saimpont et al., 2013, s. 21-28; Malouin a Richards, 2010, s. 1122-1127), ale věkem byla představa modifikována z vizuální ve prospěch kinestetické představy (Saimpont et al., 2015, s. 196-209; Schott, 2012, s. 559-

583; Malouin a Richards, 2010, s. 1122-1127). Pokud jde o timing představy pohybu, tak mladí i starší jedinci vykonávají jednoduché pohyby velmi podobně (např. chůze vpřed) (Saimpont et al., 2013, s. 21-28, Malouin a Richards, 2010, s. 1122-1127; Kalicinski, Kempe a Bock, 2015, s. 25-38). Odlišnosti byly odhaleny při náročnějších úkolech, například při chůzi se změnami směru (Kalicinski, Kempe a Bock, 2015, s. 25-38). Byla vyvinuta imaginární verze programu Timed Up and Go (iTUG) pro klinické hodnocení vyšší úrovně kontroly chůze při měření časové délky imaginace pohybu (Beauchet et al., 2010, s. 102-106). Starší probandí s kognitivním nebo senzomotorickým postižením mají tendenci k časovým rozdílům mezi prováděním skutečného pohybu a imaginárního pohybu prostřednictvím iTUG (Beauchet et al., 2010, s. 102-106, Beauchet et al., 2015, s. 1-14; Rüdiger et al., 2017, s. 55-62). Nebyl však pozorován žádný rozdíl v živosti představy mezi pohlavími (Campos, 2014, s. 107-111; Callow a Hardy, 2004, s. 167-177), zatímco genderový efekt je diskutabilní v načasování představy. Nebyl prokázán žádný významný účinek na představu chůze, ale obecně mají muži tendenci k lepším výkonům oproti ženám v testech prostorové představivosti nebo u složitých motorických úkolů (Schott, 2012, s. 559-583; Campos, 2014, s. 107-111). Také studie Subirats et al. (2018, s. 114-117) potvrzují, že délka představy není ovlivněna přirozeným stárnutím, na rozdíl od populace s kognitivními nebo senzomotorickými poruchami (Beauchet et al., 2010, s. 102-106, Beauchet et al., 2015, s. 1-14; Rüdiger et al., 2017, s. 55-62).

### **8.3 Výzkumné metody a zapojení mozkových oblastí při představě chůze**

Výzkum v oblasti neurověd nesmírně těží z rozvoje zobrazovacích technik, jako jsou fMRI, PET, EEG. Tyto metody mohou zobrazovat mozek a vizualizovat anatomické struktury (Mac Intyre, 2018, s. 2; Munzert, Lorey a Zentgraf, 2009, s. 306; Solodkin, 2004, s. 1246). Vývoj fMRI od 90. let 20. století umožnil neinvazivní zobrazování lidského mozku během aktivních i pasivních úkolů, limitací však je, že aktivní chůzi nelze provádět přímo ve skeneru. Je ale důležité porozumět supraspinální kontrole chůze ke zlepšení terapie jejích poruch způsobených mozkovými lézemi, včetně neurodegenerativních onemocnění, jako je Parkinsonova nebo Alzheimerova choroba (Annweiler et al., 2013, s. 859-871; Peterson et al., 2014, s. 1-9). Analýza představy pohybu pomocí fMRI je však obecně zaměřena spíše na výčet oblastí aktivace za různých podmínek než na charakterizaci sítí, jež se zapojují do vytváření pohybu a chování (Solodkin, 2004, s. 1246).

Chůze je komplexní motorický projev, který se skládá z rytmických pohybů. Naučené pohybové programy jsou neustále modulovány pomocí senzomotorických systémů k zajištění

kontroly rovnováhy mezi automatickými a kognitivně řízenými procesy (Clark, 2015, s. 1-13; Mirelman, 2018, s. 122; Personnier et al., 2010, s. 146-149).

Pro chůzi je nutná interakce klíčových oblastí CNS, od generátorů v páteřní míše až po mozkovou kůru (Kiehn a Dougherty, 2013, s. 1212-1213; Rossignol, Dubuc a Gossard, 2006, s. 89; Takakusaki, 2013, s. 1483). Aby bylo možné se vypořádat se změnami v prostředí, musí být neustále integrovány multimodální senzory informace (Kiehn a Dougherty, 2013, s. 1211; Maurer et al., 2000, s. 99-102; Mirelman, 2018, s. 122).

Sledovat kortikální a subkortikální sítě, které byly aktivovány během reálné chůze, je složité kvůli technickým omezením, velikosti a hmotnosti současných skenerů magnetické rezonance (MRI). Bylo provedeno několik studií imaginace, hlavně s využitím jednofotonové emisní výpočetní tomografie (SPECT), PET a funkční spektroskopie pomocí blízkého infračerveného záření (fNIRS). SPECT a PET byly použity k prozkoumání oblastí mozku specificky aktivovaných jednak při reálné chůzi s konstantní rychlostí, tak při představě chůze (Fukuyama et al., 1997, s. 183-186; Malouin et al., 2003, s. 47-62; La Fougère et al., 2010, s. 1589-1598). Tyto metody jsou však invazivní kvůli aplikaci injekce radioaktivního indikátoru a záření. Oproti tomu se však fNIRS jeví jako slibný nástroj pro neinvazivní vyšetření mozkové aktivity během skutečné chůze (Mirelman et al., 2014, s. 1-7; Perrey, 2014, s. 1-4; Maidan et al., 2015, s. 899-908). Také EEG se uplatňuje jako elektrofyziologická technika umožňující zaznamenávat kortikální aktivitu během reálné chůze (Wagner et al., 2014, s. 1-11; Seeber et al., 2015, s. 1-9). Výhodou EEG je vysoké časové rozlišení, které chybí ve funkčním zobrazování pomocí fMRI, fNIRS, což umožňuje zkoumat neurální aktivitu během konkrétních fází chůze. EEG a fNIRS jsou však limitovány hloubkou snímání, špatným prostorovým rozlišením, což vede k obtížnému zmapování celého mozku (Torricelli et al., 2014, s. 1-23).

Zavedení paradigmatu výzkumu chůze pomocí fMRI zůstává obtížným úkolem (Sahyoun et al., 2004, s. 568-575; Mehta et al., 2009, s. 230-239; Jaeger et al., 2014, s. 1-14). Existují tři hlavní podmínky, jež by měly být splněné při zkoumání chůze pomocí fMRI. Subjekt musí ležet a neměnit polohu hlavy, jakékoli stimulační zařízení by mělo být kompatibilní s MRI a nemělo by generovat žádné artefakty v magnetickém poli. Poslední podmínkou je, že paradigma by mělo být z funkčního hlediska podobné skutečné chůzi včetně aferentní zpětné vazby (vizuální i somatosenzorické informace) a podobné kognitivní zátěže. Studie kontroly chůze využívající fMRI se často zaměřují na somatosenzorické nebo kognitivní zpracování, ale ne na jejich interakci. Získaná data jsou stále neúplná a neposkytují přesný přehled zapojení řídicích sítí při chůzi (Labriffe, 2017, s. 2). V několika

studiích byla zkoumána mozková aktivita pomocí fMRI během aktivní či pasivní dorzální a plantární flexe hlezna, což je klíčový pohyb pro chůzi (Dobkin et al., 2004, s. 370-381; Sahyoun et al., 2004, s. 568-575; Trinastic et al., 2010, s. 121-131). Nicméně tento kloubní pohyb je pouze částí komplexního cyklu chůze a nevyvolává stejný stupeň kognitivní zátěže (Labriffe, 2017, s. 2).

Kognitivní procesy byly nejčastěji prokázány při observaci a představě chůze (Bakker et al., 2008a, s. 998-1010; Iseki et al., 2008, s. 1021-1031; Wang et al., 2008b, s. 232-235; Deuschländer et al., 2009, s. 122-128; Zwergal et al., 2012, s. 1073-1084; Blumen et al., 2014, s. 4090-4104). Představa pohybu či chůze je definována jako schopnost mentálně plánovat a vykonat pohyb či chůzi bez zjevného provedení, navíc bez sensorických vstupů, které jsou během pohybu generovány (Decety, 1996, s. 87-93).

Při představě a realizaci chůze je aktivována široká neuronová síť a stejné oblasti mozku, těmi jsou suplementární motorická oblast, premotorická oblast, parietální kortikální oblast, prefrontální oblast, bazální ganglia a mozeček (Dechent, Merboldt a Frahm, 2004, s. 138-144; Grezes a Decety, 2001, s. 1-19; Hanakawa et al., 2003, s. 989-1002; Héту et al., 2013, s. 931; Jahn et al., 2008, s. 786-792; Sacco et al., 2006, s. 1441-1449; Solodkin et al., 2004, s. 1246-1255; Wagner et al., 2008, s. 247-255; Wang et al., 2008a, s. 1149-1158; La Fougère et al., 2010, s. 1589-1598; Van der Meulen et al., 2014, s. 455-470).

V některých studiích byla nalezena aktivace v primární motorické kůře (Gerardin et al., 2000, s. 1094; Porro et al. 2000, s. 3059-3063; Roth et al., 1996, s. 1280-1284; Sharma, Pomeroy a Baron, 2006, s. 1948; Wriessnegger, Brunner a Müller-Putz, 2018, s. 13). Zapojení této mozkové oblasti je sporné, jelikož její aktivace nebyla konzistentně prokázána ve všech studiích. Pokud k vybuzení došlo, pak byla méně aktivní než během skutečného pohybu (Fadiga et al., 1999, s. 147-158; Lotze et al., 1999, s. 491-501; Héту et al., 2013, s. 931). Lotze a Halsband (2006, s. 387) dodávají, že pokud by primární motorická oblast byla zodpovědná pouze za exekuci motorického pohybu, nedala by se při imaginaci pohybu očekávat žádná aktivita a pokud ano, tak z důvodu nezjištěného pohybu během představy.

La Fougère et al. (2010, s. 1589-1598) popisuje, že základní vzorce aktivace a deaktivace mozkových oblastí při reálné chůzi odpovídají zapojení při představě chůze. Jako rozdíl je uvedena aktivace primární motorické a senzomotorické kůry během skutečné chůze, zatímco suplementární motorická kůra, bazální ganglia jsou aktivována během imaginované chůze. Z toho vyplývá, že reálná chůze používá přímou cestu přes primární motorickou kůru, ale imaginovaná chůze jde nepřímou cestou přes suplementární motorickou kůru a smyčku bazálních ganglií.

Suplementární motorická oblast (SMA) je klíčová především pro plánování a přípravu volního motorického chování (Koenraadt et al., 2014, s. 415-422; La Fougère et al., 2010, s. 1589-1598; Solodkin et al., 2004, s. 1246-1255). Kromě toho je zapojena do předvídání a korekce polohy během motorických úkolů, jako je koordinace dolních končetin (Nakagawa et al., 2016, s. 1-9). Bylo také zjištěno, že aktivita SMA koreluje s rychlostí chůze (Harada et al., 2009, s. 445-454). Zdá se tedy, že SMA je významně zapojena do kontroly lidské chůze a funguje jako prostředník mezi senzomotorickými informacemi a motorickým projevem, jelikož přijímá aferentní vstupy z primární senzomotorické a parietální kůry a má projekce do primární motorické kůry a míchy (Inase et al., 1999, s. 191-201; Johansen-Berg et al., 2004, s. 13335-13340; Behrens et al., 2006, s. 220-227).

Solodkin et al. (2004, s. 1246-1255) referovali, že při imaginaci pohybu má SMA a parietální kůra výraznější negativní vliv na primární motorickou oblast. Lze to tedy interpretovat jako supresivní účinek, na jehož základě dochází k potlačení zjevných motorických pohybů při představě pohybu.

Kromě potlačení aktivity primární motorické oblasti působí SMA při imaginaci pohybu nejspíše na kortikospinální excitabilitu a na zvýšení svalového tonu, jelikož má přímé projekce do míchy. Lze spekulovat, která oblast centrálního systému, zda primární motorická oblast či SMA, je více zodpovědná za zvýšení svalové aktivity při představě pohybu (Solodkin et al., 2004, s. 1246-1255).

Premotorická oblast hraje roli při plánování a podílí se nejen na přípravě složitějších pohybů a komplexních pohybových vzorců, ale také na interně generovaných, vizuálně vedených úkolech, proto je také aktivována při imaginaci pohybu. Premotorická area je spojena hlavně s prefrontálními oblastmi a SMA především s primární motorickou oblastí (Picard a Strick, 1996, s. 342-347).

Obecně platí, že části mozkové kůry považované za součást motorické kontroly zahrnují primární motorickou kůru, premotorickou kůru a SMA. Kortikální oblasti jsou úzce spojeny s mozečkem a bazálními ganglii, což vede k rozsáhlým systémům zpětné vazby (Houck a Person, 2014, s. 378-385). Tyto smyčkové systémy umožňují kromě zpětnovazebného řízení i koordinaci a kortikální modulaci, které byly považovány za primární funkce mozečku (Ohyama et al., 2003, s. 222-227; Ramnani, 2006, s. 511-522). Nebylo však jasné, jak mozeček ovlivňuje úkoly mentální představy pohybu. Studie z roku 2016 využívající mozkovou transkraniální simulaci prokázala, že mozeček má inhibiční účinek na imaginaci pohybu a funguje tak, že brání eferentním impulzům, které jsou indukovány představou, dosáhnout míšní a kosterní svalové úrovně (Cengiz a Boran, 2016, s. 156-159).

Kromě aktivace mozečku bylo prokázáno, že představa pohybu aktivuje subkortikální motorické oblasti, jako jsou bazální ganglia (Anderson et al., 2011, s. 88-92). Představa pohybu i jeho skutečné provedení způsobí aktivaci putamen, což je oblast bazálních ganglií, která tvoří kritický uzel kortikostriatálního senzomotorického obvodu (Voon et al., 2015, s. 1-8), a je spojována s automatickým chováním pohybu (Ashby a Crossley, 2012, s. 363-376). Aktivace putamen koreluje s rychlostí a rozsahem provedených pohybů (Turner et al., 2003, s. 3958-3966), což je doloženo i tím, že poruchy bazálních ganglií související s PD vedou ke zpomalení provedených pohybů (Dickson, 2018, s. 30-33). Je známo, že pacienti s PD vykazují sníženou schopnost plnit úkoly v představě (Frak, Cohen a Pourcher, 2004, s. 1489-1492; Helmich et al., 2007, s. 2201-2215; Heremans et al., 2011, s. 168-177). Zpomalení pohybů je u těchto pacientů prokázáno i v prodloužení trvání imaginovaných pohybů (Helmich et al., 2007, s. 2201-2215; Heremans et al., 2011, s. 168-177). Putamen může regulovat rychlost pohybů, ať už jsou prováděny nebo představovány. To by také mohlo vysvětlit, proč bazální ganglia nebyla zahrnuta do observace pohybu, jelikož sledující nemá schopnost regulovat rychlost pozorovaného pohybu (Hardwick, 2018, s. 17).

#### **8.4 EMG svalová aktivita během představy pohybu**

Chůze je na představu složitější, zahrnuje nejen pohyb končetin, ale jedná se komplexní pohyb celého těla s neustálým přenosem informací o prostředí, ve kterém se jedinec pohybuje. Nejvíce studií při zkoumání představy pohybu bylo zaměřeno na pohyby horních končetin, jako je opozice palce (Heremans et al., 2011, s. 168-177), směřování na cíl (Tacchino et al., 2013, s. 561-570), úchop a stisk ruky (Tacchino et al., 2018, s. 1-10), bimanuální koordinace (Marioka et al., 2019, s. 1-9). U dolních končetin při imaginaci pohybu převládaly jednoduché pohyby (Bakker et al., 2008b, s. 2519-2527; Marusic et al., 2018, s. 1-9; Kim et al., 2017, s. 1931-1933). Počet studií zkoumajících imaginaci chůze se postupně zvyšuje (Kunz, Creem-Regehr a Thompson, 2009, s. 1458-1471; Marusic et al., 2018, s. 1-9; Sacheli et al., 2018, s. 177-187). Nicméně většina experimentů cílí spíše na aktivaci mozkových center při představě pohybu či chůze. Počet publikovaných studií zabývajících se konkrétně vlivem představy chůze na EMG svalovou aktivitu je stále nízký. Souhrný přehled studií týkajících se výskytu EMG aktivity při představě pohybu poskytli autoři Guillot a Collet (2010 in Guillot et al., 2012, s. 3-6). V sumarizaci je uveden přehled prací, v nichž byl EMG signál detekován, v jiných nebyl prokázán. Autoři uvádí, že vzhledem k mnoha odlišnostem mezi jednotlivými experimenty je obtížné vyvodit pevné závěry, proč k výsledným rozdílům dochází. Může



to být z důvodu sledování aktivity různých svalů, jiných instrukcí k provedení představy či metody záznamu EMG.

V některých studiích je metoda EMG použita pouze ke kvantifikaci nežádoucí svalové aktivity a ověření vyloučení volního pohybu, a tedy i správného provedení imaginace (Guillot et al., 2012, s. 2; Wieland, Behringer a Zentgraf, 2022, s. 58).

Mnoho studií ale potvrdilo, že představa pohybu má vliv na nárůst svalové aktivity, dokonce existují důkazy o rostoucí EMG aktivitě doprovázející zvýšené mentální úsilí v závislosti na váze představovaného předmětu (Bakker, Boschker a Chung, 1996, s. 320; Guillot et al., 2007, s. 25). Dále byl referován odlišný nárůst EMG aktivity při porovnání jednotlivých typů svalové kontrakce (koncentrické, izometrické, excentrické) při představě zvedání činky. Byla zaznamenána signifikantně zvýšená EMG aktivita ve všech sledovaných svalech, ale při excentrické kontrakci byla vyvolána výrazně slabší svalová aktivita než při ostatních kontrakcích (Guillot et al., 2007, s. 24). Lebon et al. (2008, s. 181-185) provedli obdobnou studii ve sledování svalů během flexe a extenze lokte při zvedání činky a konstatovali stejné výsledky. Aktivita svalů korelovala s typem kontrakce, nejvyšší aktivita byla při koncentrické kontrakci.

I když byla prokázána podobná aktivace korových oblastí při představě i exekuci pohybu a zvýšená kortikospinální excitabilita při imaginaci, navzdory těmto podobnostem nedochází během představy k žádnému zjevnému pohybu. To naznačuje, že centrálně generované signály musí být na určité úrovni potlačeny. Studie Wieland, Behringer a Zentgraf (2022, s. 64) referují, že imaginace pohybu nemění samotnou kontrakci, ale její neuronální iniciaci. Naznačuje, že signály generované během představy pohybu neaktivují samotný  $\alpha$  motoneuron, ale jiné struktury, jako jsou interneurony, které by mohly mít vliv na zahájení kontrakce. Další studie ukázala, že představa pohybu neovlivnila globální excitabilitu páteře, ale specifické struktury s nižší úrovní vzrušivosti. Grosprêtre et al. (2019, s. 20) uvádí, že práh aktivace části presynaptické sítě, tj. míšních interneuronů zprostředkovávajících presynaptickou inhibici, je nižší než práh motoneuronů, což jim umožňuje být citlivější na podprahový kortikální výstup generovaný při imaginaci pohybu. Tato tvrzení podporují myšlenku, že nízkoprahové signály jsou vysílané z kortexu přes míchu do svalů a lze je nalézt alespoň na míšní úrovni během představy pohybu. Vliv na periferní struktury, zejména svaly, je ještě třeba objasnit.

## **8.5 Změny svalové aktivity během představy chůze**

Cílem experimentálního měření této diplomové práce bylo zjistit změny svalové aktivity na dolních končetinách v jednotlivých situacích aspektem povrchové elektromyografie při představě chůze a její náročnější modifikaci, představě chůze po čáře. Elektromyografický signál byl snímán bilaterálně z proximálních svalů dolních končetin, z m. rectus femoris a m. biceps femoris. Byla měřena a poté hodnocena aktivita svalů v klidu a pro následné porovnání při představě chůze před a po její realizaci, aby bylo ozřejmeno, zda dochází ke zvýšení či snížení aktivity konkrétních svalů.

### **8.5.1 Posouzení změn aktivity svalů v experimentálních situacích**

Výsledky naší studie prokázaly statisticky významné snížení svalové aktivity proximálních svalů dolních končetin, jak při představě chůze, tak při představě chůze po čáře. V klidové situaci bez představy byla naměřena nejvyšší svalová aktivita, poté docházelo k postupnému snižování elektromyografické aktivity, přičemž nejnižší hodnota byla registrována během představy chůze po jejím reálném provedení. Grafické znázornění průměrných hodnot aktivity měřených svalů jsou graficky zobrazeny v kapitole Výsledky (viz Obrázek 3-6, s. 44-47).

V následujících dílčích podkapitolách byly výsledky tohoto experimentálního měření porovnány nejen se studii, ale i s jednotlivými diplomovými pracemi, jež byly na tuto problematiku zaměřeny. V minulých letech byla provedena na Univerzitě Palackého v Olomouci série měření zabývajících se svalovou aktivitou při představě komplexnějších pohybů a chůze s použitím stejné metody, povrchové elektromyografie.

### **Porovnání elektromyografické aktivity při představě chůze s klidovou situací**

Při srovnání svalové aktivity mezi klidovou situací (KCH) a představou chůze před jejím reálným provedením (PCH před) nebo po jejím reálném provedení (PCH po), můžeme z grafu (viz Obrázek 3, s. 44) zjistit signifikantní snížení svalové aktivity u více svalů. Aktivita byla signifikantně snížena u m. rectus femoris dx. a m. rectus femoris sin. při představě po realizaci chůze ve srovnání s klidovou situací bez představy.

Celkový pokles svalové aktivity, tedy z klidové pozice až po nejnižší hodnotu během představy chůze po jejím reálném provedení, byl zjištěn u m. rectus femoris dx., m. rectus femoris sin., m. biceps femoris sin., avšak bez signifikantního nálezu. Mírně zvyšující nárůst svalové aktivity byl zaznamenán u m. biceps femoris dx..

Maděrová (2019, s. 51-53) zjistila signifikantní snížení svalové aktivity během představy chůze před a po skutečném provedení ve srovnání s klidem u m. rectus femoris

bilaterálně v obou pozicích (stoj, sed), u m. biceps femoris dx. vsedě a m. erector spinae dx. ve stoji. Byl vyzorován i postupný pokles průměrné aktivity svalů v jednotlivých situacích, což je ve shodě s výsledky naší studie stejně jako pokles svalové aktivity u m. rectus femoris oboustranně. Tato zjištění byla potvrzena i v práci Ondráčkové (2019, s. 45), která referuje statisticky významné snížení u m. rectus femoris dx. při srovnání klidu s představou chůze před a po její realizaci, tak i m. rectus femoris sin. během představy chůze po její realizaci v porovnání s klidovou situací.

Pokles elektromyografické aktivity byl naměřen nejen u proximálních, ale také u distálních svalů dolních končetin během představy chůze. Müllerová (2021, s. 45-47) vyhodnocovala v identickém experimentálním měření aktivitu distálních svalů dolních končetin (m. gastrocnemius medialis a m. tibialis anterior). Byl referován statisticky významný pokles EMG aktivity u m. gastrocnemius medialis sin. při srovnání obou představ oproti klidové hodnotě (KCH x PCH před, KCH x PCH po) a m. gastrocnemius medialis dx. ve srovnání klidu a představy před realizací chůze po čáře (KČ x PČ před). I přes nižší počet signifikantních rozdílů byl také stejně jako v naší studii vyzorován mírný pokles EMG aktivity napříč jednotlivými situacemi, tzn. v klidu nejvyšší EMG aktivita, nejnižší při představě po realizaci chůze. Polehlová (2012, s. 53) uvádí prokazatelně sníženou aktivitu u m. tibialis anterior dominantní končetiny ve stoji, ale snižující trend byl nalezen i u jiných distálních svalů. Trlidová (2019, s. 34) prokázala pokles u m. gastrocnemius medialis dx. a m. tibialis anterior dx. při srovnání klidové referenční hodnoty a obou představ.

Chytilová (2020, s. 44) uvádí, že u zdravých jedinců v rámci měření nebyly prokázány statisticky významné změny aktivity žádného z testovaných svalů (měřeny proximální i distální svaly), rozdíl byl však u pacientů s CMP, kdy bylo zaznamenáno signifikantní snížení svalové aktivity u 5 z 8 testovaných svalů. Pokud by byl prokázán pokles EMG aktivity ve více výzkumech, dala by se aplikace imaginace chůze využít ke snížení svalového tonu u spasticity u pacientů po CMP.

V některých výzkumech byl prokázán signifikantní rozdíl v nárůstu elektromyografické aktivity při srovnání klidové situace vůči představě chůze před její realizací u proximálních svalů. Polehlová (2012, s. 55-56) zjistila zvýšení EMG aktivity u m. rectus femoris, m. biceps femoris, m. semitendinosus dominantní končetiny. V naší studii byl vzrůstající trend pouze u jednoho svalu (m. biceps femoris dx.).

Ovlivněním činnosti svalů dolních končetin představou chůze se zabývala i novější studie Kolářová et al. (2018, s. 1), které se zúčastnilo 27 zdravých subjektů, měření bylo podobné našemu experimentu, hodnoceny byly stejné situace (stoj bez představy, stoj

s představou chůze, reálná chůze, představa chůze po její realizaci). Byla měřena povrchová EMG aktivita ze svalů dominantní dolní končetiny - m. rectus femoris, m. biceps femoris, m. gastrocnemius medialis a m. tibialis anterior ve stoji bez představy, během představy před a po reálném provedení chůze. EMG aktivita byla zvýšena u m. rectus femoris a m. biceps femoris u představy chůze před ve srovnání s klidovým stavem, což je v rozporu s našimi výsledky. Ostatní srovnání jednotlivých situací v aktivitě svalů nevykazovaly žádné významné rozdíly.

Oproti tomu dřívější studie představy rytmické chůze naznačovala inhibiční účinek na svalovou aktivitu dolních končetin. Kolářová et al. (2016, s. 419-421) zkoumali vliv představy chůze na aktivitu proximálních a distálních svalů dolních končetin v pozici ve stoji a vsedě. Stejně výsledky, tedy statisticky významný pokles EMG aktivity byly prokázány u proximálních svalů (m. biceps femoris, m. semitendinosus) a distálních svalů dolních končetin (m. gastrocnemius medialis, m. gastrocnemius lateralis, m. tibialis anterior) při všech úkolech představy chůze v sedu, u distálních svalů pak i ve stoji (m. gastrocnemius lateralis, m. tibialis anterior). V kontrastu s naší studií bylo ale zvýšení aktivity u proximálních svalů ve stoji (m. rectus femoris, m. biceps femoris) (Kolářová et al., 2016, s. 419-420). Autoři však uvádí, že EMG signál při imaginaci chůze může být ovlivněn charakterem sensorické zpětné vazby s ohledem na výchozí pozici těla (sed, stoj) během představy (Kolářová et al., 2016, s. 414).

Ve studiích při imaginaci jednoduchých pohybů bylo detekováno zvýšení EMG svalové aktivity, ale u komplexnějšího pohybu představy chůze byl zaznamenán pokles. Příčina snížení svalové aktivity v jednotlivých situacích při představě chůze by mohla být vysvětlena samotným řízením chůze, jakožto složitého komplexního děje, který je řízený na více etážích mozku, jak na úrovni supraspinální, tak spinální, která je představována CPG v míše (Malouin a Richards, 2010, s. 248).

Exekuce a představa aktivují velkou část shodných korových center. Guillot et al. (2012, s. 16) udává, že motorické oblasti jako SMA a mozeček mohou hrát klíčovou roli v inhibici pohybu během imaginace pohybu, což také bylo prokázáno ve více studiích. Protože představa pohybu i reálné provedení sdílejí společné dráhy a mozeček má inhibiční účinek na motorickou kůru, bylo také zkoumáno, zda se jeho inhibiční vliv odráží i na motorické zobrazování. Pomocí transkraniální magnetické stimulace (TMS) bylo prokázáno, že mozeček má inhibiční účinek na imaginaci pohybu a brání eferentním impulzům, které jsou indukovány představou, dosáhnout míšní a kosterní svalové úrovně (Cengiz a Boran, 2016, s. 156-159).

V roce 2004 bylo uvedeno, že SMA funguje jako zprostředkovatel mezi senzomotorickými informacemi a motorickou kůrou, spolu s parietální kůrou mají tlumivý vliv na motorickou oblast, což při imaginaci vede k potlačení zjevných motorických projevů (Solodkin et al., 2004, s. 1252–1253). To bylo potvrzeno i novějšími výzkumy, kdy SMA byla odhalena jako významná oblast motorické inhibiční sítě během imaginace pohybu (Angelini et al., 2015, s. 18). Studie Bajaj et al. (2015, s. 578) prokázali pomocí fMRI, že SMA má supresivní vliv na primární motorickou kůru během představy pohybu a naopak působí facilitačně v případě fyzického provedení úkolu. To ukazuje, že ačkoli existují společné oblasti, které jsou sdíleny mezi imaginací a exekucí pohybu, dochází k odlišnostem v aktivaci sítí. Raffin et al. (2012 s. 588) ve svém výzkumu potvrdili přítomnost rozdílného působení na mozkové sítě mezi představou a prováděním pohybu, kdy byly zjištěny opačné účinky SMA na síť primárního motorického kortexu. Bylo konstatováno stejné zjištění, a to že motorická představivost měla negativní a provedení pohybu pozitivní, tedy opačný vliv, na spojení SMA a primární motorické oblasti. Ve shodě je i studie Kasess et al. (2008, s. 835-836), kdy odhalili silný supresivní účinek SMA na primární motorickou kůru a konstatovali, že nedostatek její aktivace během imaginace pohybu je způsoben inhibicí ze SMA. Tyto výsledky zdůrazňují důležitost SMA nejen pro přípravu a provádění zamýšlených pohybů, ale také pro potlačení pohybů, které nemají být během mentální imaginace provedeny.

Jak již bylo výše zmíněno, pro imaginovanou chůzi má zásadní význam aktivace SMA, ve které probíhá programování a simulace chůze, plán představy se poté přesouvá přes smyčku bazálních ganglií a mezencefalickou lokomoční oblast ve středním mozku sestupně přes retikulární formaci mozkového kmene až do spinální míchy (La Fougère et al., 2010, s. 1589-1598). V klidové situaci ve stoji je naměřena určitá svalová aktivita, jež je potřebná k udržení vzpřímené postury, poté dochází s imaginací pohybu k aktivaci korových oblastí, přes subkortikální až do bederní míchy, nicméně CPG facilitovány nejsou, k pohybu nedochází, jsou inhibovány, proto zřejmě dochází k poklesu svalové aktivity. Navíc činnost CPG je modulována senzoryckými vjemy z periferie, které nejsou při klidném stoji dostatečné (La Fougère et al., 2010, s. 1589-1598; Héту el al., 2013, s. 941-942; Kiehn a Dougherty, 2013, s. 1211; Mirelman, 2018, s. 122; Takakusaki, 2013, s. 1483-1491).

Vliv na snížení svalové aktivity by také mohla mít snaha testovaných jedinců úmyslně potlačit jakýkoliv volní pohyb (Lotze, Cohen, 2006, s. 135-140; Malouin et al., 2003, s. 47-62). Nejen typ motorického zobrazení se zdá být určujícím faktorem, který může ovlivnit fyziologickou aktivitu na periférii, ale důležité jsou také přesné instrukce pro daný úkol

(Munzert a Krüger, 2018, 1-5). I studie Bruno, Fossataro a Garbarini (2018, s. 14) pomocí TMS vrhli nové světlo na mechanismy mentální simulace tím, že byly cíleně upraveny instrukce dané účastníkům a prokázali tak zásadní roli motorické inhibice při imaginaci pohybu pouze na základě instrukcí k potlačení jejich exekuce. V experimentální i kontrolní skupině byli účastníci požádáni, aby mentálně simulovali opozici palce, ale pouze experimentální skupina obdržela striktní pokyn, aby se vyvarovala nechtěných pohybů prstů. U TMS byly hlášeny facilitační účinky motorického kortexu během představy i skutečného pohybu, proto byl očekáván facilitační efekt u obou skupin, nicméně u skupiny, jež byla specificky instruována, byly referovány inhibiční účinky a snížení motorických evokovaných potenciálů.

Pokud se zaměříme na metodiku našeho experimentu, byli probandi vyzváni ke klidnému stojí na tenzometrické plošině a měli se vyvarovat jakýchkoli výchylek a pohybu při jednotlivých představách chůze, tudíž byli jasně instruováni, aby byla případná exekuce pohybu potlačena. To by mohlo být odůvodnění, proč byl naměřen postupný svalový pokles aktivity svalů během jednotlivých představ při chůzi a následně i chůzi po čáře (viz další podkapitola), který tak mohl korespondovat se snahou o potlačení úmyslného pohybu.

Bylo by vhodné v dalších výzkumných měřeních při představě chůze také objasnit svalovou aktivitu i dalších svalů, např. m. gluteus medius, který je důležitý při stabilizaci pánve. Možným vysvětlením je, že pokles svalové aktivity proximálních svalů stehna nastal právě z důvodu vyšších nároků na zapojení fázických svalů, jež se aktivovaly při iniciaci chůze a slouží k provedení pohybu.

### **Porovnání elektromyografické aktivity při představě chůze po čáře s klidovou situací**

Další statisticky významné rozdíly byly zjištěny při srovnání klidové situace (KČ) s představou chůze po čáře před (PČ před) a po (PČ po) jejím reálném provedení (viz Obrázek 4, s. 45). Signifikantní pokles svalové aktivity byl prokázán u m. rectus femoris dx. i druhostranného m. rectus femoris sin., jak při porovnání situace KČ x PČ před, tak i KČ x PČ po. Obdobné zjištění bylo prokázáno u m. biceps femoris sin., avšak s tím rozdílem, že při srovnání situací KČ X PČ po, byl zaznamenán hraniční signifikantní rozdíl 0,017 (viz Tabulka 4, s. 43), který vypovídá o výrazném trendu poklesu aktivity, nicméně výsledná hodnota je stále větší než upravená hladina signifikance  $\alpha = 0,05/3$ . K signifikantnímu snížení EMG aktivity tedy došlo u 3 ze 4 testovaných svalů. U m. biceps femoris dx. došlo k nesignifikantnímu snížení aktivity při KČ x PČ před, nicméně po skutečném provedení chůze po čáře aktivita svalů při PČ po mírně vzrostla.

Pro porovnání EMG aktivity chůze po čáře bylo nalezeno jen pár prací zabývajících se touto modifikovanou chůzí. Schnitterová (2020, s. 42) konstatovala, že neshledala žádné signifikantní změny aktivity svalů dolních končetin při představě chůze po čáře oproti klidové hodnotě. Byly snímány stejné proximální svaly jako v naší studii a z distálních svalů m. gastrocnemius medialis a m. tibialis anterior. Tato zjištění jsou však v kontrastu s našimi výsledky. Ondráčková (2019, s. 53-55) referovala, že signifikantní změny svalové aktivity nebyly prokázány ani při představě chůze na slackline, nicméně byl pozorován postupný nárůst EMG aktivity. Ve shodě je práce Müllerová (2021, s. 46), která zaznamenala ve stejném měření signifikantní pokles m. gastrocnemius medialis dx. při srovnání klidu a představy chůze po čáře před provedením pohybu.

Jelikož se jednalo o ztíženou variantu běžné chůze, předpokládali jsme, že zvýšené mentální úsilí při představě a mnohem náročnější svalová koordinaci bude odrážet i zvýšenou EMG aktivitu, což se neprokázalo. Jak bylo uvedeno dříve, je možné, že při představě došlo k potlačení exekuce pohybu a inhibici svalové aktivity.

U představy chůze po čáře (Obrázek 4, s. 45) nacházíme více signifikancí poklesu EMG aktivity u více svalů v porovnání s představou běžné chůze (viz Obrázek 3, s. 44), což by mohlo mít souvislost s náročností na svalovou koordinaci při chůzi po čáře a zapojení svalů do krokového cyklu. Jak již bylo zmíněno výše, bylo prokázáno, že při excentrické kontrakci byla vyvolána výrazně slabší EMG aktivita (Guillot et al., 2007, s. 24; Lebon et al., 2008, s. 181-185). Chůze po čáře je obtížnější z důvodu přesného umístění chodidel před sebe v jedné linii, to znamená i zvýšenou náročnost ve fázi postupného zatěžování po počátečním kontaktu, kdy je flexe v kolenním kloubu brzděna excentrickou kontrakcí m. quadriceps femoris (Hamill a Knutzen, 2008; Perry a Burnfield, 2010; Rose a Gamble, 2006; Vařeka a Vařeková, 2009 in Neumannová et al., 2015, s. 14). I rychlost pohybu flexe v kolenním kloubu je kontrolována excentrickou kontrakcí m. rectus femoris v předšvihové fázi, která je konečnou částí stojné fáze (Perry a Burnfield, 2010; Rose a Gamble, 2006 in Neumannová et al., 2015, s. 16).

Pokud si představíme situaci, při chůzi po čáře jsou chodidla kladena na žlutou pásku na podlaze a dolní končetina míří do addukce. Je možné, že aktivací adduktorů a svalů spíše na mediální straně zadního stehna, může dojít k poklesu svalové aktivity m. biceps femoris bilaterálně, jež se upíná na laterální stranu dolní končetiny.

Pokud srovnáme aktivitu jednotlivých svalů v každé situaci s druhostranným svalem zjistíme, že hodnoty m. rectus femoris dx. a sin. jsou velmi podobné (viz Obrázek 5, s. 46), výkyvy a nepochybně elektromyografických hodnot však nastávají při vzájemném porovnání

u m. biceps femoris dx. a sin. v jednotlivých situacích (viz Obrázek 6, s. 47). Je zaznamenán opačný jednostranný trend vzestupu (konkrétně aktivity u m. biceps femoris dx). Jedním z vysvětlení může být nepřesné nalepení senzoru snímajícího EMG signál kvůli horší přístupnosti svalového bříška a jeho palpačnímu ozřejmění anebo z důvodu zachycení EMG aktivity okolních svalů, proto došlo ke zvýšení. Jelikož se jednalo o nárůst u tohoto svalu v obou typech chůze a výraznější nárůst po druhé představě, další interpretace je uvedena níže.

### **Porovnání elektromyografické aktivity při představě chůze/chůze po čáře před jejím reálným provedením a po reálném provedení**

Jak ovlivnilo reálné provedení pohybu EMG aktivitu svalů dolních končetin můžeme vyčíst z grafu (Obrázek 3, s. 44). Je popsán statisticky významný rozdíl u m. rectus femoris dx. při srovnání PCH před x PCH po, tak i ve stejné situaci chůze na čáře PČ před x PČ po (Obrázek 4, s. 38), kdy byl prokázán významný pokles svalové aktivity. U ostatních svalů, kromě jediného, byl zřejmý snižující se trend při představě chůze i představě chůze po čáře. Výjimkou byl m. biceps femoris dx., kde byl registrován naopak mírný nárůst svalové aktivity. Z výsledků naší studie lze tedy usoudit, že provedení reálné chůze/chůze po čáře mělo vliv na pokles EMG aktivity proximálních svalů dolních končetin.

Ke stejnému závěru při porovnání situací PCH před x PCH po dospěla ve své diplomové práci i Polehlová (2012, s. 48-56), kdy byl zjištěn signifikantní pokles EMG aktivity v pozici stoje u m. rectus femoris z proximálních svalů a m. tibialis anterior z distálních svalů dominantní končetiny. V pozici sedu pak skoro u všech měřených svalů, tedy u m. biceps femoris, m. semitendinosus z proximálních svalů a m. tibialis anterior, m. gastrocnemius medialis, m. gastrocnemius lateralis, m. peroneus longus. Shoda nastává i s prací Ondráčkové (2019, s. 45), která zaznamenala signifikantní pokles u m. rectus femoris, dokonce na obou končetinách. U distálních svalů byl naměřen signifikantní pokles u m. tibialis anterior dx. ve stoji v práci Trlidové (2019, s. 34).

Takáčová (2021, s. 39-40) ve své práci zkoumala svalovou aktivitu proximálních svalů dolních končetin (m. rectus femoris, m. biceps femoris) při představě komplexního pohybu, konkrétně se zabývala opakovaným výstupem na schod a srovnávala svalovou aktivitu při představě pohybu před provedením a poté po jeho skutečném provedení. Z výsledků byl prokázán signifikantní rozdíl svalové aktivity při porovnání situací představy před a po provedení pohybu, kdy při představě po provedení pohybu došlo ke snížení svalové aktivity, což se potvrdilo i z našich výsledků, kdy při porovnání obou představ pohybu byla zjištěna



signifikance. Kučerová (2021, s. 43-50) se ve stejném experimentu zaměřila na distální svaly dolních končetin (m. gastrocnemius medialis bilaterálně). Z hlediska svalové aktivity však nebyly zaznamenány žádné signifikantní změny, nicméně byl zřejmý trend poklesu svalové aktivity při představě pohybu po bezprostřední zkušenosti.

Pokles svalové aktivity po reálné zkušenosti by mohl být vysvětlen z hlediska motorického učení, jelikož provádění pohybové praxe vede ke zlepšení motorického výkonu, efektivity pohybu, zdokonalení posturální kontroly i svalové koordinace. Na neuromuskulární úrovni bylo toto zlepšení detekováno poklesem EMG aktivity, což potvrdilo více studií. Brueckner (2019, s. 267-268) studovali účinky motorické praxe při učení úlohy na dynamickou rovnováhu u zdravých dospělých. V souladu s výše uvedeným zjistili, že účastníci významně zlepšovali svůj balanční výkon již v průběhu provádění krátkodobého úkolu a po exekuci pohybu byl prokázán pokles EMG aktivity svalu dolních končetin.

Dalším důkazem týkajícím se zlepšení svalové koordinace a posturální kontroly související s praktikováním pohybu je práce Van Dieën, Van Leeuwen a Faber (2015, s. 2976-2977), jež studovali účinky tréninku rovnováhy na jedné noze u mladých dospělých. Po cvičení na balančním prkně byla zjištěna významná zlepšení v jednotlivých parametrech, tj. došlo ke snížení svalové aktivity i relativní síly potřebné k udržení rovnováhy. Kromě toho Silva et al. (2018, s. 237) hodnotili dopad tréninku na výkon ve stoji na jedné dolní končetině. Výsledkem bylo výrazně delší setrvání ve stoji a snížení aktivace svalů dolních končetin ve srovnání s kontrolní skupinou. Jiný pohyb pro dolní končetiny byl uplatněn ve studii Lay et al. (2002, s. 824), kde byl využit pohyb veslování na ergometru, během cvičení došlo ke zlepšení koordinace pohybu a snížení EMG aktivity m. vastus lateralis a m. biceps brachii.

Principy motorického učení by mohly být uplatněny i po krátkodobější expozici pohybu a nabytí reálné zkušenosti, kdy při srovnání první a druhé představy po realizaci chůze po čáře i volným tempem po místnosti, byl naměřen pokles EMG. Na základě výše uvedených studií lze předpokládat pokles svalové aktivity i při imaginaci známého pohybu, v našem případě chůze, jež je u zdravého dospělého jedince využívána jako zautomatizovaný děj a dennodenní aktivita.

Pokud se zaměříme na rozdílnost mezi jednotlivými situacemi a tedy možnost příčiny poklesu svalové aktivity, mohlo by to souviset se zjednodušením tvorby představy, jelikož před první představou proband pouze opticky navnímal místnost, další představa byla provedena již po uskutečnění chůze. K vytvoření vhodných vzorců svalové aktivace pro kontrolu rovnováhy těla využívá CNS zpětnou vazbu od sensorických systémů. Důležitým sensorickým vstupem je zrak, který je integrován do posturálního kontrolního

systemu spolu s proprioceptivními a vestibulárními informacemi, které jsou neméně důležité pro vytvoření kompletního vjemu (Redfern, Yardley a Bronstein, 2001, s. 92). Rozdíl byl tedy v reálné zkušenosti pohybu se všemi somatomotorickými vjemy. V důsledku toho mohla být tvorba následující představy jednodušší a nebylo potřeba takového úsilí při plánování pohybu, což se také mohlo odrazit na poklesu svalové aktivity.

Bylo referováno i samotnými probandy, že tvorba představy pohybu po jeho uskutečnění byla snadnější. To bylo také doloženo zaznamenáním subjektivní snadnosti/obtížnosti tvorby představy testovaných jedinců, kdy kvalita jednotlivých představ byla ohodnocena na hodnotící škále v obou případech níže než před reálným provedením pohybu (viz Příloha 5, s. 120). K významnému zlepšení docházelo při hodnocení chůze po čáře, která byla pro probandy na představu mnohem těžší, což by se dalo předpokládat, jelikož chůze v jedné linii je náročnější na motoriku i na soustředění, a běžně ji nevykonáváme oproti klasické přirozené chůzi. Někteří jedinci si nedokázali pohyb plně představit. Po reálné zkušenosti se kvalita představy zlepšila.

Bylo potvrzeno i v dalších diplomových pracích, že představa pohybu byla významně snazší, pokud ji předcházelo samotné vykonání pohybového úkolu (Kučerová, 2021, s. 43-50; Takáčová, 2021, s. 43), což by pak mohlo mít vliv na pokles svalové aktivity.

Guillot, Moschberger a Collet (2013, s. 8) referovali, že ke zlepšení kvality představy je vhodné kombinovat motorické zobrazování a pohyb. Dále konstatovali důležitost fyzické zkušenosti před samotným mentálním tréninkem, jelikož může přispívat k většímu překrytí aktivovaných oblastí mezi představou a exekucí pohybu.

Kvalita a schopnost představy se projevuje i v zapojení mozkových center. Vyšší kvalita představy je spojena s výraznějším zapojením motorických oblastí, jež integrují informace ze zevního i vnitřního prostředí, a účastní se vyšší kontroly chůze (Van der Meulen, 2014, s. 455). S tím je ve shodě studie Lorey et al. (2011, s. 2-4), kdy s použitím fMRI bylo prokázáno, že zvýšená živost představy pohybu koreluje se zvýšenou neurální aktivitou v motorických oblastech, konkrétně v putamen, premotorickém, parietálním, primárním i somatosenzorickém motorickém kortexu a mozečku. Jasnost a realističnost představovaného prožitku tedy vede ke zlepšení individuální výkonnosti při imaginaci a následně k silnějším vzorcům neurální aktivity.

Na základě uvedených studií je tedy předpokládáno, že provedením reálného pohybu před jeho imaginací je dosaženo zvýšení mozkové aktivity související s živostí představy pohybu v důsledku uchování provedeného motorického projevu v paměti (Wriessnegger et al., 2014, s. 5-6).

V novější studii Wriessnegger, Brunner a Müller-Putz (2018, s. 13) zkoumali rozdíly v mozkové aktivitě během dvou úloh imaginace (jednodušší mačkání míčku a složitější hraní tenisu). Zjišťovali, zda krátkodobé fyzické provedení úkolu před imaginací ovlivní kortikální dynamiku mozku. S využitím EEG byla nalezena výraznější kortikální aktivita u komplexnějšího pohybu v důsledku zintenzivnění představy pohybového úkolu po jeho fyzickém provedení. Výsledky jsou v souladu s dříve provedenou studií Wriessnegger et al. (2014, s. 2-5), v níž byla snímkována aktivace mozku pomocí fMRI u 23 zdravých dobrovolníků a bylo odhaleno, že i krátkodobý fyzický trénink před představou posílí tvorbu imaginace pohybu a faciliteje příslušné motorické oblasti mozku včetně SMA, primární motorické a premotorické kůry, ale také frontoparietální a subkortikální struktury. Výraznější aktivace center (SMA a parietální kůry) může podporovat již výše diskutovaný pokles svalové aktivity.

U jediného svalu, a to m. biceps femoris, pravostranné končetiny byl prokázán mírný nárůst svalové aktivity při druhé představě, tedy po provedení chůze i chůze po čáře, oproti první představě (viz Obrázek 3 a 4, s. 37). Navíc rozdíl hodnot byl výraznější při chůzi po čáře, z toho by se dalo usoudit, že při první představě si nebyl proband vědomý takové náročnosti pro tento sval, po projití však došlo k přehodnocení obtížnosti chůze po jedné linii a následkem toho v další představě došlo ke zvýšení svalové aktivity pro lepší zacílení. Pokud si představíme situaci a vezmeme v potaz, že většina z probandů měla dominantní pravou končetinu (19 z 20), logicky byl první krok i zaměření na žlutou pásku na podlaze proveden pravou končetinou, na kterou je kladen i větší důraz. Zvýšení svalové aktivity mohlo být také způsobeno zapojením ischiokrurálních svalů při iniciálním kontaktu, tedy úderu paty na vyznačenou čáru (Hamill a Knutzen, 2008 in Neumannová et al., 2015, s. 14).

## **8.6 Přínos pro praxi**

V posledních letech se představě pohybu či mentálnímu tréninku věnuje stále více pozornosti, jelikož je možné tuto metodu využít v mnoha oborech. Nejdříve byla zkoumána a použita u sportovců v průběhu tréninku pro zlepšení motorické dovednosti a zvýšení výkonu. Může však být aplikována i v jiných sférách jako je hudba, vzdělávání, psychologie či lékařství (Lebon et al., 2018, s. 1805; Mac Intyre et al., 2018, s. 1; Munzert, Lorey a Zentgraf, 2009, s. 307; Schuster et al., 2011, s. 1-35).

Obecně bylo prokázáno, že mentální simulace má vliv na různé aspekty realného pohybu. Zlepšuje zacílení pohybu (Kim et al., 2014, s. 173-182), sekvenci a časování pohybu

(Gentili et al., 2010, s. 774-783; Pascual-Leone et al., 1995, s. 1037-1045), a především sílu pohybu (Lebon, Collet a Guillot, 2010, s. 1680-1687; Ranganathan et al. 2004, s. 944-956).

Největší potenciál k využití představy pohybu či chůze však skýtá medicína a rehabilitační praxe. Terapie imaginací pohybu je používána jako nástroj pro pacienty s neurologickými poruchami včetně traumatického poranění mozku, Parkinsonovy choroby a mozkové obrny (Jackson et al., 2004, s. 106-111; Oostra et al., 2012, s. 828-833; Spruijt et al., 2013, s. 4154-4160). Využívá se i v terapii bolesti (MacIver et al., 2008, s. 2181-2191; Moseley, 2006, s. 2129-2134).

Představa pohybu se jeví jako slibná neurorehabilitační technika pro pacienty po CMP. Touto problematikou se zabývalo více studií. Page, Levine a Leonard (2005, s. 399-402) uvádí, že imaginace pohybu zlepšila funkci postižené končetiny v kombinaci s konvenční fyzioterapií nebo tréninkem zaměřeným na různé úkoly (Page et al., 2011, 1741-1745). Tyto prospěšné změny přetrvávaly až tři měsíce po ukončení rehabilitačních režimů. Navíc dvě randomizované kontrolované studie kombinující představu pohybu a konvenční terapii prokázaly přínos pro trénink s představou pohybu (Liu et al., 2009, s. 2222-2225; Page, Levine a Leonard 2007, 1293-1297). Metaanalýza z roku 2014 podpořila použití mentálního tréninku pro motorickou rehabilitaci horních končetin po CMP (Kho, Liu a Chung, 2014, s. 38-48). Výsledky naznačují přínos rehabilitační strategie založené na představě pohybu a je vyzdvíženo spojení s různými konvenčními terapiemi, ačkoli optimální režim dosud nebyl popsán. Celkově však bylo zjištěno, že terapie zaměřená na konkrétní úkoly byla účinnější, pokud trvala delší dobu (Tong et al., 2018, s. 367).

Bylo také zjištěno, že trénink chůze v kombinaci s mentální simulací pohybu zlepšuje rovnováhu a schopnosti chůze u pacientů po CMP. Došlo k prokazatelně výraznějším změnám v rychlosti chůze než jen při samotném tréninku chůze (Cho, Kim a Lee, 2012, s. 675-680; Oostra et al., 2015, s. 204-209).

Výhody představy pohybu jsou spatřovány v tom, že se jedná o ekonomickou, efektivní, neinvazivní a bezpečnou doplňkovou léčbu k tradiční rehabilitační terapii mozkové mrtvice, kterou by po instruktaži mohli pacienti provádět i v domácím prostředí (Barclay-Goddard, 2011, s. 2). Navíc lze imaginaci pohybu aplikovat na každou fázi rehabilitace CMP, což umožňuje pacientům začít trénovat dříve, a to i ve stavech ochablé paralýzy (Zimmermann-Schlatter et al., 2008, s. 5). Byla zkoumána i schopnost pacientů po CMP provádět představu pohybu. Výsledky systematického přehledu z roku 2016 skutečně ukazují, že pro pacienty s lézemi specifických neurálních struktur, včetně frontálního, temenního laloku a bazálních ganglií, nemusí být imaginace pohybu vhodnou rehabilitační metodou

(McInnes, Friesen a Boe, 2016, s. 478-489). Při imaginaci chůze byl prokázán i pokles EMG aktivity paretických svalů, což by se dalo uplatnit v terapii spasticity (Chytilová, 2020, s. 44).

Dále se dá představa pohybu využít i v léčbě bolesti. Bolest po poranění pohybového aparátu je hlavním rizikovým faktorem, který inhibuje zotavení, což může mít za následek špatné funkční výsledky (Silva et al., 2013, s. 369-376). Nedávný pokrok ve výzkumu bolesti ukázal na mnohostrannou složitost, která zahrnuje kognitivní, emoční, sensorické dimenze (Moseley a Flor, 2012, s. 646-652). Kromě bolesti po poranění pohybového aparátu může biomechanické omezení pohybu vést až k sekundární mobilizaci nebo může být příčinou snížené pohyblivosti jako určitá forma ochranné reakce na bolest (Colditz, 2014, s. 6-9; Oosterhoff, Nota a Ring, 2016, s. 13-17). Představa pohybu se stále více používá v rehabilitaci pro léčbu nociceptivních stavů, jako jsou například fantomové bolesti končetin (MacIver et al., 2008, s. 2181-2191; Moseley, 2006, s. 2129-2134). Představa pohybu může být prospěšná i při poranění pohybového aparátu, kde převládá bolest a snížený rozsah pohybu. Yap a Lim (2018, s. 93) potvrdili, že použití imaginace pohybu jako doplňkové terapie je efektivnější než samostatná standardní rehabilitace, která by měla vést k útlumu bolesti, zlepšení rozsahu pohybu, a to především u jedinců s chronickými, nikoli však akutními poruchami pohybového aparátu. Tím jsou podpořeny důkazy, které naznačují, že terapie zaměřující se na maladaptivní kortikální reorganizaci vznikající sekundárně u syndromů chronické bolesti, přinášejí účinné výsledky při snižování bolesti související s muskuloskeletálním aparátem.

Metanalýza Nicholson et al. (2019, s. 1-8) zahrnující 12 studií a celkem 356 účastníků uvádí, že mentální trénink představy pohybu zlepšuje mobilitu a rovnováhu u starších dospělých bez neurologického deficitu, a proto by mohl být trénink imaginace pohybu vhodnou terapií fyzioterapeutické péče u starších dospělých.

## **8.7 Limity studie**

Za jeden z největších limitů našeho výzkumu lze považovat relativně nízký počet testovaných jedinců. Celkem se experimentálního měření zúčastnilo 20 probandů ve věkovém rozmezí 49-70 let s průměrným věkem 56,7 let. Pro ověření konzistentnosti výsledků by bylo potřeba většího vzorku probandů.

Dalším limitem mohla být nepřesnost při provedení představy a při následném vyplňování dotazníků. I když se jednalo o soubor zdravých dospělých, míra schopnosti představy se individuálně liší, proto se jedná pouze o subjektivní hodnocení daného jedince. Při vyplňování dotazníků, ať před samotným měřením ke zjištění kvality představy a výběrů

vhodných probandů, tak i po jednotlivém hodnocení představ chůze ve sledovaných situacích během samotného měření, mohlo dojít k určitému zkreslení. Všichni zúčastnění byli vždy před jednotlivým úkolem řádně poučeni o přesném provedení pohybu a o typu představy (vizuální/kinestetická), bylo jim vše jednoduše vysvětleno. Pro ověření správného pochopení instrukcí byly kladeny dotazy. Na základě hodnocení kvality představy jsme dostali odezvu o jednoduchosti či obtížnosti provedení úkolu. Ke zkreslení mohlo také dojít, pokud by proband záměrně nadhodnocoval schopnost jeho představy.

Využití povrchové elektromyografie jako metody měření svalové aktivity patří k dalším limitům studie. Je důležité brát v úvahu, že konečná kvalita elektromyografického signálu může být ovlivněna mnoha faktory, ať vnějšími či vnitřními. Aktivita svalů byla snímána povrchovými senzory umístěnými na kůži, pro větší přesnost aktivity ve svalu by bylo vhodnější použít spíše jehličkovou elektromyografii, nicméně pro její invazivitu a měření během chůze je výhodnější povrchová elektromyografie. Důležitým zevním faktorem vedoucím k narušení snímání EMG signálu by mohla být špatná aplikace elektrod, konkrétně jejich špatné umístění nad palpované břicho svalu či horší přilnavost na pokožku. Tento faktor byl eliminován tím, že lepení elektrod i palpaci svalů prováděl pouze jeden fyzioterapeut.

Při představě pohybu stáli testovaní jedinci před bílou zdí s otevřenýma očima, což bylo pro některé z nich limitujícím faktorem. Na základě jejich subjektivního vjemu by se jim na představu chůze lépe soustředilo ve stoji se zavřenýma očima. Někteří probandi měli při pohledu na bílou stěnu závratě a pocit nejistoty, to by se dalo zmírnit zavřením očí.

## Závěr

Chůze je základní lokomoční stereotyp, jenž vyžaduje udržení vzpřímené, stabilní postury v kombinaci s koordinovaným pohybem dolních končetin. Jedná se o nejčastější pohybovou činnost, kterou člověk vykonává. Je důležitá nejen pro možnost pohybu a přesun jedince, ale je součástí mnoha každodenních aktivit. Má význam i v psychosociální oblasti, jelikož imobilita či poruchy chůze mohou negativně ovlivnit kvalitu života.

Jako slibná rehabilitační metoda se zdá být představa pohybu, jejíž nesporné benefity mohou využít nejen zdraví jedinci či sportovci, ale především pacienti, kteří mají omezenou hybnost či abnormality chůze. S rozvojem výzkumu v oblasti neurověd lze představu pohybu objektivizovat více technologiemi. Pro tuto práci byla vybrána metoda povrchové elektromyografie k objasnění vlivu představy na aktivitu svalů a oproti dříve publikovaným studiím, které se zaměřovaly na jednoduché pohyby končetin, byla zvolena chůze jako komplexní motorický projev.

Výsledky práce prokazují statisticky významné snížení svalové aktivity proximálních svalů dolních končetin, jak při představě běžné chůze, tak při představě chůze po čáře.

Při představě chůze byl zaznamenán signifikantní pokles svalové aktivity u m. rectus femoris dx. v těchto situacích KCH x PCH po, PCH před x PCH po, u m. rectus femoris sin. v situaci KCH x PCH po. Ve ztížené variantě, chůze po čáře, byl signifikantní pokles zjištěn u m. rectus femoris dx. při porovnání všech 3 situací vůči sobě, tzn. KČ x PČ před, KČ před x PČ po, PČ před x PČ po, u m. rectus femoris sin. při srovnání KČ x PČ před, PČ před x PČ po a u m. biceps femoris sin. PČ x PČ před. Celkově byl zaznamenán postupný pokles aktivity svalů, tj. od nejvyšších hodnot v klidové pozici až po nejnižší při představě po realizaci chůze/chůze po čáře. Ve většině článků zabývajících se vlivem představy na elektromyografickou aktivitou svalů bylo zaznamenáno zvýšení, nikoliv pokles, svalové aktivity, což zřejmě souvisí s odlišným neurálním řízením chůze oproti jednoduchým pohybům končetin.

Nejvíce signifikancí bylo zaznamenáno při představě pohybu po realizaci chůze v porovnání s klidným stojem, což souhlasí s výsledky některých publikovaných studií, jež uvádí, že prožití reálné zkušenosti má vliv na zlepšení představy, usnadnění provedení pohybu a změny v neurální aktivitě.

V návaznosti na předešlé studie lze navrhnout pro další výzkumná měření svalové aktivity při představě chůze probandy ve starší věkové kategorii či pacienty s konkrétními neurologickými diagnózami a abnormalitami chůze. Významný přínos pro objasnění

výsledků reakce svalů na představu chůze by umožnila i detekce dalších svalů dolní končetiny nebo kombinace posturálních a fázických svalových skupin. Vhodné by také bylo provádět opakovaná měření nebo v delším časovém horizontu a zjistit tak vliv představy chůze na získávání a upevňování dovedností.



## Referenční seznam

ABBRUZZESE, G., AVANZINO, L., MARCHESE, R., PELOSIN, E. 2015. Action Observation and Motor Imagery: Innovative Cognitive Tools in the Rehabilitation of Parkinson's Disease. *Parkinson's Disease* [online]. 1-9, [cit. 2021-02-10]. ISSN 2090-8083. Dostupné z: doi 10.1155/2015/124214.

ALLAMI, N., PAULIGNAN, Y., BROVELLI, A., BOUSSAOU, D. 2007. Visuo-motor learning with combination of different rates of motor imagery and physical practice. *Experimental Brain Research* [online]. 184(1), 105-113, [cit. 2022-06-14]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi 10.1007/s00221-007-1086-x.

ANDERSON, W. S., WEISS, N., LAWSON, H. Ch., OHARA, S., ROWLAND, L., A. LENZ, F. A. 2011. Demonstration of motor imagery movement and phantom movement-related neuronal activity in human thalamus. *NeuroReport* [online]. 22(2), 88-92, [cit. 2021-07-12]. ISSN 0959-4965. Dostupné z: doi 10.1097/WNR.0b013e328342c98a.

ANGELINI, M., CALBI, M., FERRARI, A., SBRISCIÀ-FIORETTI, B., FRANCA, M., GALLESE, V., UMILTÀ, M. A., DI RUSSO, F. 2015. Motor Inhibition during Overt and Covert Actions: An Electrical Neuroimaging Study. *PLOS ONE* [online]. 10(5), 1-26, [cit. 2022-06-11]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi 10.1371/journal.pone.0126800.

ANNWEILER, C., BEAUCHET, O., BARTHA, R., WELLS, J. L., BORRIE, M. J., HACHINSKI, V., MONTERO-ODASSO, M.. 2013. Motor cortex and gait in mild cognitive impairment: a magnetic resonance spectroscopy and volumetric imaging study. *Brain* [online]. 136(3), 859-871, [cit. 2021-07-07]. ISSN 0006-8950. Dostupné z: doi10.1093/brain/aws373.

ARYA, K. N., PANDIAN, S., KUMAR, D., PURI, V. 2015. Task-Based Mirror Therapy Augmenting Motor Recovery in Poststroke Hemiparesis: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases* [online]. 24(8), 1738-1748, [cit. 2021-07-12]. ISSN 10523057. Dostupné z: doi 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2015.03.026.

ASHBY, F. G., CROSSLEY, M. J. 2012. Automaticity and multiple memory systems. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science* [online]. 3(3), 363-376, [cit. 2021-07-13]. ISSN 19395078. Dostupné z: doi 10.1002/wcs.1172.

BAJAJ, S., BUTLER, A. J., DRAKE, D., DHAMALA, M. 2015. Brain effective connectivity during motor-imagery and execution following stroke and rehabilitation. *NeuroImage: Clinical* [online]. 8, 572-582, [cit. 2022-06-11]. ISSN 22131582. Dostupné z: doi 10.1016/j.nicl.2015.06.006

- BAKKER, F. C., BOSCHKER, M. S. J., CHUNG, T. 1996. Changes in Muscular Activity while Imagining Weight Lifting Using Stimulus or Response Propositions. *Journal of Sport and Exercise Psychology* [online]. 18(3), 313-324, [cit. 2021-01-08]. ISSN 0895-2779. Dostupné z: doi 10.1123/jsep.18.3.313.
- BAKKER, M., DE LANGE, F. P., HELMICH, R. C., SCHEERINGA, R., BLOEM, B. R., TONI, I. 2008a. Cerebral correlates of motor imagery of normal and precision gait. *NeuroImage* [online]. 41(3), 998-1010, [cit. 2021-07-12]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2008.03.020.
- BAKKER, M., OVEREEM, S., SNIJDERS, A. H., BORM, G., VAN ELSWIJK, G., TONI, I., BLOEM, B. R. 2008b. Motor imagery of foot dorsiflexion and gait: Effects on corticospinal excitability. *Clinical Neurophysiology* [online]. 119(11), 2519-2527, [cit. 2021-02-10]. ISSN 13882457. Dostupné z: doi 10.1016/j.clinph.2008.07.282.
- BARCLAY-GODDARD, R. E., STEVENSON, T. J., POLUHA, W., THALMAN, L. 2011. Mental practice for treating upper extremity deficits in individuals with hemiparesis after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [online]. 1-45, [cit. 2021-07-07]. ISSN 14651858. Dostupné z: doi 10.1002/14651858.CD005950.pub4.
- BATTAGLIA, C., D'ARTIBALE, E., FIORILLI, G., PIAZZA, M., TSOPANI, D., GIOMBINI, A., CALCAGNO, G., DI CAGNO, A. 2014. Use of video observation and motor imagery on jumping performance in national rhythmic gymnastics athletes. *Human Movement Science* [online]. 38, 225-234, [cit. 2021-07-13]. ISSN 01679457. Dostupné z: doi 10.1016/j.humov.2014.10.001.
- BEAUCHET, O., ANNWEILER, C., ASSAL, F., BRIDENBAUGH, S., HERRMANN, F. R., KRESSIG, R. W., ALLALI, G. 2010. Imagined Timed Up & Go test: A new tool to assess higher-level gait and balance disorders in older adults? *Journal of the Neurological Sciences* [online]. 294(1-2), 102-106, [cit. 2022-07-08]. ISSN 0022510X. Dostupné z: doi 10.1016/j.jns.2010.03.021.
- BEAUCHET, O., LAUNAY, C. P., FANTINO, B., ALLALI, G., ANNWEILER, C., CHEN, K. 2015. Respective and Combined Effects of Impairments in Sensorimotor Systems and Cognition on Gait Performance: A Population-Based Cross-Sectional Study. *PLOS ONE* [online]. 10(5), 1-14, [cit. 2021-07-08]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi 10.1371/journal.pone.0125102.
- BEHRENS, T. E. J., JENKINSON, M., ROBSON, M. D., SMITH, S. M., JOHANSEN-BERG, H. 2006. A consistent relationship between local white matter architecture and functional specialisation in medial frontal cortex. *NeuroImage* [online]. 30(1), 220-227, [cit. 2021-07-12]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2005.09.036.

- BLUMEN, H. M., HOLTZER, R., BROWN, L. L., GAZES, Y., VERGHESE, J. 2014. Behavioral and neural correlates of imagined walking and walking-while-talking in the elderly. *Human Brain Mapping* [online]. 35(8), 4090-4104, [cit. 2021-07-12]. ISSN 1065-9471. Dostupné z: doi 10.1002/hbm.22461.
- BOLLIET, O., COLLET, Ch., DITTMAR, A. 2005. Observation of Action and Autonomic Nervous System Responses. *Perceptual and Motor Skills* [online]. 101(1), 195-202, [cit. 2021-07-11]. ISSN 0031-5125. Dostupné z: doi 10.2466/pms.101.1.195-202.
- BRASS, M., BEKKERING, H., WOHLSCHLÄGER, A., PRINZ, W. 2000. Compatibility between Observed and Executed Finger Movements: Comparing Symbolic, Spatial, and Imitative Cues. *Brain and Cognition* [online]. 44(2), 124-143, [cit. 2020-11-05]. ISSN 02782626. Dostupné z: doi 10.1006/brcg.2000.1225.
- BROWN, R., JAMES, Ch., HENDERSON, L. A., MACEFIELD, V. G. 2012. Autonomic markers of emotional processing: skin sympathetic nerve activity in humans during exposure to emotionally charged images. *Frontiers in Physiology* [online]. 3, 1-6, [cit. 2021-07-11]. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi 10.3389/fphys.2012.00394.
- BRUECKNER, D., GÖPFERT, B., KISS, R., MUEHLBAUER, T. 2019. Effects of motor practice on learning a dynamic balance task in healthy young adults: A wavelet-based time-frequency analysis. *Gait & Posture* [online]. 70, 264-269, [cit. 2022-06-07]. ISSN 09666362. Dostupné z: doi 10.1016/j.gaitpost.2019.03.019.
- BRUNO, V., FOSSATARO, C., GARBARINI, F. 2018. Inhibition or facilitation? Modulation of corticospinal excitability during motor imagery. *Neuropsychologia* [online]. 111, 1-31, [cit. 2022-06-03]. ISSN 00283932. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.020>.
- BUCCINO, G., SOLODKIN, A., SMALL, S. L. 2006. Functions of the Mirror Neuron System: Implications for Neurorehabilitation. *Cognitive and Behavioral Neurology* [online]. 19(1), 55-63, [cit. 2021-04-10]. ISSN 1543-3633. Dostupné z: doi 10.1097/00146965-200603000-00007.
- BUSBY, D. F. 2016 Assessing the 'buzz' about mirror neurons: a modest theological critique. *Christian Education Journal* [online]. (13), 28-43, [cit. 2021-01-20]. ISSN 0739-8913. Dostupné z: doi 10.1177/073989131601300103.
- BUTLER, A. J., CAZEAUX, J., FIDLER, A., JANSEN, J., LEFKOVE, N., GREGG, M., HALL, C., EASLEY, K. A., SHENVI, N., WOLF, S. L. 2012. The Movement Imagery Questionnaire-Revised, Second Edition (MIQ-RS) Is a Reliable and Valid Tool for Evaluating Motor Imagery in Stroke Populations. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* [online]. 1-11, [cit. 2021-02-24]. ISSN 1741-427X. Dostupné z: doi 10.1155/2012/497289.

- BUTLER, A. J. PAGE, S. J. 2006. Mental Practice With Motor Imagery: Evidence for Motor Recovery and Cortical Reorganization After Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 87(12), 2-11, [cit. 2021-04-10]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1016/j.apmr.2006.08.326.
- CAMPOS, A. 2014. Gender differences in imagery. *Personality and Individual Differences* [online]. 59, 107-111, [cit. 2021-07-07]. ISSN 01918869. Dostupné z: doi 10.1016/j.paid.2013.12.010.
- CALLOW, N., HARDY, L. 2004. The relationship between the use of kinaesthetic imagery and different visual imagery perspectives. *Journal of Sports Sciences* [online]. 22(2), 167-177, [cit. 2021-07-11]. ISSN 0264-0414. Dostupné z: doi 10.1080/02640410310001641449.
- CENGIZ, B., BORAN, H. E. 2016. The role of the cerebellum in motor imagery. *Neuroscience Letters* [online]. 617, 156-159, [cit. 2021-07-12]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi 10.1016/j.neulet.2016.01.045.
- CLARK, B. C., MAHATO, N. K., NAKAZAWA, M., LAW, T. D., THOMAS, J. S. 2004. The power of the mind: the cortex as a critical determinant of muscle strength/weakness. *Journal of Neurophysiology* [online]. 112(12), 3219-3226, [cit. 2021-06-11]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi 10.1152/jn.00386.2014.
- CLARK, D. J. 2015 Automaticity of walking: functional significance, mechanisms, measurement and rehabilitation strategies. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 9, 1-13, [cit. 2021-07-11]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2015.00246.
- COLDITZ, J. 2014. Active redirection instead of passive motion for joint stiffness. *ASHT Times*. 21, 6-9, [cit. 2021-07-07]. Dostupné z: [https://bracelab.com/media/magefan\\_blog/PDFs/Active-Redirection-ASHT-Times\\_1.pdf](https://bracelab.com/media/magefan_blog/PDFs/Active-Redirection-ASHT-Times_1.pdf).
- COLLET, C., DI RIENZO, F., EL HOYEK, N., GUILLOT, A. 2013. Autonomic nervous system correlates in movement observation and motor imagery. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 7, 1-17, [cit. 2021-07-07]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2013.00415.
- COOK, R., BIRD, G., CATMUR, C., PRESS, C., HEYES, C. 2014. Mirror neurons: From origin to function. *Behavioral and Brain Sciences* [online]. 37(2), 177-192, [cit. 2021-01-05]. ISSN 0140-525X. Dostupné z doi: 10.1017/S0140525X13000903.
- COSLETT BRANCH, H., MEDINA, J., KLIOT, D., BURKEY, A.. 2010. Mental motor imagery and chronic pain: The foot laterality task. *Journal of the International Neuropsychological Society* [online]. 16(4), 603-612, [cit. 2021-07-13]. ISSN 1355-6177. Dostupné z: doi 10.1017/S1355617710000299.

- DAYAN, E., COHEN, L. G. 2011. Neuroplasticity Subservicing Motor Skill Learning. *Neuron* [online]. 72(3), 443-454, [cit. 2021-06-08]. ISSN 08966273. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuron.2011.10.008.
- DECETY, J., JEANNEROD, M., DUROZARD, D., BAVEREL, G. 1993. Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. *The Journal of Physiology* [online]. 461(1), 549-563, [cit. 2022-06-08]. ISSN 00223751. Dostupné z: doi 10.1113/jphysiol.1993.sp019528.
- DECHENT, P., MERBOLDT, K. D., FRAHM, J. 2004. Is the human primary motor cortex involved in motor imagery?. *Cognitive Brain Research* [online]. 19(2), 138-144, [cit. 2021-02-09]. ISSN 09266410. Dostupné z: doi 10.1016/j.cogbrainres.2003.11.012.
- DEMOUGEOT, L., NORMAND, H., DENISE, P., PAPAXANTHIS, Ch., ALEMAN, A. 2009. Discrete and Effortful Imagined Movements Do Not Specifically Activate the Autonomic Nervous System. *PLoS ONE* [online]. 4(8), 1-8, [cit. 2022-06-11]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: do 10.1371/journal.pone.0006769.
- DESMURGET, M., GRAFTON, S. 2000. Forward modeling allows feedback control for fast reaching movements. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 4(11), 423-431, [cit. 2021,-01-09]. ISSN 13646613. Dostupné z: doi 10.1016/S1364-6613(00)01537-0.
- DEUTSCHLÄNDER, A., STEPHAN, T., HÜFNER, K., WAGNER, J., WIESMANN, M., STRUPP, M., BRANDT, T., JAHN, K. 2009. Imagined locomotion in the blind: An fMRI study. *NeuroImage* [online]. 45(1), 122-128, [cit. 2021-07-12]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2008.11.029.
- DICKSON, D. W. 2018. Neuropathology of Parkinson disease. *Parkinsonism & Related Disorders* [online]. 46, 30-33, [cit. 2021-07-12]. ISSN 13538020. Dostupné z: doi 10.1016/j.parkreldis.2017.07.033.
- DICKSTEIN, R., DEUTSCH, J. E. 2007. Motor Imagery in Physical Therapist Practice. *Physical Therapy* [online]. 87 (7), 942-953, [cit. 2021-04-25]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi 10.2522/ptj.20060331.
- DIMYAN, M. A., COHEN, L. G. 2011. Neuroplasticity in the context of motor rehabilitation after stroke. *Nature Reviews Neurology* [online]. 7(2), 76-85, [cit. 2021-03-09]. ISSN 1759-4758. Dostupné z: doi 10.1038/nrneurol.2010.200.
- DI RIENZO, F., BLACHE, Y., KANTHACK, T. F. D., MONTEIL, K., COLLET, C., GUILLOT, A. 2015. Short-term effects of integrated motor imagery practice on muscle activation and force performance. *Neuroscience* [online]. 305, 146-156, [cit. 2021-07-11]. ISSN 03064522. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroscience.2015.07.080.

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* [online]. 10, 1-15, [cit. 2021-07-05]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2016.00315.

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* [online]. 23(1), 370-381, [cit. 2021-07-12]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2004.06.008.

DRISKELL, J. E., COPPER, C., MORAN, A. 1994. Does mental practice enhance performance? *Journal of Applied Psychology* [online]. 79(4), 481-492, [cit. 2021-06-08]. ISSN 0021-9010. Dostupné z: doi 10.1037//0021-9010.79.4.481.

EHRSSON, H. H., GEYER, S., NAITO, E. 2003. Imagery of Voluntary Movement of Fingers, Toes, and Tongue Activates Corresponding Body-Part-Specific Motor Representations. *Journal of Neurophysiology* [online]. 90(5), 3304-3316, [cit. 2021-06-08]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi 10.1152/jn.01113.2002.

FADIGA, L., FOGASSI, L., PAVESI, G., RIZZOLATTI, G. 1995. Motor facilitation during action observation: a magnetic stimulation study. *Journal of Neurophysiology* [online]. 73(6), 2608-2611, [cit. 2021-01-09]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi 10.1152/jn.1995.73.6.2608.

FARINA, D., NEGRO, F. 2012. Accessing the Neural Drive to Muscle and Translation to Neurorehabilitation Technologies. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering* [online]. 2012, 5, 3-14, [cit. 2022-01-10]. ISSN 1937-3333. Dostupné z: doi 10.1109/RBME.2012.2183586.

FONTANI, G., MIGLIORINI, S., BENOCCI, R., FACCHINI, A., CASINI, M., CORRADESCHI, F. 2007. Effect of Mental Imagery on the Development of Skilled Motor Actions. *Perceptual and Motor Skills* [online]. 105(3), 803-826, [cit. 2021-07-11]. ISSN 0031-5125. Dostupné z: doi 10.2466/pms.105.3.803-826.

FRAK, V., COHEN, H., POURCHER, E. 2004. A dissociation between real and simulated movements in Parkinson's disease. *NeuroReport* [online]. 15(9), 1489-1492, [cit. 2021-07-1]. ISSN 0959-4965. Dostupné z: doi 10.1097/01.wnr.0000132429.68206.48.

FRENKEL, M., HERZIG, D., GEBHARD, F., MAYER, J., BECKER, C., EINSIEDEL, T. 2014. Mental practice maintains range of motion despite forearm immobilization: A pilot study in healthy persons. *Journal of Rehabilitation Medicine* [online]. 46(3), 225-232, [cit. 2021-07-14]. ISSN 1650-1977. Dostupné z: doi 10.2340/16501977-1263.

FRIEDLOVÁ, K. 2007. *Bazální stimulace v základní ošetrovatelské péči* (1. vydání). Praha: Grada Publishing, a.s. ISBN 978-80-247-1314-4.

FRIGON, A. 2012. Central pattern generators of the mammalian spinal cord. *The Neuroscientist* [online]. 18(1), 56-69, [cit. 2020-10-20]. ISSN 1073-8584. Dostupné z: doi 10.1177/1073858410396101.

FUKUYAMA, H., OUCHI, Y., MATSUZAKI, S., NAGAHAMA, Y., YAMAUCHI, H., OGAWA, M., KIMURA, J., SHIBASAKI, H. 1997. Brain functional activity during gait in normal subjects: a SPECT study. *Neuroscience Letters* [online]. 228(3), 183-186, [cit. 2021-07-11]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi 10.1016/S0304-3940(97)00381-9.

GALLESE, V. 2005. Embodied simulation: From neurons to phenomenal experience. *Phenomenology and the Cognitive Sciences* [online]. 4(1), 23-48, [cit. 2021-01-09]. ISSN 1568-7759. Dostupné z: doi 10.1007/s11097-005-4737-z.

GALLESE, V., GOLDMAN, A. 1998. Mirror neurons and the simulation theory of mind-reading. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2(12), 493-501, [cit. 2021-01-09]. ISSN 13646613. Dostupné z: doi 10.1016/S1364-6613(98)01262-5.

GALLESE, V., LAKOFF, G. 2005. The Brain's concepts: the role of the Sensory-motor system in conceptual knowledge. *Cognitive Neuropsychology* [online]. 22(3-4), 455-479, [cit. 2021-01-09]. ISSN 0264-3294. Dostupné z: doi 10.1080/02643290442000310.

GAO, Q., DUAN, X., CHEN, H. 2011. Evaluation of effective connectivity of motor areas during motor imagery and execution using conditional Granger causality. *NeuroImage* [online]. 54(2), 1280-1288, [cit. 2021-07-05]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2010.08.071.

GENTILI, R., CAHOUE, V., BALLAY, Y., PAPAXANTHIS, Ch. 2004. Inertial properties of the arm are accurately predicted during motor imagery. *Behavioural Brain Research* [online]. 155(2), 231-239, [cit. 2021-01-09]. ISSN 01664328. Dostupné z: doi 10.1016/j.bbr.2004.04.027.

GENTILI, R., HAN, Ch. E., SCHWEIGHOFER N., PAPAXANTHIS, Ch. 2010. Motor Learning Without Doing: Trial-by-Trial Improvement in Motor Performance During Mental Training. *Journal of Neurophysiology* [online]. 104(2), 774-783, [cit. 2021-06-08]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi 10.1152/jn.00257.2010.

GERARDIN, E., SIRIGU, A., LEHÉRICY, S., POLINE, J. B., GAYMARD, B., MARSAULT, C., AGID, Y., LE BIHAN, D. 2000. Partially Overlapping Neural Networks for Real and Imagined Hand Movements. *Cerebral Cortex* [online]. 10(11), 1093-1104, [cit. 2021-01-09]. ISSN 14602199. Dostupné z: doi 10.1093/cercor/10.11.1093.

GRABHERR, L., JOLA, C., BERRA, G., THEILER, R., MAST, F. W. 2015. Motor imagery training improves precision of an upper limb movement in patients with hemiparesis.

*NeuroRehabilitation* [online]. 36(2), 157-166, [cit. 2021-07-11]. ISSN 10538135. Dostupné z: doi 10.3233/NRE-151203.

GREGG, M., HALL, C., BUTLER, A. 2010. The MIQ-RS: A Suitable Option for Examining Movement Imagery Ability. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* [online]. 7(2), 249-257, [cit. 2021-04-09]. ISSN 1741-427X. Dostupné z: doi 10.1093/ecam/nem170.

GRÈZES J., DECETY J. 2001. Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human brain mapping* [online]. 12, 1-19, [cit. 2021-02-02] ISSN 1097-0193. Dostupné z: doi 10.1002/1097-0193(200101)12:1<1::aid-hbm10>3.0.co;2-v.

GROSPRÊTRE, S., JACQUET, T., LEBON, F., PAPAXANTHIS, Ch., MARTIN, A. 2017. Neural mechanisms of strength increase after one-week motor imagery training. *European Journal of Sport Science* [online]. 18(2), 209-218, [cit. 2021-07-11]. ISSN 1746-1391. Dostupné z: doi 10.1080/17461391.2017.1415377.

GROSPRÊTRE, S., LEBON, F., PAPAXANTHIS, Ch., MARTIN, A. 2019. Spinal plasticity with motor imagery practice. *The Journal of Physiology* [online]. (3), 1-29, [cit. 2022-06-10]. ISSN 0022-3751. Dostupné z: doi 10.1113/JP276694.

GRUSH, R. 2004. The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and Brain Sciences* [online]. 27(3), 377-442, [cit. 2021-01-09]. ISSN 0140-525X. Dostupné z: doi 10.1017/S0140525X04000093.

GUEUGNEAU, N., MAUVIEUX, B., PAPAXANTHIS, Ch. 2009. Circadian Modulation of Mentally Simulated Motor Actions: Implications for the Potential Use of Motor Imagery in Rehabilitation. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 23(3), 237-245, [cit. 2021-07-12]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi 10.1177/1545968308321775.

GUEUGNEAU, N., PAPAXANTHIS, Ch. 2010. Time-of-day effects on the internal simulation of motor actions: psychophysical evidence from pointing movements with the dominant and non-dominant arm. *Chronobiology International* [online]. 27(3), 620-639, [cit. 2021-06-12]. ISSN 0742-0528. Dostupné z: do 10.3109/07420521003664205.

GUEUGNEAU, N., POZZO, T., DARLOT, Ch., PAPAXANTHIS, Ch. 2017. Daily modulation of the speed-accuracy trade-off. *Neuroscience* [online]. 356, 142-150, [cit. 2021-07-12]. ISSN 03064522. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroscience.2017.04.043.

GUILLOT, A., COLLET, C. 2005. Duration of Mentally Simulated Movement: A Review. *Journal of Motor Behavior* [online]. 37(1), 10-20, [cit. 2021-07-11]. ISSN 0022-2895. Dostupné z: doi 10.3200/JMBR.37.1.10-20.



- GUILLOT, A., DEBARNOT, U. 2019. Benefits of Motor Imagery for Human Space Flight: A Brief Review of Current Knowledge and Future Applications. *Frontiers in Physiology* [online]. 10, 1-22, [cit. 2021-07-05]. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi 10.3389/fphys.2019.00396.
- GUILLOT, A., DI RIENZO, F., MACINTYRE, T., MORAN, A., COLLET, Ch. 2012. Imagining is Not Doing but Involves Specific Motor Commands: A Review of Experimental Data Related to Motor Inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 6, 1-22, [cit. 2022-06-06]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2012.00247.
- GUILLOT, A., LEBON, F., ROUFFET, D., CHAMPELY, S., DOYON, J., COLLET, C. 2007. Muscular responses during motor imagery as a function of muscle contraction types. *International Journal of Psychophysiology* [online]. 66(1), 18-27, [cit. 2022-06-10]. ISSN 01678760. Dostupné z: doi 10.1016/j.ijpsycho.2007.05.009.
- GUILLOT, A., MOSCHBERGER, K., COLLET, Ch. 2013. Coupling movement with imagery as a new perspective for motor imagery practice. *Behavioral and Brain Functions* [online]. 9(1), 1-8, [cit. 2022-06-09]. ISSN 1744-9081. Dostupné z: doi 10.1186/1744-9081-9-8.
- GULYAEVA, N. V. 2017. Molecular mechanisms of neuroplasticity: An expanding universe. *Biochemistry (Moscow)* [online]. 82 (3), 237-242, [cit. 2021-01-05]. ISSN 0006-2979. Dostupné z: doi 10.1134/S0006297917030014.
- HANAKAWA, T., IMMISCH, I., TOMA, K., DIMYAN, M. A., VAN GELDEREN, P., HALLETT, M. 2003. Functional Properties of Brain Areas Associated With Motor Execution and Imagery. *Journal of Neurophysiology* [online]. 89(2), 989-1002, [cit. 2022-02-09]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi 10.1152/jn.00132.2002.
- HARADA, T., MIYAI, I., SUZUKI, M., KUBOTA, K. 2009. Gait capacity affects cortical activation patterns related to speed control in the elderly. *Experimental Brain Research* [online]. 193(3), 445-454, [cit. 2021-07-12]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi 10.1007/s00221-008-1643-y.
- HARDWICK, R. M., CASPERS, S., EICKHOFF, S. B., SWINNEN, S. P. 2018. Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [online]. 94, 1-33, [cit. 2021-07-05]. ISSN 01497634. Dostupné z: doi 10.1016/j.neubiorev.2018.08.003.
- HARRIS, J., HEBERT, A. 2015. Utilization of motor imagery in upper limb rehabilitation: a systematic scoping review. *Clinical Rehabilitation* [online]. 29(11), 1092-1107, [cit. 2021-02-09]. ISSN 0269-2155. Dostupné z: doi 10.1177/0269215514566248.

HELMICH, R. C., DE LANGE, F. P., BLOEM, B. R., TONI, I. 2007. Cerebral compensation during motor imagery in Parkinson's disease. *Neuropsychologia* [online]. 45(10), 2201-2215, [cit. 2021-07-12]. ISSN 00283932. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuropsychologia.2007.02.024.

HÉTU, S., GRÉGOIRE, M., SAIMPONT, A., COLL, M. P., EUGÈNE, F., MICHON, P. E., JACKSON, P. L. 2013. The neural network of motor imagery: An ALE meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [online]. 37(5), 930-949, [cit. 2021-06-08]. ISSN 01497634. Dostupné z: doi 10.1016/j.neubiorev.2013.03.017.

HEREMANS, E., FEYS, P., NIEUWBOER, A., VERCRUYSSSE, S., VANDENBERGHE, W., SHARMA, N., HELSEN, W. 2011. Motor Imagery Ability in Patients With Early- and Mid-Stage Parkinson Disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 25(2), 168-177, [cit. 2021-02-01]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi 10.1177/1545968310370750.

HEYES, C., CATMUR, C. 2022. What Happened to Mirror Neurons?. *Perspectives on Psychological Science* [online]. 17(1), 1-16, [cit. 2022-06-06]. ISSN 1745-6916. Dostupné z: doi 10.1177/1745691621990638.

HOUCK, B. D., PERSON, A. L. 2014. Cerebellar Loops: A Review of the Nucleocortical Pathway. *The Cerebellum* [online]. 13(3), 378-385, [cit. 2021-07-12]. ISSN 1473-4222. Dostupné z: doi 10.1007/s12311-013-0543-2.

HUND-GEORGIADIS, M., VON CRAMON, D. Y. 1999. Motor-learning-related changes in piano players and non-musicians revealed by functional magnetic-resonance signals. *Experimental Brain Research* [online]. 125(4), 417-425, [cit. 2021-06-08]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi 10.1007/s002210050698.

CHO, H. KIM, J., LEE, G. Ch. 2013. Effects of motor imagery training on balance and gait abilities in post-stroke patients: a randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation* [online]. 27(8), 675-680, [cit. 2021-07-12]. ISSN 0269-2155. Dostupné z: doi 10.1177/0269215512464702.

CHHOLAK, P., NISO, G., MAKSIMENKO, V. A., KURKIN, S. A., FROLOV, N. S., PITSIK, E. N., HRAMOV, A. E., PISARCHIK, A. N. 2019 Visual and kinesthetic modes affect motor imagery classification in untrained subjects. *Scientific Reports* [online]. 9(1), 1-12 [cit. 2022-05-09]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi 10.1038/s41598-019-46310-9.

CHYTILOVÁ, L. 2020. *Vliv představy chůze na svalovou aktivitu u pacientů po cévní mozkové příhodě*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc. Vedoucí práce Barbora Kolářová

ISEKI, K., HANAKAWA, T., SHINOZAKI, J., NANKAKU, M., FUKUYAMA, H. 2008. Neural mechanisms involved in mental imagery and observation of gait. *NeuroImage* [online].

41(3), 1021-1031, [cit. 2021-07-07]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2008.03.010.

INASE, M., TOKUNO, H., NAMBU, A., AKAZAWA, T., TAKADA, M. 1999. Corticostriatal and corticosubthalamic input zones from the presupplementary motor area in the macaque monkey: comparison with the input zones from the supplementary motor area. *Brain Research* [online]. 833(2), 191-201, [cit. 2021-07-12]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi 10.1016/S0006-8993(99)01531-0.

JAEGER, L., MARCHAL-CRESPO, L., WOLF, P., RIENER, R., MICHELS, L., KOLLIAS, S. 2014. Brain activation associated with active and passive lower limb stepping. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 8, 1-14, [cit. 2021-07-11]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2014.00828.

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* [online]. 82(8), 1133-1141, [cit. 2021-02-09]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1053/apmr.2001.24286.

JACKSON, P. L., LAFLEUR, M. F., MALOUIN, F., RICHARDS, C. L., DOYON, J. 2003. Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *NeuroImage* [online]. 20(2), 1171-1180, [cit. 2021-07-09]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/S1053-8119(03)00369-0.

JACKSON, P. L., DOYON, J., RICHARDS, C. L., MALOUIN, F. 2004. The Efficacy of Combined Physical and Mental Practice in the Learning of a Foot-Sequence Task after Stroke: A Case Report. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 18(2), 106-111, [cit. 2021-07-13]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi 10.1177/0888439004265249.

JAHN, K., DEUTSCHLÄNDER, A., STEPHAN, T., KALLA, R., WIESMANN, M., STRUPP, M., BRANDT, T. 2008. Imaging human supraspinal locomotor centers in brainstem and cerebellum. *NeuroImage* [online]. 39(2), 786-792, [cit. 2021-07-12]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2007.09.047.

JEANNEROD, M. 2001. Neural Simulation of Action: A Unifying Mechanism for Motor Cognition. *NeuroImage* [online]. 14(1), 103-109, [cit. 2021-02-08]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1006/nimg.2001.0832.

JOHANSEN-BERG, H., BEHRENS, T. E. J., ROBSON, M. D., DROBNJAK, I., RUSWORTH, J. M., BRADY, J. M., SMITH, S. M., HIGHAM, D. J. 2004. Changes in connectivity profiles define functionally distinct regions in human medial frontal cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 101(36), 13335-13340, [cit. 2021-07-12]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi 10.1073/pnas.0403743101.

JOHNSON, S., ROTTE, M., GRAFTON, S. T., HINRICHS, H., GAZZANIGA, M. S., HEINZE, H. J. 2002. Selective Activation of a Parietofrontal Circuit during Implicitly Imagined Prehension. *NeuroImage* [online]. 17(4), 1693-1704, [cit. 2021-02-09]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1006/nimg.2002.1265.

JU, Y., YOON, I. 2018. The effects of modified constraint-induced movement therapy and mirror therapy on upper extremity function and its influence on activities of daily living. *The Society of Physical Therapy Science* [online]. 30 (1), 77-81, [cit. 2021-01-04]. ISSN 0915-5287. Dostupné z: doi 10.1589/jpts.30.77.

KALE, S. N., DUDUL, S. V. 2009. Intelligent Noise Removal from EMG Signal Using Focused Time-Lagged Recurrent Neural Network. *Applied Computational Intelligence and Soft Computing* [online]. 2009, 1-12, [cit. 2021-01-10]. ISSN 1687-9724. Dostupné z: doi 10.1155/2009/129761.

KALICINSKI, M., KEMPE, M., BOCK, O. 2013. Motor Imagery: Effects of Age, Task Complexity, and Task Setting. *Experimental Aging Research* [online]. 41(1), 25-38, [cit. 2021-07-07]. ISSN 0361-073X. Dostupné z: doi 10.1080/0361073X.2015.978202.

KASESS, Ch., H., WINDISCHBERGER, Ch., CUNNINGTON, R., LANZENBERGER, R., PEZAWAS, L., MOSER, E. 2008. The suppressive influence of SMA on M1 in motor imagery revealed by fMRI and dynamic causal modeling. *NeuroImage* [online]. 40(2), 828-837, [cit. 2021-06-07]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2007.11.040.

KHO, A. Y., LIU, K. P. Y., CHUNG, R. C. K. 2014. Meta-analysis on the effect of mental imagery on motor recovery of the hemiplegic upper extremity function. *Australian Occupational Therapy Journal* [online]. 61(2), 38-48, [cit. 2021-06-07]. ISSN 00450766. Dostupné z: doi 10.1111/1440-1630.12084.

KIEHN, O., DOUGHERTY, K. 2013. Locomotion: Circuits and Physiology. *Neuroscience in the 21st Century* [online]. 1209-1236, [cit. 2021-06-10]. ISBN 978-1-4614-1996-9. Dostupné z: doi 10.1007/978-1-4614-1997-6\_42.

KILNER, J. M., LEMON, R. N. 2013. What we know currently about mirror neurons. *Current Biology* [online]. 223(23), 1057-1062, [cit. 2021-11-04]. ISSN 09609822. Dostupné z doi: 10.1016/j.cub.2013.10.051.

KIM, J. H., CHO, Y. S., PARK, J. S., KIM, W. J. 2017. Effect of motor imagery training and electromyogram-triggered neuromuscular electrical stimulation on lower extremity function in stroke patients: a pilot trial. *Journal of Physical Therapy Science* [online]. 29(11), 1931-1933, [cit. 2021-02-10]. ISSN 0915-5287. Dostupné z: doi 10.1589/jpts.29.1931.

KIM, M. K., CHOE, Y. W., SHIN, Y. J., PENG, Ch., CHOI, E. H. 2018. Effect of mirror use on lower extremity muscle strength of patients with chronic stroke. *Journal of Physical*

*Therapy Science* [online]. 30 (2), 213-215, [cit. 2021-11-04]. ISSN 0915-5287. Dostupné z: doi 10.1589/jpts.30.213.

KIM, W., CHANG, Y., KIM, J., SEO, J., RYU, K., LEE, E., WOO, M., JANELLE, Ch. M. 2014. An fMRI Study of Differences in Brain Activity Among Elite, Expert, and Novice Archers at the Moment of Optimal Aiming. *Cognitive and Behavioral Neurology* [online]. 27(4), 173-182, [cit. 2021-06-08]. ISSN 1543-3633. Dostupné z: doi 10.1097/WNN.0000000000000042.

KIMBERLEY, T. J., KHANDEKAR, G., SKRABA, L. L., SPENCER, J. A., VAN GORP, E. A., WALKER, S. R. 2006. Neural Substrates for Motor Imagery in Severe Hemiparesis. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 20(2), 268-277, [cit. 2022-02-09]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi 10.1177/1545968306286958.

KINGSLEY, J. D., ZAKRAJSEK, R. A., NESSER, T. W., GAGE, M. J. 2013. The Effect of Motor Imagery and Static Stretching on Anaerobic Performance in Trained Cyclists. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. 27(1), 265-269, [cit. 2021-07-13]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi 10.1519/JSC.0b013e3182541d1c.

KLEIM, J. A., JONES, T. A. 2008. Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of speech, language, and hearing research* [online]. 51(1), 225-239, [cit. 2020-11-28]. ISSN 1092-4388. Dostupné z: doi 10.1044/1092-4388(2008/018).

KOENRAADT, K. L. M., ROELOFSEN, E. G. J., DUYSSENS, J., KEIJSERS, N. L. W. 2014. Cortical control of normal gait and precision stepping: An fNIRS study. *NeuroImage* [online]. 85, 415-422 [cit. 2021-06-12]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2013.04.070.

KOLÁŘ, P. et al. 2009. *Rehabilitace v klinické praxi* (1. vydání). Praha: Galén. ISBN 978-80-7262-657-1.

KOLÁŘOVÁ, B., KROBOT, A., POLEHLOVÁ, K., HLUŠTÍK, P. a RICHARDS, J., D. 2016. Effect of Gait Imagery Tasks on Lower Limb Muscle Activity With Respect to Body Posture. *Perceptual and Motor Skills* [online]. 122(2), 411-431, [cit. 2021-06-10]. ISSN 0031-5125. Dostupné z: doi 10.1177/0031512516640377.

KOLÁŘOVÁ, B., MARKOVÁ, M., STACHO, J., SZMEKOVÁ, L. 2014. *Počítačové a robotické technologie v klinické rehabilitaci-možnosti vyšetření a terapie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4266-2.

KOLÁŘOVÁ, B., STACHO, J., JIRÁČKOVÁ, M., KONEČNÝ P., NAVRÁTILOVÁ, L. 2019. *Počítačové a robotické technologie v klinické rehabilitaci*. 2., přepracované a doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-5403-0.

KOLÁŘOVÁ, B., TOMSA, M., RICHARDS, J., KOLÁŘ, P., ONDRÁČKOVÁ, H. 2018. P 025 - Lower limb muscles activity during imagination of gait. *Gait & Posture* [online]. 65, 1, [cit. 2022-06-11]. ISSN 09666362. Dostupné z: doi 10.1016/j.gaitpost.2018.06.182.

KRÁLÍČEK, P. 2004. *Úvod do speciální neurofyzologie* (2. vydání). Praha: Karolinum. ISBN: 80-246-0350-0.

KUČEROVÁ, V. 2021. *Vliv představy pohybu na svalovou aktivitu dolních končetin*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc. Vedoucí práce Marek Tomsa.

KUMAR, V. K., CHAKRAPANI, M., KEDAMBADI, R. 2016. Motor Imagery Training on Muscle Strength and Gait Performance in Ambulant Stroke Subjects-A Randomized Clinical Trial. *Journal of clinical and diagnostic research* [online]. 10(3), 1-4, [cit. 2022-06-11]. ISSN 2249782X. Dostupné z: doi 10.7860/JCDR/2016/16254.7358.

KUNZ, B. R., CREEM-REGEHR, S. H., THOMPSON, W. B. 2009. Evidence for motor simulation in imagined locomotion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* [online]. 35(5), 1458-1471, [cit. 2021-02-12]. ISSN 1939-1277. Dostupné z: doi 10.1037/a0015786.

LABRIFFE, M., ANNWEILER, C., AMIROVA, L. E., GAUQUELIN-KOCH, G., MINASSIAN, A. T., LEIBER, L. M., BEAUCHET, O., CUSTAUD, M. A., DINOMAIS, M. 2017. Brain Activity during Mental Imagery of Gait Versus Gait-Like Plantar Stimulation: A Novel Combined Functional MRI Paradigm to Better Understand Cerebral Gait Control. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 11, 1-15, [cit. 2021-07-14]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2017.00106.

LACOURSE, M. G., TURNER, J. A., RANDOLPH-ORR, E., SCHANDLER, S. L., COHEN, M. J. 2004. Cerebral and cerebellar sensorimotor plasticity following motor imagery-based mental practice of a sequential movement. *The Journal of Rehabilitation Research and Development* [online]. 41(4), 505-524, [cit. 2021-01-09]. ISSN 0748-7711. Dostupné z: doi 10.1682/JRRD.2004.04.0505.

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* [online]. 16(1), 142-157, [cit. 2021-07-11]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1006/nimg.2001.1048.

LA FOUGÈRE, Ch., ZWERGAL, A., ROMINGER, A. FÖRSTER S., FESL G., DIETERICH M., BRANDT T., STRUPP M., BARTENSTEIN P., JAHN K. 2010. Real versus imagined locomotion: A [18F]-FDG PET-fMRI comparison. *NeuroImage* [online]. 50(4), 1589-1598, [cit. 2021-07-07]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2009.12.060.

LAGUEUX, E., CHAREST, J., LEFRANÇOIS-CARON, E., MAUGER, M. E., MERCIER, E., SAVARD, K., TOUSIGNANT-LAFLAMME, Y. 2012. Modified graded motor imagery for complex regional pain syndrome type 1 of the upper extremity in the acute phase. *International Journal of Rehabilitation Research* [online]. 35(2), 138-145, [cit. 2021-07-14]. ISSN 0342-5282. Dostupné z: doi 10.1097/MRR.0b013e3283527d29.

LAY, B. S., SPARROW, W. A., HUGHES, K. M., O'DWYER, N. J. 2002. Practice effects on coordination and control, metabolic energy expenditure, and muscle activation. *Human Movement Science* [online]. 21(5-6), 807-830 [cit. 2022-06-09]. ISSN 01679457. Dostupné z: doi 10.1016/S0167-9457(02)00166-5.

LEBON, F., COLLET, Ch., GUILLOT, A. 2010. Benefits of Motor Imagery Training on Muscle Strength. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. 24(6), 1680-1687, [cit. 2021-06-08]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi 10.1519/JSC.0b013e3181d8e936.

LEBON, F., GUILLOT, A., COLLET, Ch. 2012. Increased Muscle Activation Following Motor Imagery During the Rehabilitation of the Anterior Cruciate Ligament. *Applied Psychophysiology and Biofeedback* [online]. 37(1), 45-51, [cit. 2021-06-12]. ISSN 1090-0586. Dostupné z: doi 10.1007/s10484-011-9175-9.

LEBON, F., HORN, U., DOMIN, M., LOTZE, M. 2018. Motor Imagery training: Kinesthetic imagery strategy and inferior parietal fMRI activation. *Human brain mapping* [on-line]. 39, 1805-1813, [cit. 2021-06-08] ISSN 1097-0193. Dostupné z: doi 10.1002/hbm.23956.

LEBON, F., ROUFFET, D., COLLET, C., GUILLOT, A. 2008. Modulation of EMG power spectrum frequency during motor imagery. *Neuroscience Letters* [online]. 435(3), 181-185, [cit. 2022-06-10]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi 10.1016/j.neulet.2008.02.033.

LIU, K. P., CHAN, Ch. C., LEE, T. M., HUI-CHAN, Ch. W. 2004. Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 85(9), 1403-1408, [cit. 2021-02-10]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1016/j.apmr.2003.12.035.

LIU, K. P. Y., CHAN, Ch., C. H., WONG, R. S. M., KWAN, I. W. L., YAU, Ch. S. F., LI, L. S. W., LEE, T. M. C. 2009. A Randomized Controlled Trial of Mental Imagery Augment Generalization of Learning in Acute Poststroke Patients. *Stroke* [online]. 40(6), 2222-2225, [cit. 2021-07-12]. ISSN 0039-2499. Dostupné z: doi 10.1161/STROKEAHA.108.540997.

LIVESAY, J. R., SAMARAS, M. R. 1998. Covert Neuromuscular Activity of the Dominant Forearm during Visualization of a Motor Task. *Perceptual and Motor Skills* [online]. 86(2), 371-374, [cit. 2021-06-08]. ISSN 0031-5125. Dostupné z: doi 10.2466/pms.1998.86.2.371.

LOREY, B., PILGRAMM, S, BISCHOFF, M., STARK, R., VAITL, D., KINDERMANN, S., MUNZERT, J., ZENTGRAF, K. 2011. Activation of the Parieto-Premotor Network Is

Associated with Vivid Motor Imagery-A Parametric fMRI Study. *PLoS ONE* [online]. 6(5), 1-10, [cit. 2022-06-09]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi 10.1371/journal.pone.0020368.

LOSANA-FERRER, A., MANZANAS-LÓPEZ, S., CUENCA-MARTÍNEZ, F., PARIS-ALEMANY, A., LA TOUCHE, R. 2018. Effects of motor imagery and action observation on hand grip strength, electromyographic activity and intramuscular oxygenation in the hand gripping gesture: A randomized controlled trial. *Human Movement Science* [online]. 58, 119-131, [cit. 2021-07-14]. ISSN 01679457. Dostupné z: doi 10.1016/j.humov.2018.01.011.

LOTZE, M., COHEN, L. G. 2006. Volition and imagery in neurorehabilitation. *Behavioral and Cognitive Neurology* [online]. 19, 135-140, [cit. 2020-11-30]. ISSN 1543-3641. Dostupné z: doi 10.1097/01.wnn.0000209875.56060.06.

LOTZE, M., HALSBAND, U. 2006. Motor imagery. *Journal of physiology* [online]. 99 (4-6), 386-395, [cit. 2021-02-21]. ISSN 1769-7115. Dostupné z: doi 10.1016/j.jphysparis.2006.03.012.

MACINTYRE, T. E., MADAN, Ch., R., MORAN, A. P., COLLET, Ch., GUILLOT, A. 2018. Motor imagery, performance and motor rehabilitation. *Sport and the Brain: The Science of Preparing, Enduring and Winning, Part C* [online]. 1-19, [cit. 2022-05-09]. Progress in Brain Research. ISBN 9780444641878. Dostupné z: doi 10.1016/bs.pbr.2018.09.010.

MACIVER, K., LLOYD, D. M., KELLY, S., ROBERTS, N., NURMIKKO, T. 2008. Phantom limb pain, cortical reorganization and the therapeutic effect of mental imagery. *Brain* [online]. 131(8), 2181-2191, [cit. 2021-07-15]. ISSN 1460-2156. Dostupné z: doi 10.1093/brain/awn124.

MACKAY-LYONS, M. 2002. Central pattern generation of locomotion: a review of the evidence. *Physical Therapy* [online]. 82 (1), 69-83, [cit. 2021-02-20]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi 10.1093/ptj/82.1.69.

MADĚROVÁ, K. 2019. *Představa chůze v obraze povrchové elektromyografie*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc. Vedoucí práce Marek Tomsa.

MAEDA, F., KLEINER-FISMAN, G., PASCUAL-LEONE, A. 2002. Motor Facilitation While Observing Hand Actions: Specificity of the Effect and Role of Observer's Orientation. *Journal of Neurophysiology* [online]. 87(3), 1329-1335, [cit. 2021-01-09]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi 10.1152/jn.00773.2000.

MAIDAN, I., BERNAD-ELAZARI, H., GAZIT, E., GILADI, N., HAUSDORFF, J. M., MIRELMAN, A. 2015. Changes in oxygenated hemoglobin link freezing of gait to frontal activation in patients with Parkinson disease: an fNIRS study of transient motor-cognitive failures. *Journal of Neurology* [online]. 262(4), 899-908, [cit. 2021-07-11]. ISSN 0340-5354. Dostupné z: doi 10.1007/s00415-015-7650-6.



MALOUIN, F., RICHARDS, C. L. 2010. Mental Practice for Relearning Locomotor Skills. *Physical Therapy* [on-line]. 90(2), 240–251, [cit. 2021-06-15]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi:10.2522/ptj.20090029.

MALOUIN, F., RICHARDS, C. L., JACKSON, P. L., DUMAS, F., DOYON, J. 2003. Brain activations during motor imagery of locomotor-related tasks: A PET study. *Human Brain Mapping* [online]. 19(1), 47-62, [cit. 2022-06-08]. ISSN 1065-9471. Dostupné z: doi 10.1002/hbm.10103.

MALOUIN, F., RICHARDS, C. L., DOYON, J., DESROSIERS, J., BELLEVILLE, S. 2004. Training Mobility Tasks after Stroke with Combined Mental and Physical Practice: A Feasibility Study. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 18(2), 66-75, [cit. 2021-07-11]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi 10.1177/0888439004266304.

MALOUIN, F., RICHARDS, C. L., DURAND, A. 2010. Normal Aging and Motor Imagery Vividness: Implications for Mental Practice Training in Rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 91(7), 1122-1127, [cit. 2021-07-08]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1016/j.apmr.2010.03.007.

MANKAR, R., V. 2011. EMG Signal Noise Removal Using Neural Networks. *Advances in Applied Electromyography*, MIZRAHI, Joseph, ed. [online]. InTech, [cit. 2022-06-12]. ISBN 978-953-307-382-8. Dostupné z: doi:10.5772/23780.

MARSHALL, J. 2014. Mirror neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 111(18), 6531-6531, [cit. 2020-11-03]. ISSN 0027-8424. Dostupné z doi: 10.1073/pnas.1404652111.

MARUSIC, U., GROSPRÊTRE, S., PARAVLIC, A., KOVAČ, S., PIŠOT, R., TAUBE, W. 2018. Motor Imagery during Action Observation of Locomotor Tasks Improves Rehabilitation Outcome in Older Adults after Total Hip Arthroplasty. *Neural Plasticity* [online]. 1-9, [cit. 2021-02-10]. ISSN 2090-5904. Dostupné z: doi 10.1155/2018/5651391.

MATTAR, A. A. G., GRIBBLE, P. L. 2005. Motor Learning by Observing. *Neuron* [online]. 46(1), 153-160, [cit. 2021-02-09]. ISSN 08966273. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuron.2005.02.009.

MAURER, C., MERGNER, T., BOLHA, B., HLAVACKA, F. 2000. Vestibular, visual, and somatosensory contributions to human control of upright stance. *Neuroscience Letters* [online]. 281(2-3), 99-102, [cit. 2021-07-11]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi 10.1016/S0304-3940(00)00814-4.

MCINNES, K., FRIESEN, Ch., BOE, S. 2016. Specific Brain Lesions Impair Explicit Motor Imagery Ability: A Systematic Review of the Evidence. *Archives of Physical*

*Medicine and Rehabilitation* [online]. 97(3), 478-489, [cit. 2021-07-07]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1016/j.apmr.2015.07.012.

MEHTA, J. P., VERBER, M. D., WIESER, J. A., SCHMIT, B. D., SCHINDLER-IVENS, S. M. 2009. A novel technique for examining human brain activity associated with pedaling using fMRI. *Journal of Neuroscience Methods* [online]. 179(2), 230-239, [cit. 2021-07-10]. ISSN 01650270. Dostupné z: doi 10.1016/j.jneumeth.2009.01.029.

MEISTER, I. G, KRINGS, T., FOLTYS, H., BOROOJERDI, B., MÜLLER, M., TÖPPER, R., THRON, A. 2004. Playing piano in the mind-an fMRI study on music imagery and performance in pianists. *Cognitive Brain Research* [online]. 19(3), 219-228, [cit. 2022-02-09]. ISSN 09266410. Dostupné z: doi 10.1016/j.cogbrainres.2003.12.005.

MEUGNOT, A., ALMECIJA, Y., TOUSSAINT, L 2014. The Embodied Nature of Motor Imagery Processes Highlighted by Short-Term Limb Immobilization. *Experimental Psychology* [online]. 61(3), 180-186, [cit. 202-07-12]. ISSN 1618-3169. Dostupné z: doi 10.1027/1618-3169/a000237.

MIRELMAN, A., MAIDAN, I., BERNAD-ELAZARI, H., NIEUWHOF, F., REELICK, M., GILADI, N., HAUSDORFF, J. M. 2014. Increased frontal brain activation during walking while dual tasking: an fNIRS study in healthy young adults. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 11(1), 1-7, [cit. 2021-07-10]. ISSN 1743-0003. Dostupné z: doi 10.1186/1743-0003-11-85.

MIRELMAN, A., SHEMA, S., MAIDAN, I., HAUSDORF, J. M. 2018. Gait. In: AMINOFF, M. J., BOLLER, F., SWAAB, D. F. *Handbook of Clinical Neurology* [online]. 119-134, [cit. 2021-02-05]. ISBN 978-0444639165. Dostupné z: doi 10.1016/b978-0-444-63916-5.00007-0.

MONSMA, E. V., SHORT, S. E., HALL, C. R., GREGG, M., SULLIVAN, P. 2009. Psychometric Properties of the Revised Movement Imagery Questionnaire (MIQ-R). *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity* [online]. 4(1), 1-12, [cit. 2021-04-09]. ISSN 1932-0191. Dostupné z: doi 10.2202/1932-0191.1027.

MORIOKA, S., OSUMI, M., NISHI, Y., ISHIGAKI, T., ISHIBASHI, R., SAKAUCHI, T., TAKAMURA, Y., NOBUSAKO, S. 2019. Motor-imagery ability and function of hemiplegic upper limb in stroke patients. *Annals of Clinical and Translational Neurology* [online]. 6(3), 1-9, 596-604, [cit. 2021-02-01]. ISSN 2328-9503. Dostupné z: doi 10.1002/acn3.739.

MOSELEY, G. L. 2006. Graded motor imagery for pathologic pain: A randomized controlled trial. *Neurology* [online]. 67(12), 2129-2134, [cit. 2021-07-06]. ISSN 0028-3878. Dostupné z: doi 10.1212/01.wnl.0000249112.56935.32.

MOSELEY, G., L., FLOR, H. 2012. Targeting Cortical Representations in the Treatment of Chronic Pain. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 26(6), 646-652, [cit. 2021-07-07]. ISSN 1545-9683. Dostupné z: doi 10.1177/1545968311433209.

MULDER, T. 2007. Motor imagery and action observation: cognitive tools for rehabilitation. *Journal of Neural Trasmision* [online]. 114(10), 1265-1278, [cit. 2021-02-05]. ISSN 0300-9564. Dostupné z: doi 10.1007/s00702-007-0763-z.

MULDER, T., DE VRIES, S., ZIJLSTRA, S. 2005. Observation, imagination and execution of an effortful movement: more evidence for a central explanation of motor imagery. *Experimental Brain Research* [online]. 163(3), 344-351, [cit. 2021-01-02]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi 10.1007/s00221-004-2179-4.

MULDER, T., ZIJLSTRA, S., ZIJLSTRA, W., HOCHSTENBACH, J. 2004. The role of motor imagery in learning a totally novel movement. *Experimental Brain Research* [online]. 154(2), 211-217, [cit. 2020-12-15]. ISSN 00144819. Dostupné z: doi 10.1007/s00221-003-1647-6.

MÜLLEROVÁ, B. 2021. *Efekt představy chůze aspektem povrchové elektromyografie*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc. Vedoucí práce Hana Haltmar.

MUNZERT, J., KRÜGER, B. 2018 Task-Specificity of Muscular Responses During Motor Imagery: Peripheral Physiological Effects and the Legacy of Edmund Jacobson. *Frontiers in Psychology* [online]. 9, 1-5, [cit. 2022-06-12]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi 10.3389/fpsyg.2018.01869.

MUNZERT, J., LOREY, B., ZENTGRAF, K., 2009. Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain research review Journal* [online]. 60(2), 306-326, [cit. 2021-01-15]. ISSN 01650173. Dostupné z: doi 10.1016/j.brainresrev.2008.12.024.

MUNZERT, J., ZENTGRAF, K. 2009. Motor imagery and its implications for understanding the motor system. *Mind and Motion: The Bidirectional Link between Thought and Action* [online]. 219-229, [cit. 2021-07-05]. Progress in Brain Research. ISBN 9780444533562. Dostupné z: doi 10.1016/S0079-6123(09)01318-1.

MURATA, Y., HIGO, N., HAYASHI, T., NISHIMURA, Y., SUGIYAMA, Y., OISHI, T., TSUKADA, H., ISA, T., ONOE, H. 2015. Temporal Plasticity Involved in Recovery from Manual Dexterity Deficit after Motor Cortex Lesion in Macaque Monkeys. *Journal of Neuroscience* [online]. 35 (1), 84-95, [cit. 2020-12-10]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi 10.1523/JNEUROSCI.1737-14.2015.

NAITO, E., KOCHIYAMA, T., KITADA, R., NAKAMURA, S., MATSUMURA, M., YONEKURA, Y., SADATO, N. 2002. Internally Simulated Movement Sensations during

Motor Imagery Activate Cortical Motor Areas and the Cerebellum. *The Journal of Neuroscience* [online]. 22(9), 3683-3691, [cit. 2021-06-08]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi 10.1523/JNEUROSCI.22-09-03683.2002.

NAKAGAWA, K., KAWASHIMA, S., MIZUGUCHI, N., KANOSUE, K. 2016. Difference in Activity in the Supplementary Motor Area Depending on Limb Combination of Hand-Foot Coordinated Movements. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 10, 1-9, [cit. 2021-07-12]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2016.00499.

NEČAS, E. 2000. *Obecná patologická fyziologie*. Praha: Karolinum. ISBN 80-246-0051-X.

NEUMANNOVÁ, K., JANURA, M., DZIRBÍKOVÁ, Z., SVOBODA, Z. JAKUBEC, L. 2015. *Analýza chůze u osob s chronickou obstrukční plicní nemocí* (1. vydání). Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4704-9.

NEWSOM, J., KNIGHT, P, BALNAVE, R.. 2003. Use of Mental Imagery to Limit Strength Loss after Immobilization. *Journal of Sport Rehabilitation* [online]. 12(3), 249-258, [cit. 2021-07-12]. ISSN 1056-6716. Dostupné z: doi 10.1123/jsr.12.3.249.

NICHOLSON, V. P., KEOGH, J. W. L., LOW CHOY, N. L. 2018. Can a single session of motor imagery promote motor learning of locomotion in older adults? A randomized controlled trial. *Clinical Interventions in Aging* [online]. 13, 713-722, [cit. 2021-06-10]. ISSN 1178-1998. Dostupné z: doi 10.2147/CIA.S164401.

NICHOLSON, V., WATTS, N., CHANI, Y., KEOGH, J. W. L. 2019. Motor imagery training improves balance and mobility outcomes in older adults: a systematic review. *Journal of Physiotherapy* [online]. 65(4), 1-8, [cit. 2021-02-10]. ISSN 18369553. Dostupné z: doi 10.1016/j.jphys.2019.08.007.

OHYAMA, T., NORES, W. L., MURPHY, M., MAUK, M. D. 2003. What the cerebellum computes. *Trends in Neurosciences* [online]. 26(4), 222-227, [cit. 2021-07-12]. ISSN 01662236. Dostupné z: doi 10.1016/S0166-2236(03)00054-7.

ONDRÁČKOVÁ, H. 2019. *Představa chůze v obraze povrchové elektromyografie*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc. Vedoucí práce Barbora Kolářová.

OOSTERHOFF, T., NOTA, S., RING, D. 2016. Finger Stiffness. *Journal of Hand and Microsurgery* [online]. 07(01), 13-17, [cit. 2022-06-12]. ISSN 0974-3227. Dostupné z: doi 10.1007/s12593-014-0151-5.

OOSTRA, K. M., VEREECKE, A., JONES, K., VANDERSTRAETEN, G. VINGERHOETS, G. 2012. Motor Imagery Ability in Patients With Traumatic Brain Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 93(5), 828-833, [cit. 2021-07-14]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1016/j.apmr.2011.11.018.

OOSTRA, K., OOMEN, A., VANDERSTRAETEN, G., VINGERHOETS, G. 2015. Influence of motor imagery training on gait rehabilitation in sub-acute stroke: A randomized controlled trial. *Journal of Rehabilitation Medicine* [online]. 47(3), 204-209, [cit. 2021-07-14]. ISSN 1650-1977. Dostupné z: doi 10.2340/16501977-1908.

PACCALIN, C., JEANNEROD, M. 2000. Changes in breathing during observation of effortful actions. *Brain Research* [online]. 862(1-2), 194-200, [cit. 2021-07-11]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi 10.1016/S0006-8993(00)02145-4.

PAGE, S. J. 2000. Imagery Improves Upper Extremity Motor Function in Chronic Stroke Patients: A Pilot Study. *The Occupational Therapy Journal of Research* [online]. 20(3), 200-215, [cit. 2021-06-10]. ISSN 0276-1599. Dostupné z: doi 10.1177/153944920002000304.

PAGE, S. J, LEVINE, P., SISTO, S. A., JOHNSTON, M. V. 2001. Mental Practice Combined With Physical Practice for Upper-Limb Motor Deficit in Subacute Stroke. *Physical Therapy* [online]. 81(8), 1455-1462, [cit. 2021-06-08]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: doi 10.1093/ptj/81.8.1455.

PAGE, S. J., LEVINE, P., LEONARD, A. C. 2005. Effects of mental practice on affected limb use and function in chronic stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 86(3), 399-402, [cit. 2021-02-10]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1016/j.apmr.2004.10.002.

PAGE, S. J., LEVINE, P., LEONARD, A. 2007. Mental Practice in Chronic Stroke. *Stroke* [online]. 38(4), 1293-1297, [cit. 2021-07-12]. ISSN 0039-2499. Dostupné z: doi 10.1161/01.STR.0000260205.67348.2b.

PAGE, S. J., MURRAY, C., HERMANN, V., LEVINE, P. 2011. Retention of Motor Changes in Chronic Stroke Survivors Who Were Administered Mental Practice. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 92(11), 1741-1745, [cit. 2021-07-13]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1016/j.apmr.2011.06.009.

PAPAXANTHIS, Ch., POZZO, T., SKOURA, X., SCHIEPPATI, M. 2002. Does order and timing in performance of imagined and actual movements affect the motor imagery process? The duration of walking and writing task. *Behavioural Brain Research* [online]. 134(1-2), 209-215, [cit. 2021-07-07]. ISSN 01664328. Dostupné z: doi 10.1016/S0166-4328(02)00030-X.

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. 2021-06-08]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi 10.1152/jn.1995.74.3.1037.

PELGRIMS, B., ANDRES, M., OLIVIER, E. 2009. Double Dissociation between Motor and Visual Imagery in the Posterior Parietal Cortex. *Cerebral Cortex* [online]. 19(10), 2298-2307, [cit. 2021-02-08]. ISSN 1047-3211. Dostupné z: doi 10.1093/cercor/bhn248.

PELPHREY, K. A., MITCHELL, T. V., MCKEOWN, M. J., GOLDSTEIN, J., ALLISON, T. MCCARTHY, G. 2003. Brain Activity Evoked by the Perception of Human Walking: Controlling for Meaningful Coherent Motion. *The Journal of Neuroscience* [online]. 23(17), 6819-6825, [cit. 2021-01-09]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi 10.1523/JNEUROSCI.23-17-06819.2003.

PERSONNIER, P., KUBICKI, A., LAROCHE, D., PAPAXANTHIS, Ch. 2010. Temporal features of imagined locomotion in normal aging. *Neuroscience Letters* [online]. 476(3), 146-149, [cit. 2021-02-12]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi 10.1016/j.neulet.2010.04.017.

PETERSON, D. S., PICKETT, K. A., DUNCAN, R., PERLMUTTER, J., EARHART, G. M., ZHOU, J. 2014. Gait-Related Brain Activity in People with Parkinson Disease with Freezing of Gait. *PLoS ONE* [online]. 9(3), 1-9, [cit. 2021-07-05]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi 10.1371/journal.pone.0090634.

PERREY, S. 2014. Possibilities for examining the neural control of gait in humans with fNIRS. *Frontiers in Physiology* [online]. 5, 1-4, [cit. 2021-07-11]. ISSN 1664-042X. Dostupné z: doi 10.3389/fphys.2014.00204.

PICARD, N., STRICK, P. L. 1996. Motor Areas of the Medial Wall: A Review of Their Location and Functional Activation. *Cerebral Cortex* [online]. 6(3), 342-353 [cit. 2021-07-12]. ISSN 1047-3211. Dostupné z: doi 10.1093/cercor/6.3.342.

PODDA, J., PEDULLÀ, L., MONTI BRAGADIN, M., PICCARDO, E., BATTAGLIA, M. A., BRICHETTO, G., BOVE, M., TACCHINO, A. 2020. Spatial constraints and cognitive fatigue affect motor imagery of walking in people with multiple sclerosis. *Scientific Reports* [online]. 10(1), 1-10, [cit. 2021-06-10]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi 10.1038/s41598-020-79095-3.

POLEHLOVÁ, K. 2012. *Představa pohybu a její vliv na svalovou aktivitu*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc. Vedoucí práce Barbora Kolářová.

PORRO, C. A., CETTOLO, V., FRANCESCATO, M. P., BARALDI, P. 2000. Ipsilateral involvement of primary motor cortex during motor imagery. *European Journal of Neuroscience* [online]. 12(8), 3059-3063, [cit. 2021-06-09]. ISSN 0953816X. Dostupné z: doi 10.1046/j.1460-9568.2000.00182.x.

RAFFIN, E., MATTOU, J., REILLY, K. T., GIRAUX, P. 2012. Disentangling motor execution from motor imagery with the phantom limb. *Brain* [online]. 135(2), 582-595, [cit. 2022-06-11]. ISSN 1460-2156. Dostupné z: doi 10.1093/brain/awr337.

- RAMNANI, N.. 2006. The primate cortico-cerebellar system: anatomy and function. *Nature Reviews Neuroscience* [online]. 7(7), 511-522, [cit. 2021-07-12]. ISSN 1471-003X. Dostupné z: doi 10.1038/nrn1953.
- RANGANATHAN, V. K., SIEMIONOW, V., LIU, J. Z., SAHGAL, V., YUE, G. H. 2004. From mental power to muscle power-gaining strength by using the mind. *Neuropsychologia* [online]. 42(7), 944-956, [cit. 2021-06-08]. ISSN 00283932. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuropsychologia.2003.11.018.
- REDFERN, M. S., YARDLEY, L., BRONSTEIN, A. M. 2001. Visual influences on balance. *Journal of Anxiety Disorders* [online]. 15(1-2), 81-94, [cit. 2022-06-09]. ISSN 08876185. Dostupné z: doi 10.1016/S0887-6185(00)00043-8.
- REISER, M., BÜSCH, D., MUNZERT, J. 2011. Strength gains by motor imagery with different ratios of physical to mental practice. *Frontiers in Psychology* [online]. 2, 1-8, [cit. 2021-07-11]. ISSN 16641078. Dostupné z: doi 10.3389/fpsyg.2011.00194.
- ROSSIGNOL, S., DUBUC, R., GOSSARD, J. P. 2006. Dynamic Sensorimotor Interactions in Locomotion. *Physiological Reviews* [online]. 86(1), 89-154, [cit. 2021-07-09]. ISSN 0031-9333. Dostupné z: doi 10.1152/physrev.00028.2005.
- ROTH, M., DECETY, J., RAYBAUDI, M., MASSARELLI, R., DELON-MARTIN, Ch., SEGEBARTH, Ch., MORAND, S., GEMIGNANI, A., DÉCORPS, M., JEANNEROD, M. 1996. Possible involvement of primary motor cortex in mentally simulated movement. *NeuroReport* [online]. 7(7), 1280-1284, [cit. 2021-02-09]. ISSN 0959-4965. Dostupné z: doi 10.1097/00001756-199605170-00012
- ROZAND, V., LEBON, F., STAPLEY, P. J., PAPAXANTHIS, Ch., LEPERS, R.. 2016. A prolonged motor imagery session alter imagined and actual movement durations: Potential implications for neurorehabilitation. *Behavioural Brain Research* [online]. 297, 67-75 [cit. 2021-07-09]. ISSN 01664328. Dostupné z: doi 10.1016/j.bbr.2015.09.036.
- RÜDIGER, S., STUCKENSCHNEIDER, T., VOGT, T., ABELN, V., LAWLOR, B., OLDE RIKKERT, M., SCHNEIDER, S. 2017. Cognitive Impairment Is Reflected by an Increased Difference between Real and Imagined Timed Up and Go Test Performance. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders* [online]. 44(1-2), 55-62, [cit. 2021-07-11]. ISSN 1420-8008. Dostupné z: doi 10.1159/000477760.
- RUFFINO, C., GAVEAU, J., PAPAXANTHIS, Ch., LEBON, F. 2019. An acute session of motor imagery training induces use-dependent plasticity. *Scientific Reports* [online]. 9(1), 1-9, [cit. 2021-05-09]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi 10.1038/s41598-019-56628-z.

RULLEAU, T., MAUVIEUX, B., TOUSSAINT, L. 2015. Influence of Circadian Rhythms on the Temporal Features of Motor Imagery for Older Adult Inpatients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 96(7), 1229-1234, [cit. 2021-07-12]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1016/j.apmr.2015.02.015.

SACCO, K., CAUDA, F., CERLIANI, L., MATE, D., DUCA, S., GEMINIANI, G. C. 2006.. Motor imagery of walking following training in locomotor attention. The effect of 'the tango lesson'. *NeuroImage* [online]. 32(3), 1441-1449, [cit. 2021-07-12]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2006.05.018.

SAHYOUN, C., FLOYER-LEA, A., JOHANSEN-BERG, H., MATTHEWS, P. M. 2004. Towards an understanding of gait control: brain activation during the anticipation, preparation and execution of foot movements. *NeuroImage* [online]. 21(2), 568-575, [cit. 2021-07-07]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2003.09.065.

SACHELI, L. M., ZAPPAROLI, L., PRETI, M., DE SANTIS, C., PELOSI, C., URSINO, N., ZERBI, A., STUCOVITZ, E., BANFI, G., PAULESU, E. 2018. A functional limitation to the lower limbs affects the neural bases of motor imagery of gait. *NeuroImage: Clinical* [online]. 20, 177-187, [cit. 2022-06-10]. ISSN 22131582. Dostupné z: doi 10.1016/j.nicl.2018.07.003.

SAIMPONT, A., MALOUIN, F., TOUSIGNANT, B., JACKSON, P. L. 2013. Motor Imagery and Aging. *Journal of Motor Behavior* [online]. 45(1), 21-28, [cit. 2021-07-07]. ISSN 0022-2895. Dostupné z: doi 10.1080/00222895.2012.740098.

SAIMPONT, A., MALOUIN, F., TOUSIGNANT, B., JACKSON, P. L. 2015. Assessing motor imagery ability in younger and older adults by combining measures of vividness, controllability and timing of motor imagery. *Brain Research* [online]. 1597, 196-209, [cit. 2021-07-07]. ISSN 00068993. Dostupné z: doi 10.1016/j.brainres.2014.11.050.

SALBACH, N. M., O'BRIEN, K., BROOKS, D., IRVIN, E., MARTINO, R., TAKHAR, P., CHAN, S., HOWE, J. 2014. Speed and Distance Requirements for Community Ambulation: A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 95(1), 117-128, [cit. 2021-01-07]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi 10.1016/j.apmr.2013.06.017.

SAVAKI, H., RAOS, V. 2019. Action perception and motor imagery: Mental practice of action. *Progress in Neurobiology* [online]. 175, 1-71, [cit. 2021-02-15]. ISSN 03010082. Dostupné z: doi 10.1016/j.pneurobio.2019.01.007.

SARAFRAZI, S., ABDULAH, R. T., AMIRI-KHORASANI, M. 2012. Kinematic Analysis of Hip and Knee Angles During Landing after Imagery in Female Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. 26(9), 2356-2363, [cit. 2021-07-13]. ISSN 1064-8011. Dostupné z: doi 10.1519/JSC.0b013e31823db094.



SEEBER, M., SCHERER, R., WAGNER, J., SOLIS-ESCALANTE, T., MÜLLER-PUTZ, G. R. 2015. High and low gamma EEG oscillations in central sensorimotor areas are conversely modulated during the human gait cycle. *NeuroImage* [online]. 112, 1-9, [cit. 2021-07-11]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2015.03.045.

SHARMA, N., POMEROY, V. M., BARON, J. C. 2006 Motor Imagery. *Stroke* [online]. 37(7), 1941-1952, [cit. 2022-02-09]. ISSN 0039-2499. Dostupné z: doi 10.1161/01.STR.0000226902.43357.fc.

SHUMWAY-COOK, A., GURALNIK, J. M., PHILLIPS, C. L., COPPIN, A. K., CIOL, M. A., BANDINELLI, S., FERRUCCI, L. 2007. Age-Associated Declines in Complex Walking Task Performance: The Walking InCHIANTI Toolkit. *Journal of the American Geriatrics Society* [online]. 55(1), 1-17, [cit. 2021-06-06]. ISSN 00028614. Dostupné z: doi 10.1111/j.1532-5415.2006.00962.x.

SCHNITTEROVÁ, K. 2020. *Představa chůze u pacientů po cévní mozkové příhodě aspektem povrchové elektromyografie*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc. Vedoucí práce Barbora Kolářová.

SCHOTT, N. 2012. Age-Related Differences in Motor Imagery: Working Memory as a Mediator. *Experimental Aging Research* [online]. 38(5), 559-583, [cit. 2022-07-07]. ISSN 0361-073X. Dostupné z: doi 10.1080/0361073X.2012.726045.

SCHUSTER, C., HILFIKER, R., AMFT, O., SCHEIDHAUER, A., ANDREWS, B., BUTLER, J., KISCHKA, U., ETTLIN, T. 2011. Best practice for motor imagery: a systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines. *BMC Medicine* [online]. 9(1), 1-35, [cit. 2021-07-05]. ISSN 1741-7015. Dostupné z: doi 10.1186/1741-7015-9-75.

SHARMA, N., BARON, J. C. 2013. Does motor imagery share neural networks with executed movement: a multivariate fMRI analysis. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 7, 1-8, [cit. 2021-06-08]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2013.00564.

SILVA, A. G., ALVARELHÃO, J., QUEIRÓS, A., ROCHA, N. P. 2013. Pain intensity is associated with self-reported disability for several domains of life in a sample of patients with musculoskeletal pain aged 50 or more. *Disability and Health Journal* [online]. 6(4), 369-376 [cit. 202-07-12]. ISSN 19366574. Dostupné z: doi 10.1016/j.dhjo.2013.04.007.

SILVA, P. B., MRACHACZ-KERSTING, N., OLIVEIRA, A. S., KERSTING, U. G. 2018. Effect of wobble board training on movement strategies to maintain equilibrium on unstable surfaces. *Human Movement Science* [online]. 58, 231-238, [cit. 2022-06-09]. ISSN 01679457. Dostupné z: doi 10.1016/j.humov.2018.02.006.

- SIRIGU, A., DUHAMEL, J. R., COHEN, L., PILLON, B., DUBOIS, B., AGID, Y. 1996. The Mental Representation of Hand Movements After Parietal Cortex Damage. *Science* [online]. 273(5281), 1564-1568, [cit. 2021-02-10]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi 10.1126/science.273.5281.1564.
- SOLODKIN, A., HLUSTIK, P., CHEN, E. E., SMALL, S. L. 2004. Fine Modulation in Network Activation during Motor Execution and Motor Imagery. *Cerebral Cortex* [online]. 14 (11), 1246-1255, [cit. 2021-06-28]. ISSN 1460-2199. Dostupné z: doi 10.1093/cercor/bhh086.
- SPIEGLER, A., GRAIMANN, B., PFURTSCHELLER, G. 2004. Phase coupling between different motor areas during tongue-movement imagery. *Neuroscience Letters* [online]. 369(1), 50-54, [cit. 2021-06-08]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi 10.1016/j.neulet.2004.07.054.
- SPRUIJT, S., JOUEN, F., MOLINA, M., KUDLINSKI, C., GUILBERT, J., STEENBERGEN, B. 2013. Assessment of motor imagery in cerebral palsy via mental chronometry: The case of walking. *Research in Developmental Disabilities* [online]. 34(11), 4154-4160, [cit. 2021-07-12]. ISSN 08914222. Dostupné z: doi 10.1016/j.ridd.2013.08.044.
- 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* [online]. 168(1-2), 157-164, [cit. 2021-02-09]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi 10.1007/s00221-005-0078-y.
- STIPPICH, Ch., OCHMANN, H., SARTOR, K. 2002. Somatotopic mapping of the human primary sensorimotor cortex during motor imagery and motor execution by functional magnetic resonance imaging. *Neuroscience Letters* [online]. 331(1), 50-54, [cit. 2021-02-08]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi 10.1016/S0304-3940(02)00826-1.
- SUBIRATS, L., ALLALI, G., M. BRIANSOULET, M., SALLE, J. Y., PERROCHON, A. 2018. Age and gender differences in motor imagery. *Journal of the Neurological Sciences* [online]. 391, 114-117, [cit. 2021-07-07]. ISSN 0022510X. Dostupné z: doi 10.1016/j.jns.2018.06.015,
- ŠVESTKOVÁ, O. 2013. Základní principy současné neurorehabilitace. *Neurologie pro praxi* [online]. 14 (3), 136-139, [cit. 2021-01-10]. ISSN 1803-5280. Dostupné z: <https://www.neurologiepropraxi.cz/pdfs/neu/2013/03/06.pdf>.
- TACCHINO, A., BOVE, M., PEDULLÀ, L., BATTAGLIA, M. A., PAPAXANTHIS, Ch., BRICHETTO, G. 2013. Imagined actions in multiple sclerosis patients: evidence of decline in motor cognitive prediction. *Experimental Brain Research* [online]. 229(4), 561-570, [cit. 2021-02-01]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi 10.1007/s00221-013-3617-y.
- TACCHINO, A., SAIOTE, C., BRICHETTO, G., BOMMARITO, G., ROCCATAGLIATA, L., CORDANO, Ch., BATTAGLIA, M. A., MANCARDI, G. L., INGLESE, M. 2018. Motor

Imagery as a Function of Disease Severity in Multiple Sclerosis: An fMRI Study. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 11, 1-10, [cit. 2021-02-01]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2017.00628.

TAKÁČOVÁ, K. 2021. *Představa komplexného pohybu dolných končatín v obraze povrchovej elektromyografie*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc. Vedoucí práce Marek Tomsa.

TAKAKUSAKI, K. 2013. Neurophysiology of gait: From the spinal cord to the frontal lobe. *Movement Disorders: official journal of the Movement Disorder Society* [online]. 28(11), 1483-1491, [cit. 2021-06-10]. ISSN 08853185. Dostupné z: doi 10.1002/mds.25669.

TAUBE, W., MOUTHON, M., LEUKEL, Ch., HOOGEWOU, H. M., ANNONI, J. M., KELLER, M. 2015 Brain activity during observation and motor imagery of different balance tasks: An fMRI study. *Cortex* [online]. 64, 102-114, [cit. 2021-07-13]. ISSN 00109452. Dostupné z: doi 10.1016/j.cortex.2014.09.022.

THIEME, H., MORKISCH, N., MEHRHOLZ, J., POHL, M., BEHRENS, J., BORGETTO, B., DOHLE, Ch. 2018. Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews* [online]. (7), 1-179, [cit. 2021-01-09]. ISSN 14651858. Dostupné z: doi 10.1002/14651858.CD008449.pub3.

TONG, Y., T. 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* [online]. 8(3), 364-371, [cit. 2021-07-05]. ISSN 2152-5250. Dostupné z: doi 10.14336/AD.2016.1012.

TORRICELLI, A., CONTINI, D., PIFFERI, A., CAFFINI, M., RE, R., ZUCHELLI, L., SPINELLI, L. 2014. Time domain functional NIRS imaging for human brain mapping. *NeuroImage* [online]. 85, 1-23, [cit. 2021-07-11]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi 10.1016/j.neuroimage.2013.05.106.

TRINASTIC, J. P., KAUTZ, S. A., MCGREGOR, K., GREGORY, Ch., BOWDEN, M., BENJAMIN, M. B., KURTZMAN, M., CHANG, Y. L., CONWAY, T., CROSSON, B. 2010. An fMRI Study of the Differences in Brain Activity During Active Ankle Dorsiflexion and Plantarflexion. *Brain Imaging and Behavior* [online]. 4(2), 121-131, [cit. 2021-07-12]. ISSN 1931-7557. Dostupné z: doi 10.1007/s11682-010-9091-2.

TRLIDOVÁ, E. 2019. *Představa rytmické chůze v obraze povrchové elektromyografie*. Diplomová práce. Univerzita Palackého: Olomouc. Vedoucí práce Barbora Kolářová.

TROJAN, S. 2003. *Lékařská fyziologie* (4. Vydání) Praha: Grada Publishing. ISBN 80-247-0512-5.

TURNER, R. S., DESMURGET, M., GRETHE, J., CRUTCHER, M. D. GRAFTON, S. T. 2003. Motor Subcircuits Mediating the Control of Movement Extent and Speed. *Journal of Neurophysiology* [online]. 90(6), 3958-3966, [cit. 2021-07-13]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi 10.1152/jn.00323.2003.

TUROLLA, A., VENNERI, A., FARINA, D., CAGNIN, A., CHEUNG, V. C. K. 2018. Rehabilitation induced neural plasticity after acquired brain Injury. *Neural plasticity* [online]. 2018, 1-3, [cit. 2020-12-10]. ISSN 2090-5904. Dostupné z: doi 10.1155/2018/6565418.

URGESI, C., CANDIDI, M., FABBRO, F., ROMANI, M., AGLIOTI, S. M. 2006. Motor facilitation during action observation: topographic mapping of the target muscle and influence of the onlooker's posture. *European Journal of Neuroscience* [online]. 23(9), 2522-2530, [cit. 2020-11-09]. ISSN 0953816X. Dostupné z: doi 10.1111/j.1460-9568.2006.04772.x.

VAN DER MEULEN, M., ALLALI, G., RIEGER, S. W., ASSAL, F., VUILLEUMIER, P. 2014. The influence of individual motor imagery ability on cerebral recruitment during gait imagery. *Human Brain Mapping* [online]. 35(2), 455-470, [cit. 2021-07-12]. ISSN 10659471. Dostupné z: doi 10.1002/hbm.22192.

VAN DIEËN, J. H., VAN LEEUWEN, M., FABER, G. S. 2015. Learning to balance on one leg: motor strategy and sensory weighting. *Journal of Neurophysiology* [online]. 114(5), 2967-2982, [cit. 2022-06-09]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi 10.1152/jn.00434.2015.

VÉLE, F. 1997. *Kineziologie pro klinickou praxi* (1. vydání). Praha: Grada Publishing. ISBN: 80-7169-256-5.

VOKURKA, M., KOFRÁNEK, J., MARŠÁLEK, P., MARUNA, P., NEČAS, E., ŠULC, K. 2008. *Patofyziologie pro nelékařské směry* (2. vydání). Praha: Karolinum. ISBN: 978-80-246-1561-5.

VOON, V., BAEK, K., ENANDER, J., WORBE, Y., MORRIS, L. S., HARRISON, N. A., ROBBINS, T. W., RÜCK, C., DAW, N. 2015. Motivation and value influences in the relative balance of goal-directed and habitual behaviours in obsessive-compulsive disorder. *Translational Psychiatry* [online]. 5(11), 1-8, [cit. 2021-07-13]. ISSN 2158-3188. Dostupné z: doi 10.1038/tp.2015.165.

WAGNER, J., SOLIS-ESCALANTE, T., SCHERER, R., NEUPER, Ch., MÜLLER-PUTZ, G. 2014. It's how you get there: walking down a virtual alley activates premotor and parietal areas. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 8, 1-11, [cit. 2021-07-07]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2014.00093.

WAGNER, J., STEPHAN, T., KALLA, R., BRÜCKMANN, H., STRUPP, M., BRANDT, T., JAHN, K. 2008. Mind the bend: cerebral activations associated with mental imagery of walking along a curved path. *Experimental Brain Research* [online]. 191(2), 247-255, [cit. 2021-07-12]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi 10.1007/s00221-008-1520-8.

- WANG, Ch. H., WAI, Y. Y., KUO, B. Ch., YEH, Y. Y., WANG, J. J. 2008a. Cortical control of gait in healthy humans: an fMRI study. *Journal of Neural Transmission* [online]. 115(8), 1149-1158, [cit. 2021-07-12]. ISSN 0300-9564. Dostupné z: doi 10.1007/s00702-008-0058-z.
- WANG, Ch. H., WAI, Y. Y., WENG, Y. H., YU, J. F., WANG, J. J. 2008b. The cortical modulation from the external cues during gait observation and imagination. *Neuroscience Letters* [online]. 443(3), 232-235, [cit. 2021-07-12]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi 10.1016/j.neulet.2008.07.084.
- WEBBER, S. C., PORTER, M. M., MENEZES, V. H. 2010. Mobility in Older Adults: A Comprehensive Framework. *The Gerontologist* [online]. 50(4), 1-8, [cit. 2022-01-07]. ISSN 0016-9013. Dostupné z: doi 10.1093/geront/gnq013.
- WIELAND, B., BEHRINGER, M., ZENTGRAF, K. 2022. Motor imagery and the muscle system. *International Journal of Psychophysiology* [online]. 174, 57-65, [cit. 2022-06-10]. ISSN 01678760. Dostupné z: doi 10.1016/j.ijpsycho.2022.02.004.
- WOLPERT, D. M., FLANAGAN, R. 2001. Motor prediction. *Current Biology* [online]. 11(18), 729-732, [cit. 2021-01-09]. ISSN 09609822. Dostupné z: doi 10.1016/S0960-9822(01)00432-8.
- WOLPERT, D. M., GHAHRAMANI, Z., JORDAN, M. I. 1995. An Internal Model for Sensorimotor Integration. *Science* [online]. 269(5232), 1880-1882, [cit. 2021-01-09]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi 10.1126/science.7569931.
- WRIESSNEGGER, S. C., BRUNNER, C., MÜLLER-PUTZ, G. R. 2018. Frequency Specific Cortical Dynamics During Motor Imagery Are Influenced by Prior Physical Activity. *Frontiers in Psychology* [online]. 9, 1-16, [cit. 2022-06-09]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi 10.3389/fpsyg.2018.01976.
- WRIESSNEGGER, S. C., STEYRL, D., KOSCHUTNIG, K., MÜLLER-PUTZ, G. R., 2014. Short time sports exercise boosts motor imagery patterns: implications of mental practice in rehabilitation programs. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 8, 1-9, [cit. 2022-06-06]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2014.00469.
- WRIGHT, D. J., WILLIAMS, J., HOLMES, P. S. 2014. Combined action observation and imagery facilitates corticospinal excitability. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 8, 1-9, [cit. 2021-07-14]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2014.00951.
- YANG, Y. J., JEON, E. J., KIM, J. S., CHUNG, Ch. K. 2021. Characterization of kinesthetic motor imagery compared with visual motor imageries. *Scientific Reports* [online]. 11(1), 1-11, [cit. 2022-06-09]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi 10.1038/s41598-021-82241-0.

YAO, W. X., RANGANATHAN, V. K., ALLEXANDRE, D., SIEMIONOW, V., YUE, G. H. 2013. Kinesthetic imagery training of forceful muscle contractions increases brain signal and muscle strength. *Frontiers in Human Neuroscience* [online]. 7, 1-6, [cit. 2021-07-11]. ISSN 1662-5161. Dostupné z: doi 10.3389/fnhum.2013.00561.

YAP, B. W. D, LIM, E. Ch. W. 2019. The Effects of Motor Imagery on Pain and Range of Motion in Musculoskeletal Disorders. *The Clinical Journal of Pain* [online]. 35(1), 87-99, [cit. 2021-07-12]. ISSN 0749-8047. Dostupné z: doi 10.1097/AJP.0000000000000648.

YEOM, H. A., FLEURY, J., KELLER, C. Risk Factors for Mobility Limitation in Community-Dwelling Older Adults: A Social Ecological Perspective. 2008. *Geriatric Nursing* [online]. 29(2), 133-140, [cit. 2021-02-07]. ISSN 01974572. Dostupné z: doi 10.1016/j.gerinurse.2007.07.002.

YUE, G., COLE, K. J. 1992. Strength increases from the motor program: comparison of training with maximal voluntary and imagined muscle contraction. *Journal of Neurophysiology* [online]. 67(5), 1114-1123, [cit. 2021-08-06]. ISSN 1522-1598. Dostupné z: doi 10.1152/jn.1992.67.5.1114.

ZAPPAROLI, L., INVERNIZZI, P., GANDOLA, M., VERARDI, M., BERLINGERI, M., SBERNA, M., DE SANTIS, A., ZERBI, A., BANFI, G., BOTTINI, G., PAULESU, E. 2013. Mental images across the adult lifespan: a behavioural and fMRI investigation of motor execution and motor imagery. *Experimental Brain Research* [online]. 224(4), 519-540, [cit. 2021-02-09]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi 10.1007/s00221-012-3331-1.

ZIMMERMANN-SCHLATTER, A., SCHUSTER, C., PUHAN, M. A., SIEKIERKA, E. STEURER, J. 2008. Efficacy of motor imagery in post-stroke rehabilitation: a systematic review. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 5(1), 1-10, [cit. 2021-07-07]. ISSN 1743-0003. Dostupné z: do 10.1186/1743-0003-5-8

ZWERGAL, A., LINN, J., XIONG, G., BRANDT, T., STRUPP, M., JAHN, K. 2012. Aging of human supraspinal locomotor and postural control in fMRI. *Neurobiology of Aging* [online]. 33(6), 1073-1084, [cit. 2021-07-12]. ISSN 01974580. Dostupné z: doi 10.1016/j.neurobiolaging.2010.09.022.

## Seznam zkratek

BF	musculus biceps femoris
BMI	rozhraní mozek-stroj (z angl. brain machine interface)
COP	centre of pressure
CMP	cévní mozková příhoda
CNS	centrální nervový systém
CPG	centrální generátory chůze (z angl. central pattern generators)
dx.	pravý, pravostranný (z lat. dexter)
EEG	elektroencefalografie
EMG	elektromyografie, elektromyografický
fMRI	funkční magnetická rezonance (z angl. functional magnetic resonance imaging)
fNIRS	funkční spektroskopie pomocí blízkého infračerveného záření
iTUG	imaginární Timed Up and Go
KČ	klid před představou chůze po čáře
KCH	klid před představou chůze
m.	sval (z lat. musculus)
MEG	magnetoencefalografie
MIQ	Movement Imagery Questionnaire
MIQ-R	Movement Imagery Questionnaire-Revised
MIQ-RS	Movement Imagery Questionnaire-Revised Second Version
mm.	svaly (z lat. musculi)
MRI	magnetická rezonance (z angl. magnetic resonance imaging)
MT	zrcadlová terapie (z angl. mirror therapy)
n	počet hodnot
PČ	představa chůze po čáře
PD	Parkinsonova choroba
PET	pozitronová emisní tomografie
PCH	představa chůze
RF	musculus rectus femoris
RS	roztroušená skleróza
SD	směrodatná odchylka
sin.	levý, levostranný (z lat. sinister)

SMA	suplementární motorická oblast
SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie
TMS	transkraniální magnetická stimulace



## Seznam obrázků

<b>Obrázek 1</b> Schéma znázorňující různé komponenty pohybového systému při volných pohybech (Mirelman et al., s. 120).....	27
<b>Obrázek 2</b> Model kognitivního procesu posturální kontroly chůze (Mirelman et al., 2018, s. 123) .....	29
<b>Obrázek 3</b> Svalová aktivita m. rectus femoris a m. biceps femoris bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze.....	44
<b>Obrázek 4</b> Svalová aktivita m. rectus femoris a m. biceps femoris bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze po čáře .....	45
<b>Obrázek 5</b> Srovnání svalové aktivity m. rectus femoris bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze a představě chůze po čáře .....	46
<b>Obrázek 6</b> Srovnání svalové aktivity m. biceps femoris bilaterálně v jednotlivých situacích při představě chůze a při představě chůze po čáře.....	47

## Seznam tabulek

<b>Tabulka 1</b> Popisná statistika průměrných hodnot svalové aktivity během KCH, PCH před, PCH po .....	41
<b>Tabulka 2</b> Popisná statistika průměrných hodnot svalové aktivity během KČ, PČ před, PČ po .....	42
<b>Tabulka 3</b> p-hodnoty při porovnání jednotlivých situací při představě chůze .....	43
<b>Tabulka 4</b> p-hodnoty při porovnání jednotlivých situací při představě chůze po čáře .....	43

## Seznam příloh

<b>Příloha 1</b> Informovaný souhlas.....	110
<b>Příloha 2</b> Vyjádření etické komise Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci .....	112
<b>Příloha 3</b> Dotazník MIQ-R.....	113
<b>Příloha 4</b> Dotazník MIQ-RS.....	116
<b>Příloha 5</b> Subjektivní hodnocení představy v jednotlivých situacích.....	120
<b>Příloha 6</b> Lokalizace senzorů na těle .....	121
<b>Příloha 7</b> Situace experimentu.....	122

## Přílohy

### Příloha 1 Informovaný souhlas

#### Informovaný souhlas

Pro výzkumnou část diplomové práce: Představa chůze aspektem povrchové elektromyografie

Období realizace: Červenec 2020 – únor 2021

Řešitelka diplomové práce: Bc. Aneta Burešová

Vážená paní, vážený pane,

obracím se na Vás s žádostí o spolupráci na výzkumném šetření k diplomové práci, jejímž cílem je zjištění vlivu představy chůze na pohybový aparát. Ke zhodnocení svalové aktivity a akcelerace Vám budou na kožní povrch nalepeny elektrody pomocí hypoalergenního lepicího štítku. Samotné měření bude zahrnovat realizaci chůze, její představu, dále realizaci náročnější modifikace chůze (chůze po čáře) a opět její představu. Testování bude trvat přibližně 50 minut. Z účasti na výzkumu pro Vás nevyplývají žádná zdravotní ani jiná rizika. V průběhu měření můžete kdykoli vyslovit nesouhlas s jeho průběhem a měření bude ukončeno. Pokud s účastí na výzkumu souhlasíte, prosíme, připojte podpis, kterým vyslovujete souhlas s níže uvedeným prohlášením.

#### **Prohlášení účastníka výzkumu**

Prohlašuji, že souhlasím s účastí na výše uvedeném výzkumu. Řešitel/ka diplomové práce mne informoval/a o podstatě výzkumu a seznámil/a mne s cíli, 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 výzkumné části diplomové práce zpracovány 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 diplomové práce.

Jméno, příjmení a podpis účastníka výzkumu:

---

V \_\_\_\_\_ dne: \_\_\_\_\_

Jméno, příjmení a podpis řešitele diplomové práce:

---

**Příloha 2** Vyjádření Etické komise Fakulty zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci



Fakulta  
zdravotnických věd

UPOL-118332/1030S-2020

Vážená paní  
Aneta Burešová

2020-15-07

Vyjádření Etické komise FZV UP


Vážená paní Burešová,

na základě Vaší Žádosti o stanovisko Etické komise FZV UP byla Vaše výzkumná část diplomové práce posouzena a po vyhodnocení všech zaslaných dokumentů Vám sdělujeme, že diplomové práci s názvem „**Představa chůze aspektem povrchové elektromyografie**“, jehož jste hlavní řešitelkou, bylo uděleno

**souhlasné stanovisko Etické komise FZV UP .**

S pozdravem,

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI  
Fakulta zdravotnických věd  
Etická komise  
Hněvotínská 3, 775 15 Olomouc

  
Mgr. Lenka Mazalová, Ph.D.  
předsedkyně  
Etické komise FZV UP

Fakulta zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci  
Hněvotínská 3 | 775 15 Olomouc | T: 585 632 880  
[www.fzv.upol.cz](http://www.fzv.upol.cz)

### Příloha 3 MIQ-R dotazník

Dotazník představy pohybu: MOVEMENT IMAGERY QUESTIONNAIRE – REVISED (MIQ-R)

#### Stupnice vizuální představy

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

**1. VÝCHOZÍ POZICE:** Postavte se chodidly k sobě s horními končetinami připaženými.

**POHYB:** Pokrčte pravé koleno co nejvýše tak, abyste stál na levé noze a pravá končetina byla ohnutá v koleni, poté ji opět vraťte do výchozí pozice. Pohyby provádějte pomalu.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**2. VÝCHOZÍ POZICE:** Postavte se dolními končetinami mírně od sebe s horními končetinami připaženými.

**POHYB:** Mírně podřepněte, následně vyskočte co nejvýše se vzpaženými horními končetinami a snažte se dopadnout do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**3. VÝCHOZÍ POZICE:** Postavte se snožmo, nedominantní horní končetinu upažte, dlaň směřuje dolů, druhá horní končetina je připážená.

**POHYB:** Pohybujte upaženou nedominantní horní končetinou pomalým vodorovným pohybem do předpažení a během celého pohybu ji držte nataženou.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**4. VÝCHOZÍ POZICE:** Postavte se dolními končetinami mírně od sebe s horními končetinami vzpaženými.

**POHYB:** Pomalu se předkloňte a zkuste se prsty dotknout nohou nebo země. Poté se vraťte do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**5. VÝCHOZÍ POZICE:** Postavte se dolními končetinami mírně od sebe a horními končetinami připáženými.

**POHYB:** Mírně podřepněte, následně vyskočte co nejvýše se vzpaženými horními končetinami a snažte se dopadnout do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**6. VÝCHOZÍ POZICE:** Postavte se chodidly k sobě s horními končetinami připáženými.

**POHYB:** Pokrčte pravé koleno co nejvýše tak, abyste stál na levé noze a pravá končetina byla ohnutá v koleni, poté ji opět vraťte do výchozí pozice. Pohyby provádějte pomalu.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**



**7. VÝCHOZÍ POZICE:** Postavte se dolními končetinami mírně od sebe a horními končetinami vzpaženými.

**POHYB:** Pomalu se předkloňte a zkuste se prsty dotknout nohou nebo země. Poté se vraťte do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**8. VÝCHOZÍ POZICE:** Postavte se snožmo, nedominantní horní končetinu upažte, dlaň směřuje dolů, druhá horní končetina je připažená.

**POHYB:** Pohybujte upaženou nedominantní horní končetinou pomalým vodorovným pohybem do předpažení a během celého pohybu ji držte nataženou.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

#### **Příloha 4** MIQ-RS dotazník

Dotazník představy pohybu: MOVEMENT IMAGERY QUESTIONNAIRE – REVISED SECOND VERSION (MIQ-R)

#### **Stupnice vizuální představy**

<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Velmi snadno viděná	Snadno viděná	Spíše snadno viděná	Neutrálně viděná (ani snadno ani obtížně)	Spíše obtížně viděná	Obtížně viděná	Velmi obtížně viděná

#### **Stupnice kinestetické představy**

<b>7</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
Velmi snadno vnímaná	Snadno vnímaná	Spíše snadno vnímaná	Neutrálně vnímaná (ani snadno ani obtížně)	Spíše obtížně vnímaná	Obtížně vnímaná	Velmi obtížně vnímaná

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

**POHYB:** Pomalu zvedněte jedno koleno co nejvýše, abyste stál pouze na druhé končetině a opět jej pomalu vraťte do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**2. VÝCHOZÍ POZICE:** Vsedě položte ruku na klín a sevřete ji v pěst.

**POHYB:** Zvedněte ruku nad hlavu, dokud není paže natažená, držte prsty v pěst. Položte sevřenou ruku zpět do klína.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**3. VÝCHOZÍ POZICE:** Natáhněte paži do strany s nataženými prsty, rovnoběžně se zemí, dlaň směřuje dolů.

**POHYB:** Pohybujte paží dopředu před tělo (stále rovnoběžně se zemí). Pohyb provádějte pomalu a celou dobu držte končetinu nataženou. Vraťte končetinu zpět do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**4. VÝCHOZÍ POZICE:** Stoj se vzpaženými horními končetinami nad hlavou.

**POHYB:** Pomalu se předkloňte tak, abyste se prsty dotkl palců na nohou. Poté se stejným způsobem vraťte do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**5. VÝCHOZÍ POZICE:** Položte ruku před sebe ve výšce ramen jako byste se chystal otevřít kyvné dveře (tzv. lítačky), prsty směřují nahoru.

**POHYB:** Natáhněte končetinu úplně před sebe jako byste chtěl otevřít dveře, prsty směřují nahoru. Poté nechte vrácením horní končetiny dveře zavřít.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**6. VÝCHOZÍ POZICE:** Vsedě položte ruku na klín, předstírejte, že vidíte před sebou na stole sklenici na pití.

**POHYB:** Zvedněte se dopředu, uchopte sklenici a lehce ji zvedněte ze stolu, poté ji položte zpět na stůl a vraťte ruku do klína.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**7. VÝCHOZÍ POZICE:** Horní končetina je připážená, předstírejte, že máte před sebou dveře.

**POHYB:** Předkloňte se, uchopte dveře za kliku a zatáhněte. Poté dveře opatrně zavřete, pusťte kliku a vraťte se do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

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

**POHYB:** Pomalu zvedněte jedno koleno co nejvýše, abyste stál pouze na druhé končetině a opět jej pomalu vraťte do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**9. VÝCHOZÍ POZICE:** Vsedě položte ruku na klín a sevřete ji v pěst.

**POHYB:** Zvedněte ruku nad hlavu, dokud není paže natažená, držte prsty v pěst. Položte sevřenou ruku zpět do klína.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**10. VÝCHOZÍ POZICE:** Natáhněte paži do strany s nataženými prsty, rovnoběžně se zemí, dlaň směřuje dolů.

**POHYB:** Posuňte paži dopředu před tělo (stále rovnoběžně se zemí). Pohyb provádějte pomalu a celou dobu držte končetinu nataženou. Vraťte končetinu zpět do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**11. VÝCHOZÍ POZICE:** Stoj se vzpaženými horními končetinami nad tvou hlavou.

**POHYB:** Pomalu se předkloňte tak, abyste prsty dotkl palců na nohou. Poté se stejným způsobem vraťte do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**12. VÝCHOZÍ POZICE:** Položte ruku před sebe ve výšce tvých ramen jako byste se chystal otevřít kyvné dveře (tzv. lítačky), prsty směřují nahoru.

**POHYB:** Natáhněte končetinu úplně před sebe jako byste chtěl otevřít dveře, prsty směřují nahoru. Poté nechte vrácením horní končetiny dveře zavřít.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici a pokuste se vnímat, jak znovu tento pohyb provádíte, nyní však bez jeho skutečného provedení. Poté ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byli schopni tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**13. VÝCHOZÍ POZICE:** Vsedě položte ruku na klín, předstírejte, že vidíte před sebou na stole sklenici na pití.

**POHYB:** Zvedněte se dopředu, uchopte sklenici a lehce ji zvedněte ze stolu, poté ji položte zpět na stůl a vraťte ruku do klína.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

**14. VÝCHOZÍ POZICE:** Horní končetina je připažená, předstírejte, že máte před sebou dveře.

**POHYB:** Předkloňte se, uchopte dveře za kliku a zatáhněte. Poté dveře opatrně zavřete, pusťte kliku a vraťte se do výchozí pozice.

**MENTÁLNÍ ÚKOL:** Zaujměte výchozí pozici. Pokuste se vidět sám sebe, jak provádíte právě vykonaný pohyb v co nejjasnější a nejživější vizuální představě. Nyní ohodnoťte snadnost či obtížnost, se kterou jste byl schopen tento mentální úkol provést.

**HODNOCENÍ:**

## Příloha 5 Subjektivní hodnocení představy v jednotlivých situacích

Stupnice hodnocení (1 – velmi obtížné, 5 – velmi snadné)

Proband	PCH	PCH po	PČ před	PČ po
1	3	5	4	5
2	4	5	2	4
3	3	4	3	3
4	4	5	4	5
5	5	5	4	5
6	5	4	4	5
7	3	4	2	4
8	5	5	5	5
9	5	5	4	5
10	5	5	5	5
11	4	5	4	3
12	4	5	4	4
13	3	4	4	4
14	4	3	5	5
15	4	4	5	5
16	5	3	4	4
17	4	4	3	3
18	3	3	3	4
19	2	3	2	2
20	5	5	4	5

	Maximum	Minimum	Průměr
PCH před	5	2	4
PCH po	5	3	4,3
PČ před	5	2	3,75
PČ po	5	2	4,25

**Legenda:** PCH před – představa chůze před reálným provedením chůze, PCH po – představa chůze po reálném provedení chůze, PČ před – představa chůze po čáře před jejím reálným provedením, PČ po – představa chůze po čáře po jejím reálném provedení

## Příloha 6 Lokalizace senzorů na těle



**Legenda:** Na fotografiích jsou v kolečku označené senzory, pohled zepředu – senzory pro m. rectus femoris, pohled zezadu – senzory pro m. biceps femoris.

## Příloha 7 Situace experimentu



**Legenda:** Na fotografiích jsou zachyceny experimentální situace: 1 – klidová pozice pro jednotlivé představy, 2 – chůze po místnosti, 3 – chůze po čáře.