

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav fyzioterapie

Bc. Eva Trlidová

**Představa rytmické chůze v obraze povrchové  
elektromyografie**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Marek Tomsa

Olomouc 2019

## **Anotace**

**Název práce:** Představa rytmické chůze v obraze povrchové elektromyografie

**Název práce v anglickém jazyce:** Rhythmic gait imagery in the view of surface electromyography

**Datum zadání:** 31. 1. 2018

**Datum odevzdání:** 13. 5. 2019

**Vysoká škola:** Univerzita Palackého v Olomouci, Fakulta zdravotnických věd, Ústav fyzioterapie

**Autor práce:** Bc. Eva Trlidová

**Vedoucí práce:** Mgr. Marek Tomsa

**Oponent práce:** Mgr. Alena Svobodová

### **Abstrakt v ČJ:**

Představivost pohybu je definována jako kognitivní proces, při kterém si subjekt myslí, že pohyb provádí, aniž by skutečně vykonával pohyb a aktivoval svaly. Cílem této diplomové práce bylo zhodnotit změny svalové aktivity obou dolních kočetin během představy chůze po chodbě s přidáním pohybově náročnějšího úkolu, a to chůze na slackline. Svalová aktivita m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis byla snímána prostřednictvím povrchové elektromyografie. Experimentu se účastnilo celkem 26 zdravých probandů (prům. věk 24 let;  $\pm 1,3$  let). Testované situace byly měřeny v pozici stoje. Jednotlivé situace představovaly klid (K), představu chůze před (P1) a představu chůze po jejím samotném provedení (P2). Při chůzi po chodbě došlo ke statistickému snížení svalové aktivity u m. tibialis anterior dx a m. gastrocnemius medialis dx (K x P2), u m. tibialis anterior dx (K x P1). V případě m. tibialis anterior sin následovalo zvýšení svalové síly (K x P2). V případě chůze na slackline bylo naměřeno statistické zvýšení svalové síly m. tibialis anterior dx (K x P2). Dosažené výsledky odpovídají skutečné představě pohybu vzhledem k vyloučení posturálních vychylek akcelerometrem. Závěrem lze tedy shrnout, že představa chůze vede ke skutečným svalovým modulacím, kdy přidáním náročnějšího typu představy dochází k vyšší aktivaci svalové síly.

### **Abstrakt v AJ:**

Motor imagery is defined as a cognitive process in which the patient imagines carrying out a movement without actually moving and with no muscle activation. The aim of this study is to evaluate changes in muscle activity of the lower limbs during gait imagery. The activity took place in a corridor, with the addition of a more demanding task – walking on a slackline.

Muscle activity of the m. tibialis anterior and the m. gastrocnemius medialis was recorded by electromyography. Twenty six healthy subjects took part in the study (average age 24 years old,  $\pm 1,3$  years old). The tested tasks were measured while the patients were in a standing position. The individual tasks were: standing still (K), imagining walking before it (P1) and then using the gait imagery after the actual walking activity (P1). There was a statistically significant decrease in muscle activity of the m. tibialis anterior dx. and m. gastrocnemius medialis dx (K x P2) and m. tibialis anterior dx (K x P1) while the patient imagined walking in the corridor. In the case of m. tibialis anterior sin increasing muscle activity was measured (K x P2). In walking on slackline statistically significant increase of muscle tone was measured in the m. tibialis anterior dx (K x P2). These results are in correlation with actual motor imagery with excluding postural deviations by accelerometer. As a result of this study we can state gait imagery leads to real changes in muscle modulations and adding more demanding type of movement leads to higher activation of muscle.

**Klíčová slova v ČJ:** motorická představivost, chůze, řízení chůze, povrchová elektromyografie, svalová aktivita, slackline

**Klíčová slova v AJ:** motor imagery, gait, gait control, surface electromyography, muscle activity, slackline

**Rozsah:** 79/7

### **Dedikace**

Tato práce vznikla za podpory grantu Univerzita Palackého IGA\_FZV\_2018\_002 “Potenciál imaginace chůze a jejich modifikací ve fyzioterapii“ (hlavní řešitel PhDr. Barbora Kolářová, Ph.D.)

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracovala samostatně pod odborným vedením Mgr. Marka Tomsy a uvedla všechny použité literární a odborné zdroje.

V Olomouci 13. května 2019

Podpis: .....

### **Poděkování**

Na tomto místě bych velice ráda poděkovala vedoucímu práce panu Mgr. Marku Tomsovi za odborné vedení celé práce, za podnětné připomínky a za velkou vstřícnost.

Dále bych ráda poděkovala Mgr. Dagmar Tečové za ochotu a pomoc se statistickým zpracováním dat.

## Obsah

Úvod .....	8
1 Představa pohybu.....	10
1.1 Vizuální a kinestetická představa pohybu.....	11
1.2 Neuroplasticita mozku .....	12
1.3 Zrcadlové neurony .....	13
1.4 Představa pohybu v praxi.....	14
1.4.1 Zdraví jednotlivci a sportovci.....	14
1.4.2 Cévní mozková příhoda.....	15
1.4.3 Poranění míchy .....	16
1.4.4 Parkinsonova choroba .....	16
1.4.5 Pacienti po amputacích.....	17
1.4.6 Low back pain .....	18
1.5 Hodnocení motorické představitivosti .....	18
2 Chůze.....	20
2.1 Analýza chůze.....	20
2.2 Řídící mechanismy chůze .....	21
2.3 Neurofyziologické aspekty chůze .....	21
2.4 CPG generátory.....	22
3 Povrchová elektromyografie.....	24
3.1 Představa pohybu a EMG .....	24
4 Slackline .....	26
5 Cíle a hypotézy .....	27
5.1 Cíl práce.....	27
5.2 Hypotézy .....	27
6 Metodika.....	28
6.1 Charakteristika testovaných subjektů .....	28

6.2	Realizace experimentu .....	28
6.3	Příprava probandů .....	28
6.4	Vlastní průběh měření .....	29
6.5	Zpracování dat .....	30
6.5.1	Zpracování dat elektromyografie a akcelerometrie .....	30
6.5.2	Statistické zpracování dat .....	31
7	Výsledky .....	32
7.1	Vyjádření k hypotézám na základě statistického vyhodnocení .....	37
8	Diskuze .....	38
8.1	Vliv představy na svalovou aktivitu .....	38
8.2	Diskuze k výsledkům práce .....	40
8.2.1	Diskuze k hypotézám $H_01$ a $H_02$ .....	40
8.2.2	Diskuze k hypotézám $H_02$ a $H_{A2}$ .....	45
8.2.3	Diskuze k hypotézám $H_03$ a $H_{A3}$ , $H_04$ , $H_{A4}$ .....	49
8.3	Aplikace do praxe .....	50
8.4	Limity studie .....	52
	Závěr .....	54
	Referenční seznam .....	56
	Seznam použitých zkratk .....	76
	Seznam tabulek a obrázků .....	78
	Seznam příloh .....	79
	Přílohy .....	80

## Úvod

Chůze je pro člověka nejběžnějším typem lokomoce, sloužícím pro základní životní potřeby. Jedná se o komplikovaný motorický úkon vyžadující koordinaci trupu, končetin a svalů, procházejících mnoha klouby. Systematická analýza chůze je klinickou součástí diagnostiky a rehabilitace zdravotního stavu člověka, zahrnující měření, popis a hodnocení veličin, charakterizující tento typ lokomoce.

Jednou z nejpozoruhodnějších schopností myslí je její schopnost simulovat pocity, pohyby a další typy zážitků. Během posledních pár let nastal zájem o oblast mozku, zabývající se studiem motorické představitosti člověka a mozkových center řídící tento proces. Představa pohybu člověka je popisována jako dynamický kognitivní proces, při kterém si člověk myslí, že daný pohyb vykonává, aniž by došlo ke skutečné exekuci pohybu, ale dochází pouze k aktivaci motorických oblastí mozku stejných jako při samém provedení pohybu.

Pozitivní účinky tohoto propojení představy s motorickým výkonem je po několik let využívána nejen v lékařských oborech, především v oblasti neurorehabilitace neuromuskulárních poruch, nejčastěji u pacientů s Parkinsonovou chorobou, cévní mozkovou příhodou, u pacientů s poraněním páteře či s bolestmi zad, ale je také využívána za účelem zlepšení motorického výkonu u sportovců či hudebníků.

I přes velké množství studií zabývající se touto tematikou, neexistuje stále jednotný závěr působení motorické představitosti a aktivace neurálních struktur s ní spojených.

Chůzi, jakožto složitému komplexnímu pohybu charakteristickému pro každého jedince, se doposud ve studiích věnovalo méně pozornosti, než vlivu představy na pohyby horní končetiny. Záměrem této studie je nejen prozkoumat problematiku představy pohybu z hlediska získání poznatků o neurofyziologických podkladech mechanismů působících na změny svalové aktivity, ale také posoudit vliv představy chůze na modulace svalové aktivity dolních končetin při chůzi pomocí povrchové elektromyografie. Tato studie byla doplněna o pohybově náročnější úkon, a to chůzi na slackline, jakožto způsob ztížení nároků na exekuci pohybu a s tím spojenou představou pohybu. Chůze na slackline představuje alternativu balančního tréninku, náročnějšího na koordinaci a udržení stability z důvodu dynamických manévrů, což má za následek větší nároky na centrální nervovou soustavu a syntézu více multisensorických vstupů.

Pro vyhledávání odborné literatury byly použity internetové databáze PubMed, Google Scholar, EBSCO, Science Direct a ProQuest. Celkem bylo nalezeno 390 studií v anglickém



jazyce, z nichž bylo použito 124. Zbýlých 6 zdrojů představuje česká literatura. Klíčovými termíny při vyhledávání byla slova: motor imagery, gait, muscle activity, surface electromyography, slackline.

# 1 Představa pohybu

Člověk je schopen si představit téměř cokoli. Ať už jde o sed a myšlenku na jídlo, osobu či město, tak jsme například schopni si představit chůzi ve vzdáleném městě. Zároveň je lidský mozek dokonalý natolik, že si dokáže představit provádění činnosti, kterou reálně nedokáže. Například tanec, určitý druh sportu či hraní na hudební nástroj. Tato schopnost je prezentována především ve vizuálních, sluchových a hmatových oblastech, já se však zaměřím na představivost pohybu, konkrétně tedy chůze (Mulder, 2007, s. 1265-1278).

Představivost pohybu je definována jako kognitivní proces, při kterém si subjekt myslí, že pohyb provádí, aniž by jej skutečně vykonával a aktivoval svaly. Jde o dynamický proces, při kterém se představou prováděného pohybu aktivují motorické oblasti mozku, aktivované při přípravě a provádění pohybu. (Mulder, 2007, s. 1265-1278)

Rychle rostoucí počet studií naznačuje, že oblasti mozku, které se zabývají skutečným výkonem pohybů, jsou také aktivní během představy pohybu (Hallett et al., 1994, Sirigu et al., 1995; Stephan et al., 1995; Lotze et al., 1999; Gerardin et al., 2000, Grezes a Decety 2001, Jeannerod 2001, Kimberley et al., 2006 in Mulder, 2007, s. 1265-1278). Mnohé studie ukázaly na podíl premotorické, doplňkové motorické a parietální kortikální oblasti, bazální ganglia a cerebellum, a to nejen během skutečného provedení pohybu, ale také při představě pohybu (Hanakawa et al., 2003, s. 989-1002; Dechent et al., 2004, s. 138-144).

Mnoho těchto experimentálních důkazů naznačuje, že exekuce pohybu a představa pohybu sdílí podstatné překrytí aktivních oblastí mozku (Guillot et al., 2012, s. 1-22). Tato zdánlivá funkční ekvivalence podporuje hypotézu, že motorická představivost čerpá z podobných neuronových sítí, které se používají v aktuálním vnímání a motorické kontrole (Jeannerod, 1994, s. 187-202; Grezes and Decety, 1999, s. 172-178; Holmes a Collins, 2001, s. 60-83). Mimoto motorická představa může také aktivovat neurální obvody, které se používají při vyšetření paměti a emocí (Kosslyn et al., 2001, s. 635-642). Tyto neurální sítě však nejsou striktně identické, jelikož probandi účastníci se měření představy vědí, že pohyb nebude proveden, a proto musí být potlačeny motorické příkazy.

Stipich a kol. (2002, s. 50-54) dokázali ve své studii, že představa pohybu různých částí těla (noha, ruka, jazyk) aktivuje precentrální gyrus v somatotropním uspořádání. Podobné výsledky získal Ehrssonem et al. (2003, s. 3304-3316), který naznačuje, že se zdánlivá část těla odráží více či méně přímo ve struktuře kortikální aktivace. Tyto výsledky jsou v souladu s předchozí studií Fadiga a kol. (1998, s. 147-158), kteří dokázali, že představa pohybu ovlivňuje kortikospinální excitabilitu velmi specifickým způsobem. Další důkazy naznačují,

že aktivace kontralaterálního primárního motorického kortexu, může být diferencovaně ovlivněna instrukcemi motorické představivosti, její schopností a znalostí pohybu (Lotze a Zentgraf, 2010 in Guillot et al., 2012, 10-22).

Na základě těchto studií je možné říci, že kontralaterální primární motorický kortex je aktivován během představy pohybu, ale ve slabší míře než během skutečně provedeného pohybu (Guillot et al, 2012, s. 1-22).

Výsledky studiedle Stinear et al. (2006, s. 157–164) podporují možnost využití představy pohybu v terapii, kde naznačují, že nejen oblast, ale i stupeň aktivace závisí na typu představy pohybu.

## **1.1 Vizuální a kinestetická představa pohybu**

Představa pohybu zahrnuje dva typy strategie- kinestetickou (interní) a vizuální (externí). U kinestetické je pohyb prováděn se všemi smyslovými vjemy (perspektiva první osoby), zatímco během vizuální proband vidí sám sebe provádět konkrétní pohyb z dálky (perspektiva třetí osoby) (Mulder, 2007, s. 1265-1278).

Tento rozdíl mezi perspektivou první a třetí osoby popsal Magill (1988, in Mulder, 2007, s. 1265-1278) jako rozdíl mezi vnitřním a vnějším obrazem. Při vnitřním obrazu osoba skutečně zažije smyslový pocit, jako by v dané situaci opravdu byla. Zatímco během externího obrazu se na sebe člověk dívá, jako na jinou osobu provádějící pohyb.

Použití typu představy je závislé na typu daného úkolu a stupni motorického učení. Kinestetická strategie je více vhodná pro úkoly související s časováním a koordinací. Naproti tomu vizuální strategie je efektivnější pro učení se nového motorického úkolu, zlepšení posturální stability, a to v závislosti na prostředí (Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953).

Nejen oblast ale i stupeň aktivace závisí na typu představy. Při kinestetické představě se zapojuje řada motorických a sensorických oblastí. Jedná se především o rozsáhlou část levého premotorického (precentrální gyrus, inferiorní frontální gyrus) a parietálního kortexu (inferiorní parietální lalok, precuneus), nicméně při vizuální představě je spíše charakteristická aktivace oblastí primárně se podílejících na vizuálních procesech. Mluvíme tedy o okcipitální oblasti včetně zrakové dráhy a prekuneu (Mulder, 2007, s. 1266-1269; Ruby a Decety, 2003, s. 1275-1276; Hétu et al., 2013, s. 945; Lim et al., 2006, s. 2308 – 2309; Ross et al., 2003, s. 1038-1043; Milton et al., 2007, s. 804-811; Milton, Small a Solodkin, 2008, s. 336). Kinestetická motorická představivost má tedy vliv na modulaci

kortikomotorické dráždivosti, obzvláště na supraspinální úrovni. Toto zjištění je klíčové především v jejím klinickém využití (Stinear et al., 2006, s. 157-158).

## 1.2 Neuroplasticita mozku

Vlivem prostředí jsme neustále nuceni určitého typu motorického chování jakožto řešení problému dané situace (Latash et al., 2012; Mulder a Geurts 1993; Mulder a Hochstenbach 2003; Wolpert et al., 2001 in Mulder, 2007, s. 1265-1278).

Kortikální reorganizace není jen důsledkem dlouhodobých strukturálních lézí, ale probíhá i po relativně krátkých intervalech nedostatku normálního vstupu, jako například po dočasném ischemickém nervovém bloku (Edeline et al., 1993, Brasil-Neto et al., 1993; in Mulder, 2007, s. 1265-1278) nebo po (relativně krátkém) období nevyužití (De Jong et al., 2004, Zanette et al., 2004; in Mulder, 2007, s. 1265-1278).

Ve studii Fiori et al. (2006, s. 47-54) pacientů s fokální dystonií bylo prokázáno zajímavé zjištění, a to že myšlenka otočit část těla, konkrétně nebolestivou ruku, aktivuje více či méně stejné struktury mozku potřebné k uskutečnění pohybu dané části těla. To ukazuje na to, že účinky bolesti nejsou omezeny na periferní efekторы, ale vedou k centrální reorganizaci. Jinými slovy, bolest ovlivňuje neurální uspořádání pohybu. U pacientů s muskuloskeletálními bolestmi také autoři zjistili centrální reorganizaci jak somatosenzorického, tak motorického systému. Efekt reorganizace se zvyšoval v souvislosti s délkou trvání bolesti pacientů trpících chronickými bolestmi zad a fibromyalgií. U fantomových bolestí končetin závisela kortikální reorganizace na intenzitě bolesti (Flor 2003, s. 66-72).

Centrální reorganizace se však děje nejen jako důsledek nedostatku senzorického vstupu, ale také jako důsledek zvýšení smyslového vstupu. Například Classen et al. (1998, s. 1117–1123) dokázali, že trvání aktivity 15-30 min pohybů palcem stačilo k zahájení změny směru pohybu vyvolaného transkraniální magnetickou stimulací.

Na činnost vázaná plastičnost se neodehrává pouze v mozku, ale také v míše. Wolpaw a Tenniss (2001, s. 807-843) popsali ovlivnění míšní plasticity senzorickými vstupy a zdůraznili její důležitost pro motorické učení. Proto je dostupnost multimodální informace související s charakterem imputu nezbytným faktorem pro neporušenost motorických oblastí v mozku, dále pro neporušenost somatického vnímání a také pro učení a uzdravení. Naproti tomu může být učení vnímáno jako na vstupu nezávislá plasticita, což se projevuje změnami v mozku. Běžně rozlišujeme 5 zdrojů vstupů souvisejících s motorickým učení-

proprioceptivní, taktilní, vestibulární, vizuální a zvukovou (Magill 1998; Mulder a Hochstenbach 2003; Schmidt a Lee 2005 in Mulder, 2007, s. 1265-1278). Všechny těchto pět zdrojů přímo souvisí s aktuálním provedením pohybu.

### 1.3 Zrcadlové neurony

Podobné jevy jako u představy pohybu byly sponzorovány také při pozorování pohybu (Gallese et al., 1996, Gallese a Goldman 1998, Grèzes a Decety 2001 in Mulder, 2007, s. 1265-1278).

Důležitou roli při provádění představy pohybu hrají zrcadlové neurony. Tyto neurony se aktivují při vykonávání pohybové aktivity jedincem samotným, ale právě i při pozorování pohybu jedince jiného (di Pellegrino et al., 1992, s. 176–180). Název zrcadlové neurony vznikl právě kvůli tzv. „zrcadlení“ pozorovaných událostí a následným niterním vytvářením stejných akcí. V podstatě zprostředkovávají pozorování a provedení daného pohybu (Gallese et al., 1996, s. 593-609).

Poprvé byly objeveny v premotorické oblasti, a to u opic makaků (di Pellegrino et al., 1992, s. 176–180). Dle Jarrett (2012, in press) je existence zrcadlových neuronů patrná, a to v celém motorickém systému, včetně ventrálních a dorzálních nemotorických oblastí, také v primárním motorickém kortexu, zároveň i v různých oblastech parietální kůry. Dle Buccino (2006, s. 114- 126) byly identifikovány u rukou, nohou a úst, kde přispívají k napodobování, pozorování a představě pohybu, sdílejíce stejný motorický podklad jako skutečně vykonaný pohyb.

Zajímavá vlastnost zrcadlových neuronů spočívá v tom, že zrcadlový neuron se při pozorování zapojuje pouze tehdy, když za určitým záměrem interaguje efektor (ruka), nikoliv když je činnost prováděna pomocí nástroje (Gallese et al, 1996; Tai a kol., 2004 in Mulder, 2007, s. 1265-1278). Neurony zůstávají také inaktivní i tehdy, pokud je pohyb prováděn ve vakuu, bez předmětu.

Brass et al. (2000, s. 124-143) zkoumal, do jaké míry pozorování pohybu ovlivní provedení pohybu samotného. Probandi byli instruováni, aby provedli pohyb prstů co možná nejrychleji. Výsledky ukázaly, že počáteční časy pohybů byly rychlejší, když pohyb, který měl být proveden, byl identický s pohybem, který byl pozorován. Pokud například proband pozoroval pohyb, kde docházelo k flexi prstů s dlaní dolů, byla doba pohybu podstatně kratší, než při pohybu prstů s dlaní vzhůru. Což poskytlo důkazy o vlivu pozorování na provádění pohybu.

Podobné výsledky získal Urgesi et al. (2006, s. 7942-7949), kteří rovněž zkoumali vliv držení ruky pozorovatele a ruku modelu pro usnadnění potenciálů zaznamenaných ze svalů rukou při pozorování pohybu prstů.

Jako přínos objevení zrcadlových neuronů Kilner a Lemon, (2013, s. 23) uvádí, poskytnutí nového pohledu, jak jedinec vůbec sám sleduje, interpretuje a provádí určitou činnost. Schopnost interpretace tedy vyžaduje zapojení vlastního motorického systému. Funkční role zrcadlových neuronů z hlediska adaptace či asociace učení během vývoje, je dle autora stále otázkou ke zkoumání.

## **1.4 Představa pohybu v praxi**

Intervence motorické představitivosti mohou být použity ke zlepšení motorického zpracování u různých případů neurologických poruch a učení motorických úkolů (Sharma et al., 2006, s. 1941-1952; Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953).

Studie neurálních představ jednoznačně podporují zapojení jak primárních, tak sekundárních motorických oblastí během představy pohybu, což naznačuje, že neurální impulsy pro motorické příkazy mohou být zpracovány na úrovni mozku a řešeny, alespoň částečně, z kontralaterální primární motorické kůry na přední část míchy přes sestupné dráhy. Proto může kortikospinální facilitace během představy vyplynout ze změn excitability na kortikální úrovni. Někteří autoři také uvedli, že zbytková EMG aktivita během představy odráží vlastnosti pohybových příkazů (Guillot et al., 2012, s.10-22). Na základě příkladů nemocí a zpracování představy pohybu v mozku s výstupem do těla, je možné si lépe představit její fungování a aplikaci v praxi.

### **1.4.1 Zdraví jednotlivci a sportovci**

Studie na zdravých jedincích ukázaly přínos představy pohybu především ve zlepšení výkonnosti. Ve studii Sidaway a Trzaska (2005, s. 1053-1060) došlo u probandů testujících dorziflexi hlezna dynamometrem, ke zvýšení svalové síly. Stejného výsledku bylo dosaženo ve studii Zijdewind et al. (2003, s. 168-173), týkající se plantární flexe hlezna. Příznivé ovlivnění rychlosti pohybu v ramenním kloubu dodává výzkum Gentili et al. (2006, s. 761-772). Dále se jedná například o zvýšení rozsahu kyčelního kloubu (Williams et al., 2004, s. 160-166), či zlepšení posturální kontroly u starších lidí (Fansler et al, 1985, s. 1332-1338; Hamel a Lajoie, 2005, s. 223-228).

## 1.4.2 Cévní mozková příhoda

Většina studií zaměřující se na léčbu pomocí představy pohybu se týkala právě cévní mozkové příhody (Dickstein a Deutsch (2007, s. 942-953). Ačkoliv v některých případech poškození mozku mrtvicí či úrazem může dojít ke zhoršení představy pohybu, zpravidla se zdá být tato schopnost zachována (Johnson et al., 2002, s. 841-852; Malouin et al., 2008, s. 330-340, in Héту et al., 2013, s. 930-949). Schwoebel et al. (2002, s. 1-16) uvádí případ hemiparetického pacienta s mozkovou příhodou s bilaterálními parietálními mozkovými lézemi kolem primární somatosenzorické kůry, u kterého byla plně provedena představa pohybu, a to vzhledem k tomu, že pacienti účinněji prováděli požadovaný pohyb během představy než během skutečného pohybu.

V řadě studií se jednalo o kombinaci fyzikální terapie s klasickým cvičením v porovnání se cvičením v představě. Nejlepších výsledků bylo poté dosaženo kombinací všech těchto metod (Malouin, 2004, s. 1349-1353).

U osob s hemiparézou došlo ke slibným výsledům jak u zvýšení rozsahu pohybu, tak u izolovaných pohybů rukou a prstů (Stevens a Stoykov, 2003, s. 1090-1092). Stejně tak byly zlepšeny pohyby v kotníku a celkově aktivity denního života (ADL) (Page et al., 2005, s. 399- 402; Malouin, 2004, s. 66-75).

Dunsky et. al (2008, s. 1167-1177) uvádí u lidí s chronickou hemiparézou o 40% signifikantně zvýšené délky kroku, kadence a dobu jednorázové opory postižené dolní končetiny, zatímco doba dvojitě opory byla snížena. Zlepšení byla zaznamenána také na stupnici stupnice Tinetti Performance-Oriented Mobility Assessment, stejně jako na funkční chůzi.

Ranganathan et al. (2004, s. 1403-1408) studovali 26 pacientů s mozkovou mrtvicí, kteří podstupovali terapii představou pohybu v kombinaci s fyzikální terapií během 3 týdnů, a to po dobu 1 hodiny denně. Autoři dokázali, že pacienti ve skupině motorické představy se na funkčních úkolech zlepšili výrazněji, než pacienti v kontrolní skupině, kteří dostali pouze terapeutickou pomoc.

Ačkoli existují přesvědčivé důkazy podporující zachování představy pohybu pro lidi po mrtvicí, nelze je všeobecně aplikovat na všechny pacienty s touto nemocí (Johnson, 2000, in Héту, 2013, s. 930-949).

### **1.4.3 Poranění míchy**

Tato poranění vedou ke konzistentní reorganizaci senzomotorických kortikálních map, se změnami v neurální excitabilitě (Topka et al., 1991; Curt et al., 2002; Dunlop, 2008; Kokotilo et al., 2009 in Guillot et al, 2012, s. 1-22) v důsledku deafferentace a deafferentace (Bruehlmeier et al., 1998, s. 3918- 3922).

U pacientů s poraněním míchy nebylo však zaznamenáno přímé ovlivnění pohybu na základě představy (Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953). Cramer et al. (2007, s. 233-242) provedli výzkum na představu pohybu jazyka a nohy s 10 pacienty kompletní tetraplegie či paraplegie a 10 probandy kontrolního vzorku. Hlavním výsledkem u pacientů bylo zlepšení funkce neparalyzovaných svalů. Na základě aktivace kortikálních sítí v souvislosti s představovaným pohybem, lze odvodit, že funkce motorického systému lze regulovat na dobrovolné kontrole pohybu a periferní zpětné vazbě.

Jak úplné přerušení motorických eferentních a senzoričných aferentních drah ovlivňuje aktivaci mozku během terapie představou, zkoumali pomocí magnetické rezonance Alkadhi et al. (2004, s. 131-140). Ve srovnání se zdravými probandy byla zjištěna silnější aktivita u primární, premotorické a doplňkové motorické kůry spolu se subkortikální oblastí. U paraplegických pacientů byla primární motorická kůra trvale aktivována, a to i na stejné úrovni jako při provádění pohybu kontrolní skupiny (Alkadhi et al., 2004, s. 131-140).

Mozková aktivita v souvislosti s představou pohybu byla také zkoumána využitím elektroencefalogramu s implantovanou neuroprotézou (brain-computer interface (BCI)). Pacient byl schopen vytvářet výrazné EEG záznamy představou pohybu jeho paralyzované levé ruky. Na základě výstupních signálů byl chopen přesunout jednoduchý předmět z místa na místo (Müller-Putz et al., 2005 in Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953). Vzhledem k těmto výsledkům je možné uvažovat o představou řízené neuroprotéze pacientů s vysokou míšní lézí.

### **1.4.4 Parkinsonova choroba**

Parkinsonova choroba je nemoc vyplývající z degenerace dopaminergních nigrostriálních drah (Kish et al., 1988, Turner et al., 2003, Yu et al., 2007 in Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953). Bylo tvrzeno, že porucha iniciace pohybu ovlivňuje také motorické pohyby v představě (Thobois et al., 1995, s. 1689-1698). Několik studií dokládá sníženou schopnost simulovat pohyby těla. Například při rotaci částí těla v představě, vykazovaly více deficitu ve srovnání s představou rotace písmen či 3D předmětů (Thoibos et al., 2000, s. 996-1002).



Yaguez et al. (1999, s. 115-127) prokázali, že poruchy bazálních ganglií ovlivňují schopnost představit si provedení pohybu. Porovnávali schopnost učit se grafomotorického úkolu u dvou skupin neurologických pacientů. První skupina sestávala z pacientů trpících Parkinsonovou chorobou, zatímco druhá skupina se skládala z pacientů s Huntingtonovou chorobou. Porovnávali 2 skupiny po 10minutovém tréninku. Výsledky byly pozoruhodné. Bylo zjištěno, že pohyb v představě měl pozitivní vliv na výkon pohybu u pacientů s Huntingtonovou chorobou, ale žádný účinek na výkonnost pacientů s Parkinsonovou chorobou. Pacienti s Parkinsonovou chorobou se nenaučili daný úkol ani v představě, ani fyzickým cvičením.

Z nejnovějších studií Heremans et al. (2012, s. 27-35) bylo zkoumáno, zda by se kvalita představy pohybu mohla zlepšit přidáním okolních vlivů. Výzkumu se účastnilo 14 pacientů s Parkinsonovou chorobou a 14 kontrolních zdravých lidí. Nejlepších výsledků bylo dosaženo přidáním vizuálních, nikoliv sluchových podnětů. Přidání vizuálních podnětů kompenzuje deficity pacientů při zpracování proprioceptivních informací, zároveň došlo ke snížení bradykineze a zvýšení rychlosti. Sluchové podněty se ukázaly užitečné při realizaci rytmických úkolů, jako je chůze (Heremans et al., 2012, s. 27-35).

#### **1.4.5 Pacienti po amputacích**

Většina poznatků týkajících se zobrazování u těchto pacientů je odvozena ze studií zkoumajících terapeutickou léčbu fantomových bolestí končetin (Shukla et al., 1982, Ehde et al., 2000 in Guillot et al, 2012, s. 1-22).

Záznamy EMG na úrovni pahýlu odhalily specifické motorické povelky, které naznačují zachování pohybových programů, kontrolujících amputovanou končetinu (Reilly et al., 2006, s. 2211-2223).

Zajímavé je, že při pokusu o provedení pohybu s amputovanou končetinou, například pomocí vizuální zpětné vazby, dochází k tendenci úlevy od bolesti (Chan a kol., 2007; Mercier a Sirigu, 2009 in Guillot et al, 2012, s. 1-22).

MacIver a kol. (2008, s. 2181-2191) zkoumali účinky 6- týdenního tréninku představou pohybu na fantomovou bolest končetin. Měření probíhalo pomocí funkční magnetické rezonance na začátku a na konci experimentu. Došli k závěru, že pacienti po amputacích jsou schopni zpracovat si pohybový úkon na základě představy pohybu na úrovni CNS. Představa pohybu vyvolala tzv. obrácenou plasticitu, čímž došlo k redukci kortikální reorganizace,

tj. snížení aktivace v kontralaterální oblasti primární motorické kůry a primární senzitivní kůry ruky, a to vedlo ke snížení bolesti.

#### **1.4.6 Low back pain**

Důkazy kortikální reorganizace v sensorimotorickém systému chronických pacientů s Low back pain (LBP) jsou spíše vzácné (Vrana et al., 2015).

Ve studii Vrana et al. (2015) bylo zapojeno 29 probandů, 15 s LBP, 14 zdravých s pomocí funkční magnetické rezonance. Představa chůze se skládala z předem promítnutých videoklipů náhodných každodenních aktivit, zahrnující pohyb celého těla, jako třeba chůze po rovině, do schodů, ze schodů. Pacienti s chronickou LBP vykazovali významně sníženou aktivitu ve srovnání s pacienty s kontrolního vzorku v mozkových oblastech souvisejících s primární motorickou kůrou, zároveň došlo inhibici sensorické aference (Vrana et al., 2015)

Fairweather a Sideway (1993, s. 385-392) prokázal ve 3- týdenním rehabilitačním programu kombinace vizuální představy s pohybovým cvičením snížení bolesti zad a zlepšení posturální kontroly, u pacientů, trpících chronickou bolestí zad, kteří byli hodnoceni jako pacienti s různou mírou lordózy a kyfózy.

### **1.5 Hodnocení motorické představivosti**

Představivost je multifaktoriální schopnost, odlišná mezi jednotlivci. Schopnost motorické představivosti je obvykle hodnocena individuálními reakcemi dle hodnotících číselných škál (Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953).

Movement Imagery Questionnaire- Revised představuje zjednodušenou formu MIQ, který zahrnoval 18 položek. Z důvodu úspory potřebného času a minimalizace fyzicky náročnějších úkolů, byl redukován (Gregg et al., 2010, s. 249-257). Jedná se o standardizovaný, nejčastěji používaný dotazník, posouzení motorické představivosti, založený na subjektivním hodnocení předdefinovaných pohybů. Hodnocena je schopnost vizuální a kinestetické představy pohybu na základě 8 úkolů (4 vizuální, 4 kinestetické), které proband ohodnotí na sedmi bodové Likertově škále (Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953; Kalicinski a Lobinger, 2013, s. 61-75). Před každou představou jsou probandi vyzváni k provedení pohybu zahrnujícího několik kroků, které musí aktivně provést. Poté zaujme stejnou výchozí polohu a představí si daný pohyb nejdříve z perspektivy třetí osoby, a poté z pohledu sama sebe (Gregg et al., 2010, s. 249-257).

Vividness of Motor Imagery Questionnaire (VMIQ) je dotazník zaměřující se na hodnocení živosti představy. Stejně jako u MIQ dotazníku je polovina otázek zaměřena na vizuální představivost a polovina na představu kinetickou (Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953). Zatímco MIQ a VMIQ jsou formulovány pro zdravé probandy, pro jedince s tělesným postižením byl navržen dotazníkový, a to Movement Imagery Questionnaire-Revised Second (MIQ-RS) a Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) (Gregg et al., 2010, s. 249-257).

## 2 Chůze

*„Chůze je základní lokomoční stereotyp vybudovaný v ontogenezi na fylogeneticky fixovaných principech charakteristických pro každého jedince.“* (Kolář, c2009, s. 48).

Jde o mimořádně složitou funkci vyžadující koordinaci mnoha svalů a kloubů (Shumway-Cook, c2012, s 315-347). Základními prvky úspěšné lokomoce jsou progrese, posturální kontrola a adaptace. Progrese zajišťuje pohyb těla v požadovaném směru. Je zprostředkována základními lokomotorickými vzory, které vytváří a produkují rytmické pohyby svalů dolních končetin a trupu. Zároveň slouží k iniciaci a zastavení pohybu. Posturální kontrola vytváří a udržuje vhodnou pozici těla a dynamickou stabilitu pohybujícího se těla. Podporuje a řídí tělo proti gravitaci. Třetím základním požadavkem pohybu je schopnost přizpůsobit chůzi nejen cílům jedince, ale také překážkám okolí. Dle potřeby dojde ke změně směru či rychlosti (Patla, 1997, in Shumway-Cook, c2012, s. 315-347). Stabilizovaná vzpřímená poloha těla, v klidu i v pohybu, zajišťuje bezpečnou chůzi po nerovném terénu (Véle, 2006, s. 348).

Souhra těchto tří strategií zajišťuje minimální namáhání pohybového aparátu, což umožní dlouhodobou strukturální integritu systému (Shumway-Cook, c2012, s. 315-347).

### 2.1 Analýza chůze

Chůze a analýza této formy lokomoce je klinickou součástí rehabilitace a diagnostiky zdravotního stavu jedince (Engin et al., 2005, s. 173-188). Díky analýze lze identifikovat jednotlivé fáze chůze, stanovit kinematické a kinetické parametry a kvantitativně vyhodnotit pohybové funkce (Engin et al., 2005, s. 173-188).

Mezi hlavní pohyby, ke kterým dochází, je především flexe-extenze dolních končetin, což je přenášeno na pánev a dále na páteř (Véle, 2006, s. 347- 352). Na páteři poté dochází k torznímu charakteru, vzhledem k protisměrnému otáčení pánve k ramennímu pletenci spolu se stranovými i svislými odchylkami (Véle, 2006, s. 347- 352).

Pro zhodnocení a rozbor chůze je možno využít různých typů pohybových senzorů a systémů, jako je akcelerometr, gyroskop, magnetorezistentní senzory, flexibilní goniometr, elektromagnetický sledovací systém (ETS), snímač síly a snímače elektromyografie (EMG) (Engin et al., 2005, s. 173-188). Jednotlivé senzory je možné použít samostatně nebo kombinovaně (Engin et al., 2005, s. 173-188).

## 2.2 Řídící mechanismy chůze

Chůze je komplikovaný pohybový úkon vyžadující koordinaci svalů trupu a končetin (Mackay-Lyons, 2002, s. 69-83), prováděný neustálým oboustranným tokem informací z centra do periferie a naopak (Ambler, 2011, s. 17-25). Velká část neurálních a neneurálních řídicích mechanismů chůze byla zkoumána na zvířatech (Shumway-Cook, c2012, s 315-347).

Výzkum v posledních 30 letech výrazně zlepšil naše chápání kontroly nervového systému základních rytmických pohybů. Výsledky těchto studií ukázaly, že centrální generátory pohybu v míše hrají důležitou roli při jejich produkci (Grillner, 1978, s. 269-277; Smith, 1980, s. 95-115; Wallén, 1995, s. 125-133).

Vzhledem k tomu, že ataky z okolí nejsou nikdy totožné, řešení dané situace tedy také nemůže být stejné. Z toho vyplývá důležitá informace, že motorické řízení nemůže být výsledkem rigidního hierarchicky uspořádaného systému, který generuje eferentní příkazy k jednotlivým svalům a kloubům na základě motorických programů uložených v neurálním systému. Motorické řízení je mnohem více komplexní proces, založený na neustálé interakci motorických procesů s kognitivními (Decety a Grèzes, 1999, s172-178).

Na základě periferních a centrálních vstupů, jsou kortikální oblasti a odpovědi na vstupy průběžně reorganizovány (Mulder Th, 2007, s. 1265–1278). Jinými slovy, zkušenost může změnit strukturu mozku. Tato schopnost dynamických reorganizací senzorické a motorické kůry je důležitou součástí normálního učení a zotavení se (Mulder Th, 2007, s. 1265–1278).

Dle Králíčka (2004, s. 141) a současných poznatků výše zmíněných autorů, nemá lokomoční pohyb reflexní charakter a může probíhat bez zpětnovazebné signalizace z periferie. Celý pohyb je výsledkem spuštění tzv. centrálního motorického programu, jakožto předem připraveného vzorce nervové aktivity. Je zakódován v paměti neurální sítě, označované jako generátor vzorce pohybu.

## 2.3 Neurofyzilogické aspekty chůze

Na základě spojitosti mezi primární motorickou kůrou a aktivitou dorzálních flexorů konečné kontroly pohybu chodidla během lokomoce bylo prokázáno, že řízení lokomoce je daleko více závislé na subkortikálních a kortikálních vstupech u lidí, než u zvířat (Copaday et al., 1999 in Malouin et al., 2003, s. 47-62).

Standardně v rámci každého kroku dostává mozeček od senzorických receptorů aferentní zpětnou vazbu (přes spinocerebellární dráhy) a vysílá modulační signály

k mozkovému kmeni, které jsou přenášeny na míchu jádry (vestibulospinální, rubrospinální a retikulospinální dráhy), které působí na motorických neuronech, aby jemně doladily pohyb dle potřeby daného úkolu (Grillner a Zangger, 1979, s. 241-261).

Mozková kůra je důležitá v dovednostech, jako je chůze po nerovném terénu. V takovém případě má významnou roli zraková kontrola, která nám pomáhá rozpoznávat objekty a případy z různých hledisek a pracovat tyto informace z egocentrické perspektivy, abychom se mohli efektivně pohybovat v prostoru (Milner a Goodale, 1993, s. 317-337).

Bylo předpokládáno, že hipokamp je místo, které kóduje topologické informace, zatímco parietální kůra (přijímá vizuální a somatosenzorickou informaci) poskytuje metrické znázornění trojrozměrného prostoru. Přední mozková kůra spolu s bazálními ganglii pak tuto informaci přemění na odpovídající pohyby v egocentrickém prostoru (Paillard, 1987; Patla, 1997 in Shumway-Cook, c2012, s 315-347).

Je také pravděpodobné, že premotorická kůra a doplňková motorická kůra přispívají k plánování a programování pohybu kromě posturální kontroly, neboť pacienti s lézemi v těchto oblastech vykazují problémy s iniciací chůze a se zastavením chůze. To může být proto, že kortikoretikulární dráhy jsou důležité pro posturální přípravu před začátkem vzniku pohybu (Takakusaki et al. 2008 in Shumway-Cook, c2012, s 315-347).

## **2.4 CPG generátory**

Centrální generátory pohybu (dále jen CPG, z angl. central pattern generators) se nacházejí v prodloužené míše, samostatně pro každou končetinu. Jedná se o síť nervových buněk produkující charakteristické, rytmické pohyby, pro které je specifická synergie velkého počtu svalů (například chůze, běh) bez vědomého úsilí, tzv. pacemakery (udavače rytmu) lokomoce (Verma et al., 2012, s. 14-21).

CPG jsou v podstatě vrozené. U lidí jsou přítomny již při narození jako krokový vzor a vyvíjejí se v průběhu dětství. Jsou iniciovány spontánně nebo spouštěny periferními stimuly. Rytmické střídavé pohyby nohou u novorozence jsou koordinovány CPG, dítě však není schopné udržovat tělesnou rovnováhu, jelikož postrádají integraci příslušného aferentního vstupu do programovaného svalstva nohou. (Nashner a Forssberg, 1986, s. 1382-1394).

Jejich aktivace, spolu s určením charakteru lokomoce, vychází z oblasti retikulární formace, zvané mesencefalická lokomoční oblast (Králíček, 2004, s. 141). V případě poruchy zadních míšních kořenů je cyklus lokomočních pohybů změněn a zpomalen (Králíček, 2004,

s. 141). Tyto sítě jsou schopny vytvářet opakované, rytmické výstupy i při absenci senzorické zpětné vazby nebo časových signálů z jiných externích zdrojů (Dickinson, 2006, s. 604-614).

Nedávné studie jasně ukázaly, že existují rozsáhlé interakce mezi modulátory neuronů, generátory pohybu, které řídí, a neuromuskulárními systémy, ve kterých působí. Kromě toho samotné generátory pohybu neexistují izolovaně, ale často musí interagovat buď přímo, nebo prostřednictvím modulátorů, aby vytvářely koordinované výstupy z více systémů (Dickinson, 2006, s. 604-614).

Ačkoliv jsou centrální generátory pohybu schopné produkovat stereotypní pohybové vzory a provádět určité adaptivní funkce, sestupné dráhy z vyšších center a senzorická zpětná vazba z periferie umožňují bohatou variaci pohybů a přizpůsobení se okolnímu prostředí (Shumway-Cook, c2012, s 315-347).

### **3 Povrchová elektromyografie**

Podstatou povrchové elektromyografie je snímání akčních potenciálů během svalové kontrakce, šířících se buněčnou membránou (Kolářová, 2014, s. 75-100). Povrchová elektromyografie realizuje obraz o neurálním mechanismu pohybové kontroly prostřednictvím snímání bioelektrických signálů (Kolářová, 2014, s. 75-100). Autorka dále uvádí, že v průběhu pohybu poskytuje snadno a neinvazivně aktivitu více svalů současně.

Metoda je využívána především ke sledování a hodnocení mechanismů strategie kontroly pohybu za fyziologických i patologických stavů (Kolářová, 2014, s. 75-100). Mezi hlavní využití povrchové elektromyografie patří určení timingu (časová sekvence náboru), svalové únavy a velikosti svalové aktivity (Kolářová, 2014, s. 75-100). Výsledek měření je pouze surový záznam, v podobě nestejně uspořádané amplitudy, který je nutno dále zpracovat (Kolářová, 2014, s. 75-100). Analýza míry svalové aktivity je nejčastěji prováděna hodnocením změny frekvenčního spektra a amplitudy v čase (Kolářová, 2014, s. 75-100).

Výsledkem je, že senzory EMG mohou být použity k realizaci hodnocení svalové aktivity při chůzi člověka a hrají důležitou roli při hodnocení chůze, například u jedinců s problémy v dolních končetinách (Rainoldi et al., 2014, s. 37-43). Jelikož velikost signálů EMG nemusí být přímo úměrná napětí vytvořenému ve svalu s měnícím se fázovým EMG, řada studií ilustruje EMG aktivitu jako jednoduché "on-off" diagramy.

#### **3.1 Představa pohybu a EMG**

Existuje velké množství experimentálních studií o fyziologických projevech, jako svalové činnosti ve spojitosti s představou pohybu (Guillot et al, 2012, s. 1-22). Podkladem těchto úvah, zda motorická představitelost je doprovázena svalovými kontrakcemi, byla práce Jacobsona (1930, 1932), který poskytl jako první vědecký důkaz, že představa pohybu paže vytváří malé kontrakce svalů ramene (Guillot et al, 2012, s. 1-22).

Svalová aktivita během představy pohybu byla popsána v mnoha studiích (Yue a Cole, 1992; Decety et al., 1993; Lotze et al., 1999b; Mulder et al., 2005 in Guillot et al, 2012, s. 1-22). Je zajímavé, že nedostatek EMG aktivity je u některých vědců považována za předpoklad motorické představitelosti, zatímco někteří vědci vyžadují podprahovou EMG aktivitu, jako následek představy pohybu (Dickstein et al., 2005, s. 475-483; Michelon et al., 2006, s. 817-818).



Například vzorek elektromyografické aktivity během pohybové představy všeobecně podporuje hypotézu reziduální svalové aktivity, která může pocházet z neúplné inhibice motorického povelu (Jeannerod, 1994, s. 187-202). Tento předpoklad je podpořen také experimenty transkraniální magnetické stimulace, vymezující funkci kortikospinální facilitaci během představy pohybu (Stinear, 2010, s. 157–164).

Podprahový záznam EMG aktivity byl pozorován nejen v agonistických, ale také v antagonistických svalech během představy pohybu koncentrické, izometrické a excentrické kontrakce, odrážející konfiguraci EMG aktivity zaznamenané během skutečného pohybu. Tato data podporují hypotézu, že svalová aktivita zaznamaná během motorické představy, není obecně tonická (Bakker et al., 1996; Guillot et al., 2007in Guillot et al, 2012, s. 1-22).

Bakker a kol. (1996, s. 313-324) a Boschker (2001, s. 593-603) zjistili, že představa zvedání činky o hmotnosti 9 kg má za následek větší EMG aktivitu než zvedání 4 a půl kg. Jeannerod (1994, s. 187-202) a Bonnet et al. (1997, s. 221- 228) také přisuzovali změny v EMG aktivitě během představy k neúplné inhibici motorického příkazu. Tato hypotéza byla zdůrazněna rozdílnou svalovou aktivitou spojenou s typem kontrakce.

Určitá rozdílnost záznamů EMG aktivity byla upozorována také při aktivaci kinestetické a vizuální představitosti. Konkrétně během vizuální představy se aktivita EMG nelišila od aktivity zaznamenané během odpočinku, ale během kinestetické představitosti došlo ke zvýšení amplitudy, což naznačuje zvýšení svalového tonu (Milton et al., 2008, s. 337). Toto pozorování je v souladu s poznatkem, že každý lidský pohyb má jak tonickou, tak fázičkosložku (Bullock et al, 1998, s. 48-62). Pozorování primátů a lidí po hemisférektomii naznačuje, že fázičká složka volných pohybů prstů je nejvíce spojena s aktivací v primárním motorickém kortexu, zatímco tonická složka je s největší pravděpodobností spojena silněji s aktivací v jiných kortikálních a subkortikálních oblastech (Milton et al., 2008, s. 336-341).

Neucelenost názorů zabývajících se EMG aktivitou může být vysvětlena rozdíly provádění měření či povahou záznamu EMG (Guillot et al, 2012, s. 1-22). Například EMG aktivita nemusí být dobře rozpoznána vzhledem k použití povrchových EMG elektrod. Aplikace intramuskulárních elektrod na jednotlivá svalová vlákna by byla řešením, ale vzhledem k vysoké iritabilitě je jejich užití omezeno. Dalšími důvody chybného záznamu může být typ svalové kontrakce, intenzita duševní námahy a charakter představy (Guillot et al, 2012, s. 1-22).

## 4 Slackline

Jedná se o relativně mladý sport, jehož definici v odborné literatuře najdeme pouze zřídka. Čistě elementárně bychom jej mohli popsat jako chůzi po úzkém textilním laně bez jakýchkoliv pomůcek, napnutém mezi dvěma pevnými body. Tento sport, pro někoho také životní styl, je základem především rovnováha. Slackline se dá využít nejen k chůzi samotné, ale také k různým statickým či dynamickým manévřům (Kváš, 2013, s. 4).

V rámci našeho výzkumu byl aplikován Slack Rack. Slack Rack 300 Gibbon je samonosná slackline konstrukce, představující alternativu klasické slackline v případě, kdy popruh není za co ukotvit. Celá konstrukce se skládá ze tří jednotlivých dílů, po složení měří 2-3 m. Šířka využívaného popruhu je 5 cm, jeho napětí lze variovat podle potřeby silou jeho utahení. Minimálně však musí být popruh napnutý tak, aby při stožení v jeho středu nedocházelo k dotyku s konstrukcí (Gibbon, <https://www.gibbon-slacklines.com/en/>).

Základním předpokladem chůze po Slack Racku je schopnost udržet rovnováhu a balancovat na jedné končetině na úzkém popruhu mezi dvěma kotvícími body. Obtížnost chůze lze měnit výškou a délkou popruhu, obecně platí, že krátká délka vede k vyšší motivaci, jelikož je pro lidi jednodušší představit si její překonání (Balcom, 2005, s. 8; Kuchařová, 2015, s. 6). Jednou z podmínek úspěšné chůze po slackline je vizuální fixace konkrétního bodu (Ashburn, 2013, s. 33).

## 5 Cíle a hypotézy

### 5.1 Cíl práce

Cílem práce bylo zhodnotit aktivitu m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis obou dolních končetin při představě chůze po chodbě a na slackline pomocí EMG záznamu. Dalším cílem bylo posoudit, zda při představě chůze po chodbě a slackline dochází ke změně posturálních výchylek.

### 5.2 Hypotézy

Vzhledem ke stanoveným cílům byly formulovány následující hypotézy:

Hypotéza  $H_01$ : Svalová aktivita m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis se v klidu, při představě a při představě po realizaci chůze po chodbě neliší.

Hypotéza  $H_A1$ : Svalová aktivita m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis se v klidu, při představě a při představě po realizaci chůze po chodbě liší.

Hypotéza  $H_02$ : Svalová aktivita m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis se v klidu, při představě a při představě po realizaci chůze po slackline neliší.

Hypotéza  $H_A2$ : Svalová aktivita m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis se v klidu, při představě a při představě po realizaci chůze po slackline liší.

Hypotéza  $H_03$ : Posturální výchylky v klidu a během představy chůze nebo během představy chůze bezprostředně po realizaci chůze po chodbě se významně neodlišují.

Hypotéza  $H_A3$ : Posturální výchylky v klidu a během představy chůze nebo během představy chůze bezprostředně po realizaci chůze po chodbě se významně odlišují.

Hypotéza  $H_04$ : Posturální výchylky v klidu a během představy chůze nebo během představy chůze bezprostředně po realizaci chůze po slackline se významně neodlišují.

Hypotéza  $H_A4$ : Posturální výchylky v klidu a během představy chůze nebo během představy chůze bezprostředně po realizaci chůze po slackline se významně odlišují.

## **6 Metodika**

### **6.1 Charakteristika testovaných subjektů**

Do studie bylo zařazeno celkem 26 zdravých probandů – 13 mužů a 13 žen. Jednalo se především o studenty Univerzity Palackého v Olomouci. Jejich průměrný věk byl 24 let  $\pm 1,3$  let, průměrná výška 176 cm  $\pm 7,4$  cm a váha 68 kg  $\pm 6$  kg. Podmínka zařazení do studie byla nepřítomnost akutního porážového stavu, neurologického, ortopedického nálezu, akutní bolesti či kognitivního deficitu, které by mohly jakýmkoliv způsobem omezit či znemožnit měření. Dalším vstupním kritériem byla dobrá schopnost motorické představitivosti (vizuální i kinestetické) hodnocená pomocí standardizovaného MIQ-R dotazníku (viz příloha 2, str. 82). Na základě vyšetření měli všichni hodnocení probandi dobrou motorickou představitivost. Probandi byli rovněž požádáni během měření o subjektivní hodnocení představy po každém jejím provedení, a to na stupnici od 1 do 5, kdy 1= velmi obtížné a 5= velmi snadné (viz příloha 4, str. 86). Všichni probandi podepsali informovaný souhlas o průběhu měření (viz příloha 1, str. 81). Realizace experimentu byla schválena Etickou komisí FZV UP v rámci projektu IGA UP.

### **6.2 Realizace experimentu**

Měření byla realizována v prostorách kineziologické laboratoře Fakultní nemocnice v Olomouci, v pracovních dnech. Cílem bylo zajistit stálé podmínky prostředí s neměnnou teplotou a osvětlením. Po vyplnění výše uvedených dotazníků byli probandi následně elektromyograficky zhodnoceni za využití povrchových hybridních senzorů se zabudovaným akcelerometrem firmy Delsys.

Všichni probandi měli stejné a neměnné pořadí jednotlivých úkolů. Tyto polohy, stoj a chůze byly zvoleny na začátku experimentu.

### **6.3 Příprava probandů**

Před aplikací senzorů byla daná svalová bříška nejprve ozřejmena palpačně při izometrické kontrakci. Kůže byla očištěna abrazivní pastou, otřena mokrým ručníkem a následně osušena. U mužů předcházelo ve většině případů oholení daného místa z důvodu lepšího kontaktu elektrody s pokožkou. Aplikované elektrody byly přilepovány paralelně se svalovými vlákny,

kdy šipka na elektrodě směřovala kraniálně. Následovalo zapnutí elektrod a kontrola jejich aktivity v programu za volní aktivity testovaných svalů.

Snímaná svalová aktivita se týkala následujících svalů:

1. M. tibialis anterior dx. (TA dx.)
2. M. tibialis anterior sin. (TA sin.)
3. M. gastrocnemius medialis dx. (GM dx)
4. M. gastrocnemius medialis sin. (GM sin)
5. M. biceps femoris dx. (BF dx)
6. M. biceps femoris sin (BF sin)
7. M. rectus femoris dx. (RF dx)
8. M. rectus femoris sin. (RF sin)

Akcelerometrie byla snímána z oblasti kosti křížové, na spojnici horních spin a dále bilaterálně z laterální oblasti v polovině stehen. Pro tuto práci byly vybrány svaly m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis.

## **6.4 Vlastní průběh měření**

Před samotným zahájením měření byli všichni probandi seznámeni s chodbou v blízkosti měření, po které se následně procházeli reálně, v představě a po slackline.

Výchozí poloha pro všechny situace představ byl stoj před bílým plátnem s chodidly na šířku pánve, horními končetinami volně visícími podél těla a otevřenými očima. Pro zajištění neměnné výchozí polohy chodidel byly tyto zakresleny na papír a následně přilepeny k podlaze. Pro situace měření chůze byly taktéž stanoveny stejná výchozí místa, kdy chůze byla ukočena na pokyn terapeuta dle požadované standardizované délky záznamu.

Snímaná svalová aktivita se týkala následujících situací v tomto pořadí:

1. Jako referenční hodnota sloužila klidová svalová aktivita měřená ve výchozí poloze stoje, s otevřenými očima před bílým plátnem. Pro zamezení nežádoucích představ si proband zpíval píseň Happy Birthday či českou verzi Hodně štěstí, zdraví.
2. Proband byl instruován k co nejpresnější představě chůze po chodbě s otevřenými očima.

3. Proband realizoval vlastní chůzi po chodbě. Při dosažení konce chodby se otočil a pokračoval zpět.
4. Proband byl instruován k opětovnému představení chůze po chodbě před bílým plátnem výchozí polohy a otevřenýma očima.
5. Probandovi bylo na místě výchozí polohy předloženo předpřipravené video chůze jiné osoby po dané chodbě, pro záznam svalové aktivity během observace.
6. Proband byl opět vyzván k představě písničky pro záznam klidové situace.
7. Proband byl instruován k co nejpřesnější představě chůze po slackline.
8. Následovala reálná chůze po slackline. V případě nedosažení konce, proband nastoupil v místě sestupu a pokračova dále.
9. Proband byl instruován k co nejpřesnější představě chůze po slackline.
10. Probandovi bylo na místě výchozí polohy stoje předloženo video chůze jiné osoby po slackline a byla měřena svalová aktivita během observace.

Všechny měřené představy trvaly po dobu 30 s, včetně vlastního provedení chůze po chodbě a slackline, které byly ukončeny na povel terapeuta.

Po provedení každé představy byl proband vyzván ke zhodnocení subjektivní obtížnosti představy číslem od 1 do 5, kdy 1 představovala velmi obtížnou představivost a 5 velmi snadnou.

## **6.5 Zpracování dat**

### **6.5.1 Zpracování dat elektromyografie a akcelerometrie**

Všechny EMG a akcelerometrické záznamy byly zpracovány v programu EMGworks®Analysis. Časový úsek všech záznamů byl vybrán v rozmezí 3-13 s. Záznamy EMG byly zrektifikovány a vyhlazen pomocí algoritmu střední kvadratické hodnoty (RMS-root mean square) o velikosti okna 0,125 sekund a překrytí okna 0,0625 sekund. Záznamy akcelerometrů byly hodnoceny v rovině X, Y, Z, u stejných situací jako EMG. Zpracované RMS hodnoty EMG a akcelerometrů byly převedeny do programu Microsoft Office Excel. Zde byla vypočítána průměrná a maximální svalová aktivita všech měřených svalů, dále z akcelerometrů jejich minimální hodnota, maximální a rozdíl. Následovalo seřazení upravených hodnot do tabulek za účelem statistického zpracování.

## 6.5.2 Statistické zpracování dat

Statistické zpracování dat proběho v programu STATISTICA verze 13.4.0 EN. Pro statistickou analýzu dat byla nejdříve ověřena normalita rozdílů porovnávaných úkolů, a to popisnou statistikou pomocí Shapiro- Wilcova testu. Normalitu podmiňovalo  $p > 0,05$ . Vzhledem k nenormálnímu rozložení byl pro další zpracování zvolen neparametrický Wilcoxonův párový test. Byla použita Bonferroniho korekce, kdy za signifikantní výsledky byly považovány ty, jejichž hodnota statistické významnosti byla  $p < 0,02$ .

## 7 Výsledky

Tabulky 1, 2, 3 a 4 zobrazují průměr, medián a směrodatnou odchylku hodnoty svalové aktivity jednotlivých svalů během testovaných situací chůze po chodbě a chůze po slackline.

**Tabulka 1** Základní popisné statistiky vybraných svalů během chůze po chodbě maximálních naměřených hodnot.

	K ch[ $\mu\text{V}$ ]			P1 ch[ $\mu\text{V}$ ]			P2 ch[ $\mu\text{V}$ ]		
	X	Med	SD	X	Med	SD	X	Med	SD
TA dx	19,99	12,46	17,67	50,54	11,31	119,28	15,75	9,04	19,66
TA sin	36,9	16,67	48,89	40,28	16,43	113,29	16,8	16,11	3,67
GM dx	44,8	20,43	74,92	21,3	17,78	17,94	20,62	17,49	15,31
GM sin	55,69	17,04	129,8	22,51	18,15	14,7	18,75	15,43	11,86

**Legenda:** K – klid, P1 ch – představa před chůzí, P2 ch – představa po realizaci chůze, TA – musculus tibialis anterior, GM – musculus gastrocnemius medialis, sin – sinistra, dx – dextra,  $\mu\text{V}$  – mikroVolt, X – průměr, Med – medián, SD – směrodatná odchylka

**Tabulka 2** Základní popisné statistiky vybraných svalů během chůze po slackline maximálních naměřených hodnot.

	K s [ $\mu\text{V}$ ]			P1 s [ $\mu\text{V}$ ]			P2 s [ $\mu\text{V}$ ]		
	X	Med	SD	X	Med	SD	X	Med	SD
TA dx	12,19	8,79	8,39	21,38	9,36	32,83	19,36	10,87	16,75
TA sin	16,83	16,01	5,78	24,04	15,95	32,91	28,03	16,46	28,68
GM dx	23,66	14,91	32,55	25,7	18,08	28,96	25,24	20,94	20,77
GM sin	21,5	16,82	13,38	19,69	16,25	12,28	23,64	26,47	11,9

**Legenda:** K – klid, P1 s – představa před chůzí, P2 s – představa po realizaci chůze, TA – musculus tibialis anterior, GM – musculus gastrocnemius medialis, sin – sinistra, dx – dextra,  $\mu\text{V}$  – mikroVolt, X – průměr, Med – medián, SD – směrodatná odchylka



**Tabulka 3** Základní popisné statistiky vybraných svalů během chůze po chodbě průměrných naměřených hodnot.

	K ch			P1 ch			P2 ch		
	X	Med	SD	X	Med	SD	X	Med	SD
TA dx	6,35	6,16	3,03	5,82	5,84	2,81	4,77	4,92	1,71
TA sin	6,97	5,87	3,67	6,08	5,78	2,05	8,68	5,3	17,79
GM dx	9,33	8,73	4,62	8,09	7,39	4	7,51	7,25	3,37
GM sin	9,13	8,15	4,74	8,69	7,39	4,82	8,64	6,77	5,78

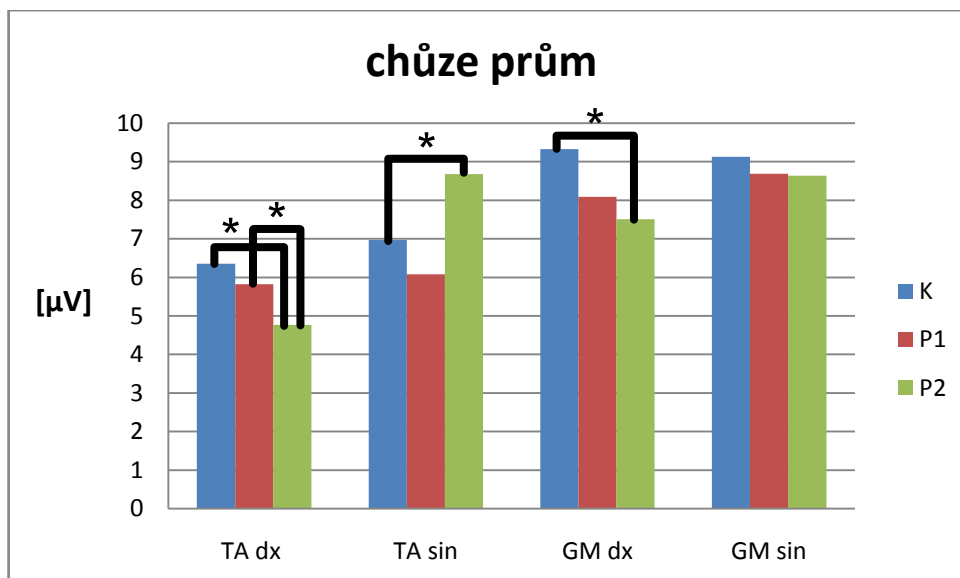
**Legenda:** K – klid, P1 ch – představa před chůzí, P2 ch – představa po realizaci chůze, TA – musculus tibialis anterior, GM – musculus gastrocnemius medialis, sin – sinistra, dx – dextra,  $\mu\text{V}$  – mikroVolt, X – průměr, Med – medián, SD – směrodatná odchylka

**Tabulka 4** Základní popisné statistiky vybraných svalů během chůze po slacklineprůměrných naměřených hodnot.

	K s			P1 s			P2 s		
	X	Med	SD	X	Med	SD	X	Med	SD
TA dx	4,8	5,08	1,75	4,9	4,7	2,46	4,87	5	2,27
TA sin	4,7	4,96	1,5	4,67	4,39	1,62	5,02	4,72	1,79
GM dx	6,28	5,73	2,81	6,9	6,29	3,79	7,21	7,59	3,94
GM sin	8,25	6,77	5,38	8,23	6,54	4,95	8,42	7,62	4,74

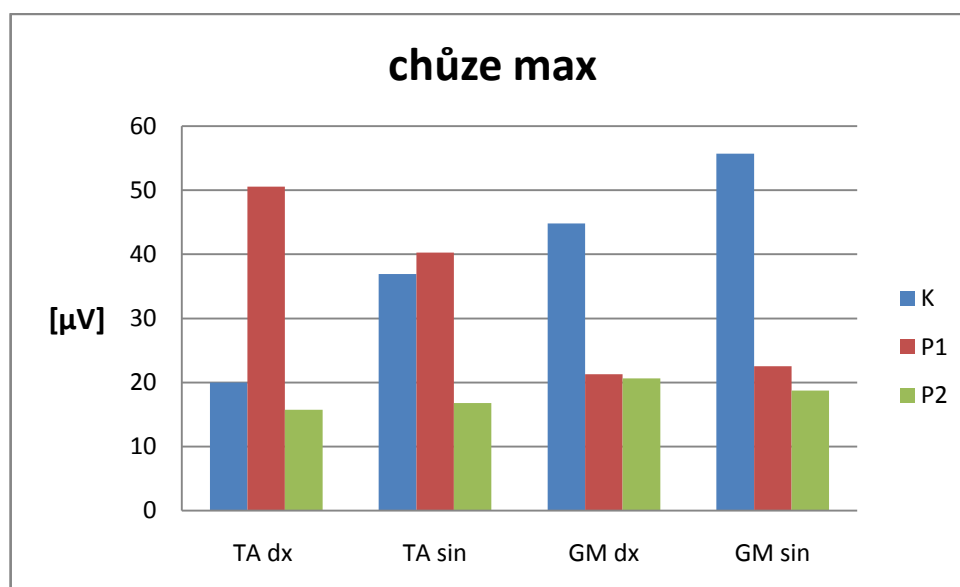
**Legenda:** K – klid, P1 s – představa před chůzí, P2 s – představa po realizaci chůze, TA – musculus tibialis anterior, GM – musculus gastrocnemius medialis, sin – sinistra, dx – dextra,  $\mu\text{V}$  – mikroVolt, X – průměr, Med – medián, SD – směrodatná odchylka

Cílem bylo zjistit, zda představa chůze má vliv na míru svalové aktivity m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis obou dolních končetin při úkolu chůze po chodbě a chůze po slackline. Hodnocen byl klid (K), představa chůze před chůzí (P1), představa chůze bezprostředně po její vlastní realizaci (P2).



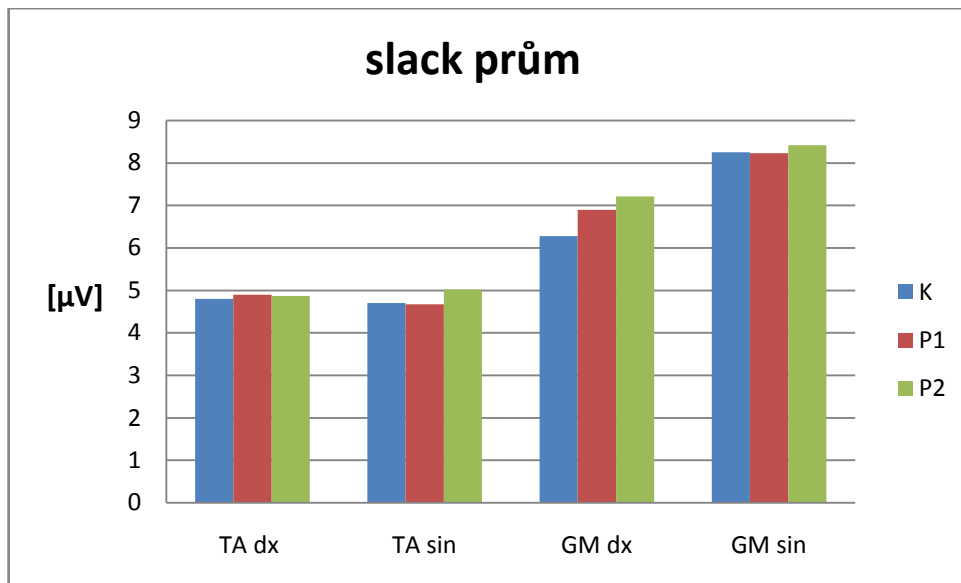
**Obrázek 1** Průměrná naměřená svalová aktivita m. tibialis anterior dx, m. tibialis anterior sin, m. gastrocnemius medialis dx, m. gastrocnemius medialis sin při chůzi po chodbě

**Legenda:** K – klid, P1 – představa před chůzí, P2 – představa po realizaci chůze, \* $p < 0,02$



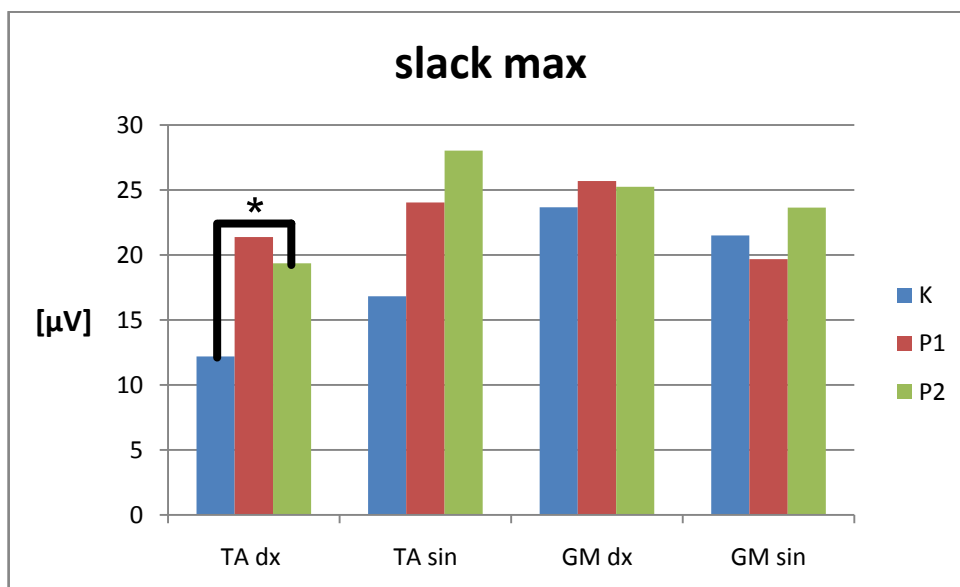
**Obrázek 2** Maximální naměřená svalová aktivita m. tibialis anterior dx, m. tibialis anterior sin, m. gastrocnemius medialis dx, m. gastrocnemius medialis sin při chůzi po chodbě

**Legenda:** K – klid, P1 – představa před chůzí, P2 – představa po realizaci chůze



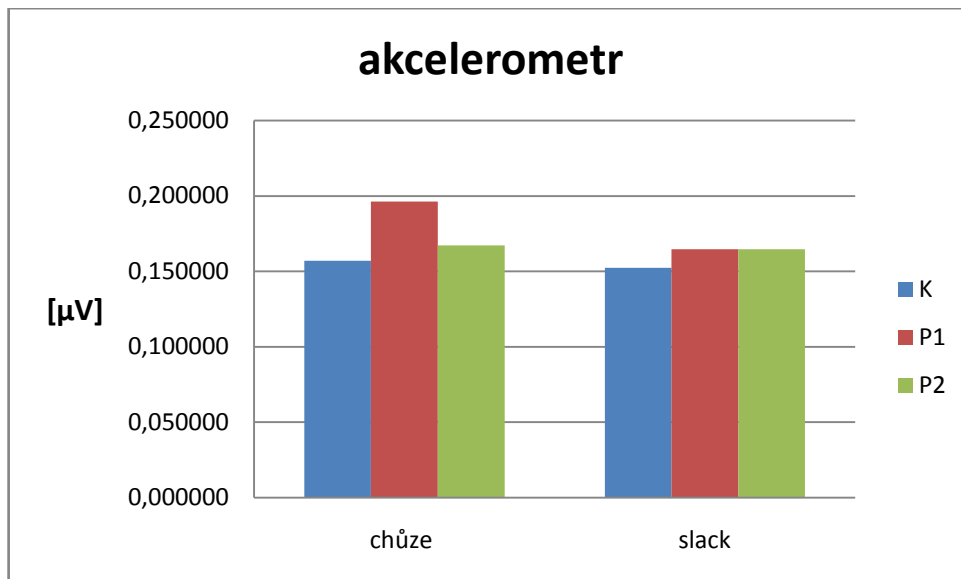
**Obrázek 3** Průměrná naměřená svalová aktivita m. tibialis anterior dx, m. tibialis anterior sin, m. gastrocnemius medialis dx, m. gastrocnemius medialis sin při chůzi na slackline

**Legenda:** K – klid, P1 – představa před chůzí, P2 – představa po realizaci chůze



**Obrázek 4** Maximální naměřená svalová aktivita m. tibialis anterior dx, m. tibialis anterior sin, m. gastrocnemius medialis dx, m. gastrocnemius medialis sin při chůzi na slackline

**Legenda:** K – klid, P1 – představa před chůzí, P2 – představa po realizaci chůze, \* $p < 0,02$



**Obrázek 5** Záznam z akcelerometru chůze po chodbě a chůze na slackline

**Legenda:** K – klid, P1 – představa před chůzí, P2 – představa po realizaci chůze

## 7.1 Vyjádření k hypotézám na základě statistického vyhodnocení

Hypotézu  $H_01$ : „*Svalová aktivita m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis se v klidu, při představě a při představě po realizaci chůze po chodbě neliší.*“ zamítáme pro m.tibialis anterior dx prum (p K-P2= 0,000364; p P1-P2= 0,004927), m.tibialis sin prum (p P1-P2= 0,009234), m. gastrocnemius dx prum (p K-P2= 0,004275).

Hypotézu  $H_{A1}$ : „*Svalová aktivita m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis se v klidu, při představě a při představě po realizaci chůze po chodbě liší.*“ zamítáme pro m.gastrocnemius sin prum a pro všechny testované svaly maximálních hodnot.

Hypotézu  $H_02$ : „*Svalová aktivita m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis se v klidu, při představě a při představě po realizaci chůze po slackline neliší.*“ zamítáme pro m.tibialis anterior dx max (p K-P2= 0,012815).

Hypotézu  $H_{A2}$ : „*Svalová aktivita m. tibialis anterior a m. gastrocnemius medialis se v klidu, při představě a při představě po realizaci chůze po slackline liší.*“ zamítáme pro m.tibialis anterior sin max, m.gastrocnemius medialis dx max, m. gastrocnemius medialis sin max a všechny testované svaly průměrných hodnot.

Hypotézu  $H_03$ : „*Posturální výchylky v klidu a během představy chůze nebo během představy chůze bezprostředně po realizaci chůze po chodbě se významně neodlišují.*“ nelze zamítnout pro všechny testované svaly.

Hypotézu  $H_{A3}$ : „*Posturální výchylky v klidu a během představy chůze nebo během představy chůze bezprostředně po realizaci chůze po chodbě se významně odlišují.*“ zamítáme pro všechny testované svaly.

Hypotézu  $H_04$ : „*Posturální výchylky v klidu a během představy chůze nebo během představy chůze bezprostředně po realizaci chůze po slackline se významně neodlišují.*“ nelze zamítnout pro všechny testované svaly.

Hypotézu  $H_{A4}$ : „*Posturální výchylky v klidu a během představy chůze nebo během představy chůze bezprostředně po realizaci chůze po slackline se významně odlišují.*“ zamítáme pro všechny testované svaly.

## 8 Diskuze

### 8.1 Vliv představy na svalovou aktivitu

Motorická představivost, jakožto mentální simulace konkrétní akce bez odpovídajícího výstupu pohybu, je stále hojně diskutována. Cílem této práce je zkoumání vlivu představy pohybu, konkrétně chůze po rovném terénu a chůze po slackline, na svalovou aktivitu dolních končetin.

Zatímco na účinky motorické představivosti vedoucí ke zlepšení pohybových dovedností jsou zaměřeny většiny studií, na změny svalové síly během této představy existuje méně výzkumných prací (Driskell et al., 1994, s. 481-491).

Jak již bylo zmíněno výše, studium motorické představivosti je dnes spojováno především s uplatněním v neurorehabilitaci a jejím klinickým využitím. Tedy u pacientů po CMP, amputacích, poraněních míchy, low back pain či s Parkinsonovou chorobou (Guillot et al., 2012, s. 1-22). Po několik let je také využívána pro tréninkové sportovní účely, tanec či hry na hudební nástroje (Reiser et al., 2001, s. 1, Lotze a Halsband, 2006, s. 386-395). Z hlediska léčby aktivované oblasti mozku odpovídají oblastem, které se účastní reorganizace související s regenerací (Lotze a Halsband, 2006, s. 386-395, Jackson et al., 2003, s. 1171-1180).

Většina studií se pro objasnění vlivu představy pohybu zaměřuje především na horní končetinu (Stevens et al., 2003, s. 1090-1093; Mateo et al. 2015, s. 234; Kimberley et al., 2006, s. 268-277). Studie Lemos et al. (2014, s. 101-105) poskytla důležité poznatky o modulaci svalové aktivity dolních končetin při udržování klidného stoje. Zároveň došli k závěru, že motorická představivost vyvolává svalovou aktivitu, která se projeví pouze tehdy, pokud je přítomna aplikace vnější stimulace, jako například při magnetické nebo elektrické stimulaci nebo pokud je sval již aktivní, například při vzpřímeném stoji.

Při měření svalové aktivity během představy různých úkolů pomocí EMG jsou ve většině případů zaznamenané zvýšené signály porovnávány s klidovými, kdy jejich velikost je připisována vynaloženému úsilí (Dickstein et al., 2005, s. 475-483; Lebon et al., 2008, s. 181-185). V porovnání s amplitudou získaného signálu skutečného pohybu jsou tyto změny nevelké.

Lebon et al. (2011, s. 45-51) demonstrovuje klasický průběh fyzikální terapie kombinované s motorickou představivostí, kdy došlo ke zvýšení svalové aktivity po rekonstrukční operaci ACL. Konkrétně dokazují, že představa chůze může ovlivnit obnovu svalové aktivity, čímž podporuje účinnost motorické představivosti na zesílení síly a omezení

ztráty síly po imobilizaci, kdy je toto připisováno souvislosti s centrální aktivační modulací. Tato data podporují dřívější nálezy dokazující účinnost motorické představivosti na zesílení síly a na omezení ztráty síly po imobilizaci (Yue a Cole 1992, s. 1114-1123; Ranganathan et al. 2004, s. 944-956). Ranganathan et al. (2004, s. 944-956) vysvětlili zvýšení síly lokte flexor a digiti minimi po zesílení kortikálního výstupního signálu, který mohl řídit svaly na vyšší úroveň aktivace. Mizner et al. (2005, s. 424-436) uvedli, že pacienti, kteří podstoupili artroplastiku kolenního kloubu, měli 1 měsíc po operaci horší sílu čtyřhlavého svalstva, protože kloub zůstal imobilizován. V menší míře to bylo také ovlivněno svalovou amyotrofií. Sledováním neuromuskulárních změn extenzorů kolen brzy po rekonstrukci ACL. Drechsler et al. (2006, s. 613-623) zjistili, že obnovení dobrovolné aktivace bylo ve většině případů dosaženo 3 měsíce po operaci. Často však přetrvávala svalová slabost. Tento výsledek potvrzuje, že představa chůze může ovlivnit nervové, ale ne strukturální modulace (Ranganathan et al. 2004, s. 944-956; Zijdwind et al., 2003, s. 168-173). Yue a Cole (1992, s. 1114-1123) uvedli, že zvýšení síly po tréninku představou bylo spojeno se zvýšením aktivity EMG, která byla závislá na změnách aktivity motoneuronů, interneuronů a reflexních drah.

Ikdyž dřívější studie zpochybnily hypotézu, že trénink v představě může zvýšit izometrickou sílu, obvykle byly hlášeny silné pozitivní účinky představy pohybu na sílu distálních i proximálních svalů končetin (Cornwall et al., 1991, Yue a Cole, 1992, Smith et al., 2003, Zijdwind et al., 2003, Ranganathan et al., 2004, Sidaway and Trzaska, 2005; in Guillot et al., 2008, s. 18-27). Tyto výsledky poskytují důkaz o neurálním původu aktivace svalové síly vedoucí motorické jednotky k vyšší intenzitě nebo k náboru motorických jednotek, které zůstávají jinak neaktivní.

Guillot et al. (2008, pp. 24-25) se zaměřili na EMG změny během odlišných typů kontrakcí (koncentrická, excentrická, izometrická). Zjistili, že za koncentrické kontrakce došlo k významnému zvýšení EMG aktivity, kdežto excentrická kontrakce vykazovala nejnižší svalovou aktivitu. Tyto výsledky podpořily předchozí zjištění Bakkera et al. (1996, s. 313-324), kteří zjistili, že zvedání závaží v představě pohybu o hmotnosti 9 kg vedlo k větší aktivitě EMG při zvedání 4 kg 1/2. Tyto výsledky jsou zároveň v souladu s dosavadními poznatky z literatury, které ukazují, že aktivita EMG zaznamenaná během skutečných excentrických kontrakcí je slabší než aktivita pozorovaná během koncentrických a izometrických kontrakcí (Moritani et al., 1988, Tesch et al., 1990, Fang et al., 1990, 2001, McHugh et al., 2002; in Guillot et al., 2008, s. 18-27). Tento rozdíl lze vysvětlit sníženým

množstvím aktivovaných motorických jednotek při excentrické kontrakci v porovnání s kontrakcí koncentrickou.

## **8.2 Diskuze k výsledkům práce**

Tato práce byla navržena tak, aby prozkoumala vliv představy chůze na svalovou aktivitu distálních svalů dolních končetin. Vzhledem k tomu, že existuje pouze malá část studií zaměřující se na modulaci svalové aktivity dolních končetin, rozhodli jsme se zařadit méně prozkoumanou představu chůze, doplněnou o chůzi náročnější, a to chůzi po slackline.

### **8.2.1 Diskuze k hypotézám H<sub>01</sub> a H<sub>02</sub>**

Cílem těchto hypotéz bylo prozkoumat svalovou aktivitu ve 3 situacích. Tyto hypotézy se týkaly vzájemných vztahů klidové situace (K), představy chůze před její realizací (P1) a vlivu prožitku pohybu na představu po samotném provedení (P2). Zkoumány byly svalové modulační naměřených průměrných a maximálních hodnot. Maximální hodnoty měřených svalů byly zařazeny pro vyšší citlivost záznamu. Všechny testované situace byly prováděny ve výchozí poloze stoje.

Z grafu č. 1 můžeme vypočítat statisticky významné snížení svalové aktivity při představě po realizaci chůze (P2) u m. tibialis anterior dx a m. gastrocnemius medialis dx. Tato tendence je patrná i u m. gastrocnemius sin, avšak již ne tak významně. Zároveň došlo k signifikantnímu potvrzení snížení svalové aktivity prožitkem pohybu vztahem klidové hodnoty (K) a představy chůze po její realizaci (P2). Opačná situace však nastala u m. tibialis anterior sinister, kdy po realizaci chůze došlo naopak k nárůstu svalové síly, a to statisticky významně.

Z předešlých studií víme, že na základě motorické představivosti je možné nasmíkat svalovou aktivitu bez zjevných pohybů.

Na začátku je třeba zmínit důvod vybrané výchozí polohy. Jak víme, chůze je složitý komplexní pohyb, vyžadující koordinaci mnoha svalů a kloubů. Ohledně problematiky výchozí polohy existuje více studií spojených s horní končetinou. Vergas et al (2004 s. 1202-1205) popisuje lepší výsledky, je-li výchozí poloha končetin co nejvíce podobná poloze skutečné. Studie Bakker et al (2008, s. 2519-2527) uvádí, že při výchozí poloze slučitelné s polohou charakteristickou pro daný pohyb roste kortikospinální excitabilita, zvolili jsme tedy výchozí pozici stoje, jako nejpodobnější testované situaci chůze. Toto tvrzení je také



podpořeno Saimpont et al. (2012, s. 53), který uvádí, že pokud se výchozí poloha blíží skutečnému výkonu, dochází ke kratšímu časovému provedení a zároveň k přesnější představě, a to na základě facilitace představy chůze.

Základním zjištěním uvětšiny testovaných svalů je snížení svalové síly s naměřenými signifikantními hodnotami. V případě m. tibialis anterior dx došlo ke snížení svalové síly ve vztahu klidu (K) a představy před chůzí (P1) zároveň i ve vztahu k představě po chůzi (P2). U m. gastrocnemius medialis dx v případě klidu (K) a představy po realizaci chůze (P2).

Prvním vysvětlením zjištění snížení svalové aktivity po realizaci chůze může být již použitá situace a jednodušší aplikace představy. Toto zjištění koresponduje se subjektivním hodnocením probandů, kteří označili představu po prožité situaci za daleko lépe proveditelnou. Toto vysvětlení je také podpořeno autory Lafleur et al. (2002, s. 142-157), kteří tvrdí, že představa pohybu je spojena s mozkovou činností a plasticitou po již vykonaném pohybu. Spojitost předešlé zkušenosti pohybu s následně lepším provedením představy zaznamenal Mulder (2005, s. 349-350), kdy u testovaných probandů došlo ke zlepšení pohybu v té skupině, která již měla předešlou zkušenost provedení daného pohyb, než u skupiny probandů, kteří na začátku experimentu daný pohyb nikdy neprováděli. Driskell et al. (1994, s. 481-491) prokázali, že opakovanou motorickou představivostí, zejména z pohledu první osoby, došlo ke zlepšení nejen představivosti pohybu, ale i k jeho snazšímu naučení. Na základě těchto experimentů můžeme říci, že poklesem svalové aktivity je nabytí zkušenosti vlastním provedením chůze, a došlo tedy ke zlepšení její představivosti. Zároveň z toho vyplývá myšlenka, že musí existovat reprezentace pohybu pro trénink motorické představivosti, aby byla účinná, a zcela nové pohyby nelze naučit pomocí představy pohybu (Guillot et al., 2008 s. s. 18-27). Nicméně autor uvádí nutný odstup, vzhledem ke krátkému času pro naučení pohybu. Můžeme se také domnívat, že vyšší svalová aktivita během první představy souvisí s vynaložením většího úsilí, jak uvádí ve své studii Personnier et al. (2010, s. 189).

V rozporu těchto experimentů stojí studie Yue a Cole (1992, s. s. 1114-1123), kdy svalová síla po aplikaci motorické představivosti vzrosla. Zvýšení svalové síly bylo dosaženo bez skutečné svalové aktivace. Důležitým aspektem bylo, že svalová síla se zvýšila, i když při zobrazování EMG nebyla patrná žádná svalová aktivita. Autoři dospěli k závěru, že zvýšení svalové síly po tréninku motorické představivosti nemůže být výsledkem nervových změn na úrovni exekuce, ale musí být přičítáno vyšším (centrálním) úrovním motorického systému, který se podílí na plánování a programování.

Dalším diskutabilním tématem je aplikovaný typ přestavy. V našem experimentu byli probandi neprve vystaveni vizuálnímu vjemu, kdy jim byla daná chodba ukázána. Při následném představování chůze se jednalo o kinestetický typ představy. Po samotné realizaci chůze se dá říct, že při této představě se jednalo o umocněnou vizuální složku kinestetickou. Modulace svalové aktivity by mohly být ovlivněny právě daným typem představy.

Jak již bylo zmíněno výše, existuje představa kinestetická (interní) a vizuální (externí). Předchozí práce naznačují odlišnou aktivitu mozku prováděného pohybu s oběma typy těchto představ, avšak jejich funkční propojení doposud studováno nebylo (Solodkin, 2004, s. 1246-1255). Dle studií Bakker et al. (2008, s. 2519-2527) vykazuje kinestetická představa na větší provázanost s exekucí pohybu, nežli představa vizuální. Při měření transkraniální magnetickou stimulací byla prokázána zvýšená kortikospinální excitabilita systému při kinestetické, nikoliv u vizuální představy (Stephan a Frackowiak, 1996; Abbruzzese et al., 1999; Fadiga a kol., 1999; Hashimoto a Rothwell, 1999; Rossini et al., 1999; in Solodkin, 2004, s. 1246-1255). Toto zjištění je podpořeno naměřenými hodnotami EMG v průběhu kinestetické představy, kde bylo větší napětí ve svalech odpovídající provádění pohybu, kdežto v průběhu vizuální představy byly změny menší (Fadiga et al., 1999). Vzhledem k tomu, že kinestetická představa sdílí více podobností s prováděním pohybu než vizuální, je spojena s motorickými funkcemi přípravy, napodobování a zdokonalování pohybu (Stephan a Frackowiak, 1996; Deiber et al., 1998; Fadiga a kol., 1999; Jeannerod, 1995; Lotze et al., 1999; in Solodkin, 2004, s. 1246-1255).

Solodkin (2004, s. 1246-1255) ve svém rozsáhlém experimentu zkoumal pomocí fMRI vzájemnou koordinaci provedení pohybu kinestetické a vizuální představy s mozkovými centry na vybraném pohybu opozice palce. Zkoumanými kortikálními centry do představovaného a reálného pohybu jsou primární motorická korová oblast (M1), premotorická korová oblast (PMC), suplementární motorická korová oblast (SMA), primární a sekundární somatosenzorická oblast (S1 a S2), kůra parietálního laloku (PAR), mozeček a bazální ganglia. Během exekuce pohybu byla nejvíce aktivována oblast M1 vlivem PMC a PAR, kdežto input z SMA, CRB a S1 byl menší. Při kinestetické představě byl nejvýraznější vztah vlivu SMA na M1, kdežto vliv z PMC oproti pohybu zeslábl. Vliv mozečku na M1 se ani v jednom případě představy příliš neprojevil. Vzájemné vztahy vlivu mezi jednotlivými řídicími centry a tedy podobnost exekuce pohybu s představou byla stanovena jako PAR na PCM a S1; S1 na M1; CRB na M1, PCM, a PAR; SMA na PCM. Tyto vztahy naznačují, že během exekuce pohybu má SMA a PAR na M1 mírný vliv, avšak při představě pohybu je

tento vliv o něco významnější. Tento vztah vlivu SMA a PAR na M1, tedy nedostatek zapojení M1 během představy pohybu byl vysvětlen jako způsob, jakým se systém vyhne zjevným pohybům během představy.

Kontroverzním tématem je role M1 během motorické představitosti, protože její aktivace není ve všech studiích pozorována, a jeli vidět, je méně aktivní než v průběhu reálně provedeného pohybu (Beisteiner et al., 1995; Fadiga et al., 1999, Hashimoto a Rothwell, 1999, Lotze et al., 1999; in Solodkin, 2004, s. 1246-1255). Nedostatek zapojení M1 během představy pohybu byl vysvětlen jako způsob, jakým se systém vyhne zjevným pohybům během představy. Na základě tohoto výsledku můžeme vyvodit funkční ekvivalenci motorické představitosti a motorického výkonu (Guillot et al., 2008, s. 18-27).

Zajímavým rozporem těchto studií je náš výsledek naměřeného m. tibialis anterior sin, kde došlo ke statisticky významnému zvýšení svalové síly během představy chůze po její realizaci. Tyto výsledky jsou v souladu se studii, zaměřenými na svalové modulace, kde docházelo k jejich zvyšování (Wilson et al., 2010, s. 417-425; Lebon et al., 2008, s. 181-185). Vysvětlení můžeme hledat v problematice inhibice.

Jeannerod (1995, s. 1419-1432) uvádí jako důvod nárustu svalové aktivity oproti původní hodnotě právě problém inhibice. Tento předpoklad je také podpořen experimenty s transkraniální magnetickou stimulací (TMS), kdy u pacientů po poškození mozku není možná inhibice pohybu během motorické představitosti, což je vede k neustálé projekci představy (Stinear, 2006, s. 157-164). K teoretickému pochopení tohoto problému přispívají data pacientů po amputacích, poranění míchy či Parkinsonově chorobě (Guillot et al., 2012, s. 10-22). Nicméně podmínkou pro účast na experimentu našich probandů bylo vyloučení jakéhokoliv fyzického deficitu.

Otázka, jak mozek během představy chůze inhibuje přenos povelů představy do eferentních drah, aby se zabránilo jakémukoli pohybu, je do značné míry nevyřešena. Dle Lotze et al. (1999, s. 491-501) víme, že mozeček hraje důležitou roli inhibice při prováděné představě, zároveň důležitou součástí jsou smyslové aferentní informace sloužící jako zpětná vazba.

Inhibice může být dosažena díky periferním či centrálním mechanismům, avšak periferní na rozdíl do centrálních mohou být použitelné pouze v případě nutnosti inhibovat či přerušit selektivně. Guillot et al. (2012, s. 10-22) uvádí možnou existenci tří možných modelů inhibice. První možností je, že inhibice je součástí prožitku představy, díky čemuž jsou vysílány povely pouze podprahově a nedojde k pohybu. Druhou alternativou

je možnost oslabení motorického povelu inhibičními mozkovými centry a vysílání pouze reziduální aktivity. Poslední možnost uvádí, že inhibice probíhá později spinální cestou.

Je třeba také zmínit možný důvod přítomnosti snížené svalové aktivity jako schopnost volní snahy probandů inhibovat daný pohyb (Lotze a Halsband, 2006, s. 386-395).

Tyto výsledky nás také přivádí zmínit důležitou roli zrcadlových neuronů a mozkové plasticity v představě pohybu. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, zrcadlové neurony hrají důležitou roli při provedení motorické představy. Tyto neurony nejsou aktivovány pouze při pozorování pohybu jiné osoby ale i pohybovou aktivitou jedincem samotným (di Pellegrino et al., 1992, s. 176–180). Dle studií Brass et al (2000, s. 124-143) a Urgesi et al (2006, s. 2006, s. 7942-7949) zaměřených na vliv pozorování a následné exekuce pohybu, kdy došlo ke snížení rychlosti, usnadnění a zkvalitnění pohybů rukou, můžeme usuzovat na efektivitu zrcadlových neuronů v představě pohybu. Což by také bylo v souladu s již zmíněným subjektivním hodnocením probandů ohledně snazšího provedení představy po její realizaci. Na základě stejného mechanismu exekuce pohybu, představy pohybu a observace je možné vysvětlit změny svalové síly.

Z grafu č. 2 nemůžeme vyčíst žádnou statistickou významnost. Jedná se o stejné situace jako v případě prvním, pouze s maximálními naměřenými hodnotami. Lze zde vidět společný efekt snížení svalové aktivity představy chůze po její realizaci. Tato tendence svalové modulace je v souladu s již výše zmíněnými možnými důvody jako v případě signifikantních změn m. tibialis anterior dx a m. gastrocnemius medialis dx.

U svalů m. tibialis anterior dx a sin můžeme pozorovat odlišnou situaci od prvního grafu, a to vyšší hodnotu svalové aktivity první představy vůči klidové situaci. Toto zjištění je v souladu se studií Lebon et al. (2008, s. 181-185), kteří zaznamenali výrazně vyšší EMG hodnoty při představě pohybu horních končetin oproti klidovému stavu. Studium představy chůze dolních končetin se zabýval Peikenkamp a Stief (2012, s. 246), kteří také, jako my, dospěli k nesignifikantně významným hodnotám. Nicméně u všech svalů této studie došlo změně svalové aktivity.

Existují však také autoři, kteří považují absenci statisticky významného nárustu EMG aktivity za předpoklad provedení kontrétního pohybu v představě, tedy důkazem, že vzor mozkové aktivity sledovaný během motorické představivosti nemůže být důsledek pohybu (Naito et al., 2002, s. 3687-3688; Jackson et al., 2003, s. 1177).

Změny byly v některých případech nevýznamné či nekonzistentní, z čehož vyplývá nesystematický vliv představy lidské chůze (Peikenkamp a Stief (2012, s. 246).

## 8.2.2 Diskuze k hypotézám H<sub>02</sub> a H<sub>A2</sub>

Cílem této hypotézy bylo prozkoumat vliv chůze po slackline na představu chůze. Důvodem zařazení slackline do motorické představitosti bylo ztížení nároků na exekuci chůze a s tím spojenou představou.

Z grafu č. 4 můžeme vypočítat jedinou signifikantní hodnotu, a to zvýšenou svalovou sílu v případě m.tibialis anterior dx ve vztahu představy po realizaci chůze (P2) ke klidu (K). U m. tibialis anterior sin, m. gastrocnemius medialis dx a sin vidíme mírnou tendenci zvýšení svalové síly představy po prožitku chůze. Tyto výsledky se týkají maximálně naměřených hodnot. Na grafu č. 3 není patrná žádná statistická významnost či větší rozdíly modulací vhodných k diskuzi.

Objektivizací představy chůze po slackline, a s tím spojenou změnou svalové aktivity, se doposud nezabývala žádná studie. Většina výzkumů s použitím slackline je spojena s jejím vlivem na posturální kontrolu, svalovou sílu, či chůzi jako takovou ve spojitosti s tréninkem rovnováhy, a to nejvíce s vnesením do rehabilitace.

Zásadní rozdíl chůze po pevném terénu od chůze po slackline je vysoká variabilita pohybu, díky malé a nefixované opěrné ploše, provokující rychlé trojrozměrné odchylky (Paoletti, 2012, s. 2099). To bude mít za následek kladení větších nároků na CNS a syntézu odlišných multisenzorických vstupů k udržení rovnováhy, jinak řečeno, aby nedošlo k pádu (Whipple, 1993, s. 71–76). Integrace senzorických informací probíhá na několika úrovních CNS, ty jsou někdy srovnávány s paměťovými mapami a naučenými reakcemi a dochází k vzájemnému překryvu map senzorických s mapou motorickou (Meredith, 1991, s. 361; Konrad, 1999, s. 1455).

Za nejdůležitější svaly pro stoj a chůzi po slackline jsou považovány m. tibialis anterior a m. soleus, tedy hlavní stabilizátory hlezenního kloubu. Po stabilizaci hlezenního kloubu je možný přenos váhy na druhou dolní končetinu, a to díky m. rectus femoris, za současné stabilizace kolenního kloubu pomocí m.vastus medialis a lateralis (Santos, 2016, s. 662; Vala, 2014, s. 1). Nicméně vzhledem k dynamice vnějšího prostředí je do chůze zapojeno celé tělo (Ashburn (2013, s. 26).

Nejprve by bylo dobré zmínit pár příklady studií, jak vůbec slackline může působit na změny svalové aktivity.

V jedné ze svých studií se Donath (2013, s.1093–1097) zaměřil na zkoumání aktivity svalů dolních končetin (m. soleus, gastrocnemius a tibialis anterior) u 9 náhodně vybraných dětí. Svalová aktivita byla analyzována pomocí EMG po dobu 30 s statického a dynamického

vzpřímeného postavení a individuálně dosažená celková doba stání na slackline. I přes dosažené EMG změny svalové aktivity, a to snížení u m. soleus a m. tibialis anterior, u m. gastrocnemius, nebyly výsledky statisticky významné. Autoři to připisují tomu, že snížená aktivita může být vysvětlena změnou excitability motoneuronů agonistických svalů. Nicméně Keller et al (2011, s. 471–477) v normalizovaném měření EMG vybraných svalů dolních končetin zaměřeném na to, zda trénink slackline potlačuje spinální reflexní aktivitu, nepozorovali žádné významné změny, a proto vyloučili změny v neuronální excitabilitě jako potenciální mechanismus pro jejich zjištění.

Další studie Donath et al (2015, s. 275-283) se týkala neuromuskulárního vývoje u seniorů, kde také předpokládali změny svalové aktivity dolních končetin po tréninku na slackline. Měřenými svaly byly opět m. tibialis anterior, m. gastrocnemius, m. soleus a svaly trupu. Studie se účastnilo 22 zdravých a aktivních občanů, a to po dobu 6 týdnů. Výsledkem bylo snížení svalové aktivity daných svalů dolních končetin při stoji na jedné dolní končetině či při stoji tandemovém. Autoři uvádí existenci dvou hlavních mechanismů, které mohou vést ke snížení svalové aktivity během slackline. Na jedné straně může snížení vyžadovat menší svalovou aktivaci pro udržení rovnováhy a na druhé straně senioři zlepšili svou schopnost vyrovnat střed těla v rámci chůze po slackline, což má za následek snížení požadovaných svalových aktivací. To se jeví jako rozumné, protože chůze a postavení na slackline vede hlavně k průměrným oscilacím. Nicméně nedošlo k relevantnímu zlepšení svalové síly.

Vzhledem k tomu, že snížení svalové aktivity po tréninku chůze po slackline těchto dvou studií sloužilo pouze jako sekundární účel experimentu, není možné s jistotou určit základní neuromuskulární změny. Ani u dětí a ani u dospělých nedošlo k prokazatelnému statisticky relevantnímu snížení svalové síly a zůstává tedy nadále spekulací, nicméně ovlivnění svalové aktivity jako takové bylo prokázáno.

Tento závěr se schoduje s námi naměřenými výsledky, nicméně se nejedná o vztahy představy chůze po slackline s motorickou představitostí, ale o pouhou ukázkou svalových modalit chůze.

Předchozí důkazy studií představy pohybu jsou omezeny především na velmi základní a jednoduché pohyby, jako například flexe prstů. Szameitat et al. (2007, s. 702) se ve své studii zabývali pohyby nejen dolních či horních končetin, ale i pohyby celého těla. S ohledem na výzkum jednoduchých pohybů jako výchozího bodu bylo prokázáno, že motorická představitost aktivuje převážně stejné kortikální motorické oblasti ve srovnání s přípravou (Jeannerod, 1994, s. 187-202; Kosslyn et al., 2001, s. 635-642) nebo dokonce pohybem

samotným (Lotze et al. (1999, s. 491-501; Porro et al., 1996, s. 7688-7698). Bylo prokázáno, že kortikální aktivace během představy různých pohybů mapuje homunkulární organizaci v primární sensorimotorické kůře (Ehrsson et al., 2003, s. 3304-3316; Stippich et al., 2002, s. 50-54). To naznačuje, že takové pohyby, jako je plavání a jídlo, mohou aktivovat velmi specifické a odlišné kortikální oblasti. V takovém případě je pravděpodobné, že sdružování takových pohybů značně sníží statistickou významnost a může dokonce zabránit identifikaci kortikálních oblastí souvisejících s motorickou představivostí. Při experimentu bylo zjištěno, že představa každodenních pohybů aktivovala síť kortikálních oblastí, která je vysoce konzistentní s předchozími zprávami motorické představy jednoduchých pohybů. Nejdůležitější je, že byly aktivovány postranní a mediální premotorické kůry, aktivace byly nalezeny v oblasti levého a pravého precentrálního gyru, stejně jako střední části nadřazeného frontálního gyru odpovídajícího SMA a preSMA (Picard a Strick, 1996, s. 977-986). Další aktivace byla pozorována v dolních a vyšších parietálních oblastech a bazálních gangliích, včetně nukleus caudatus, pallidum a putamen. Tento vzorec aktivací je plně konzistentní se zjištěními získanými ve studii dobře kontrolovatelných pohybů, jako je opozice prstů a klepání prsty (Stephan et al., 1995, s. 373–386). Z toho vyplývá, že představa každodenních pohybů aktivuje kortikální síť podobnou té, která je popsána pro jednoduché pohyby prstů rukou. To však není samozřejmé vzhledem k výsledkům Jahna et al. (2004, s. 1722-1731). Proti současným a téměř všem předchozím studiím, Jahn et al. (2004, s. 1722-1731) nepozoroval aktivaci postranních nebo mediálních premotorických oblastí během představy chůze stoje, chůze a běhu (Malouin et al., 2003, s. 47-62). Jedinou výjimkou byla aktivace pravé SMA při představě chůze.

Vysvětlení na námi naměřené hodnoty představy chůze u slackline bychom mohli také hledat v experimentu Bakker et al (2008, s. 998-1010) zaměřeném na zkoumání mozkových struktur pomocí fMRI zapojených do motorické představivosti normální chůze a chůze zaměřené na vyšší nároky posturální kontroly. Testování probandi podstoupili experiment představy motorické a vizuální, a to chůzí po dvou různě širokých dráhách uprostřed chodeb. V případě úzké dráhy se jednalo o nutnost přesného pokládání nohy před nohu a tím byla zajištěna větší náročnost na posturální kontrolu oproti chůzi klasické. Z důvodu posouzení relativního anatomického rozmístění aktivovaných oblastí mozku během představy chůze porovnávali autoři výsledky se studií de Lange (2006, s. 609-617) zaměřené na pohyby ruky.

Chůze po úzké cestě vedla ke zvýšené mozkové aktivitě SPL bilaterálně, dorzálního precentrálního gyru a MOG, tedy struktur se silnými smyslovými afekcemi, ale bez přímého přístupu k výstupu spinálního motoru. Toto se týkalo úkolu představy chůze, vyplývající

z přímého srovnání s úkolem vizuálního zobrazení. Změny v délce dráhy neovlivnily mozkovou aktivitu v oblastech během motorické představitosti chůze. Tyto účinky byly zaznamenány v souboru mozkových struktur (PMd, RCZp, putamen a cerebellum) se zvýšenou aktivitou během motorického zobrazování chůze, opět ve srovnání s úlohou vizuálního zobrazení. Kromě toho parietální, premotorické a putamenové účinky souvisely, ale prostorově se lišily od aktivity vyvolané během motorické představy pohybů rukou (de Lange et al., 2006, s. 609-617). Tyto výsledky ukazují, že u lidí je přesná prostorová kontrola představované chůze závislá na funkčních interakcích mezi SPL, precentrálním gyrem a nadřazeným středním okcipitálním gyrem. Při představě chůze nebyla zjištěna žádná aktivita ve strukturách mozkového kmene, což je v rozporu se zjištěním Jahn et al. (2004, s. 1722-1731), že motorická představa chůze zvyšuje mozkovou aktivitu v několika strukturách mozkového kmene. Vzhledem k tomu, že mozeček hraje důležitou roli v řízení rovnováhy, kdy například u pacientů s cerebelárními lézemi vidíme problémy tandemové chůze, je možné jeho zvýšenou aktivitu přisuzovat vyvažování během chůze po úzké cestě (Mortno a Bastian, 2004; Stolze et al, 2002; in Bakker et al, 2008, s. 998-1010).

Nicméně v tomto experimentu došlo pouze ke slabému zapojení mozečkové aktivity, což autoři přisuzují tomu, že nedocházelo ke skutečné chůzi ale pouze její představě (Bakker et al., 2008, s. 998-1010). Výsledky zdůrazňují úlohu kortikálních struktur mimo oblasti primárního motoru v představě pohybů chůze, kdy je požadováno přesného pokládání nohou.

Moody a Gennari (2010, s. 782-793) zjistili zvýšené požadavky na fyzickou náročnost vedoucí k odpovídajícím neurálním změnám. V již výše uvedené studii Bakker et al. (1996, s. 313-324) zjistili, že představa zvedání větších hmotností vedla k vyšším změnám aktivity EMG ve srovnání s lehčími váhami. Na základě těchto poznatků se můžeme domnívat o větší svalovou aktivaci při chůzi po slackline.

Nicméně v případě grafu č. 3 a 4 můžeme hodnotit pouze statisticky významnou souvislost, a to vztahu klidu a představy po realizaci chůze, kdy se jedná o nárůst svalové aktivity, což odpovídá již výše zmíněné studii Personnier et al. (2010, s. 189), a to že dochází k nárůstu svalové aktivity s vynaložením vyššího úsilí a pozornosti nezbytného pro výkonání chůze v představě.

Na základě tendence zvýšení svalové síly představy po realizaci chůze, oproti představě před chůzí samotnou, je možné přisoudit právě vyšším nároků na představu složitějšího pohybu a je to v souladu s experimentem Moody a Gennari (2010, s. 782-793). Toto zjištění tedy podporuje experiment Bakker et al. (1996, s. 313-324), kdy došlo k větší aktivaci zvýšením náročnosti. Na signifikantně naměřenou hodnotu zvýšené aktivity m. tibialis anterior dx je



možné aplikovat i spojitost funkce hlavního stabilizátoru hlezenního kloubu, stejně jako u statisticky nevýznamné hodnoty m. tibialis anterior sin. Zároveň pokud vezmeme, že u studií Donath došlo ke snížení svalové aktivace tréninkém chůze po slackline a tím spojené adaptace, bylo by možné tuto myšlenku aplikovat i na statisticky významný vztah P1 a P2 m. tibialis anterior dx. Nicméně vzhledem k délce prováděných experimentů Donath et al (2015, s. 275-283; 2013, s. 1093–1097) v průběhu týdnů, a naší jednorázové aplikaci zkušenosti chůze, nelze této souvislosti přisuzovat velká váha. Tento vztah byl také jediný zaznamenaný, jelikož v ostatních případech byla tendence ke zvýšení svalové aktivace vlivem zkušenosti s chůzí.

Závěrem lze říci, že jelikož naším hlavním předpokladem bylo zvýšení svalové síly po realizaci chůze z důvodu složitosti představy a nebyl zaznamenán žádný statický výnam naší studie či ostatních experimentů, je tento problém nutný k dalšímu zkoumání.

### **8.2.3 Diskuse k hypotézám H<sub>03</sub> a H<sub>A3</sub>, H<sub>04</sub>, H<sub>A4</sub>**

Tyto hypotézy měly za úkol prokázat přítomnost posturálních výchylek pomocí akcelerometru zabudovaného v senzorech EMG při chůzi po chodbě a při chůzi po slackline.

Z grafu č. 5 je zřejmé, že během testovaných pozic nedošlo k žádné statisticky významné změně posturálních výchylek.

Pokud vycházíme z definice představy pohybu, která udává, že se jedná o kognitivní proces, při kterém si subjekt myslí, že pohyb provádí, aniž by skutečně vykonával pohyb a aktivoval svaly (Mulder, 2007, s. 1265-1278), považujeme tyto výsledky za důkaz, že opravdu došlo ke svalové aktivaci během představy chůze, nikoli vlivem pohybu samotného.

Posturální oscilace se často vyskytují bez vědomí a nedobrovolně. Udržení klidného vzpřímeného postoje vyžaduje integraci vizuálních, somatosenzorických, vestibulárních a kortikálních vstupů (Balasubramaniam a Wing, 2002, s. 531-536). Výsledné posturální exkurze nebo pohyb těla, jak dokazují trajektorie COP, vykazují pozoruhodně složitou dynamiku (Stins et al, 2015, s. 77-83).

Jelikož naše naměřené EMG hodnoty v předešlých hypotézách potvrzují zvýšení svalové síly v několika situacích, rozcházíme se s pár experimenty a autory, kteří tvrdí, že motorická představivost podporuje nárůst posturálních výchylek bez změn svalové aktivity lýkových svalů (Rodrigues et al., 2010, s. 747; Lemos et al., 2014, s. 101-102).

Dle Pellechia et al. (2001, s. 29-34) dochází ke zvyšování posturálních výchylek v závislosti se zvýšením obtížnosti kognitivního úkolu a většími nároky na stabilitu. Což sice podporuje názor, že kognitivní a motorický výkon spolu souvisí, nicméně na našich výsledcích můžeme pozorovat, ač nesignifikantně, nárůst větších posturálních výchylek v souvislosti s chůzí po chodbě nikoliv po slackline. Nedošlo tedy k větším posturálním výchylkám v souvislosti s pohybem náročnějším na stabilitu a udržení rovnováhy.

Díky studii Guillot et al. (2009, s. 2157-2172) víme, že kinestetická představa pohybu má za následek aktivitu v oblastech souvisejících s pohybem, jako jsou bazální ganglia a cerebellum. Předpokládá se, že posturální aktivita během motorické představitosti je důsledkem neúplné inhibice motoriky. To je v souladu s teorií o vlivu nabití zkušenosti, která předpokládá, že představa určitého pohybu zahrnuje simulaci (nebo opětovnou aktivaci) předchozích zkušeností s tímto pohybem a reaktivaci motorických oblastí (Stins et al, 2015, s. 77-83).

K vlivu inhibice na posturální výchylky představy chůze se přiklání i Grangeon et al. (2011, s. 17-56), kteří uvádí, že při motorické představitosti nebyla svalová aktivita zcela inhibována, což mělo za následek větší posturální aktivitu.

Vzhledem k tomu, že vliv nedokonalé inhibice motorických příkazů je přisuzován také změnám svalové aktivity v představě pohybu a námi naměřené hodnoty posturálních výchylek nevykazovaly významné naměřené hodnoty, nemůžeme se s touto teorií ztotožnit.

Dále je také známa studie ohledně udržení rovnováhy od Lemos et al (2014, s. 101-105). Autoři zkoumali posturální pohyb a posturální svalovou aktivitu, kdy analyzovali elektromyografická data shromážděná Rodriguesem et al. (2010, s. 743-750). Dospěli ke dvěma významným zjištěním. Kinestetická představa pohybu modulovala posturální výchylky bez změn EMG aktivity. Zároveň došlo k odhalení silnější asociace EMG a COP. Podle autorů tento druhý nález mohl být způsoben změnami excitability motoneuronu, který moduluje časovou vazbu (synchronizaci) mezi svalovou aktivitou a pohybem. S mechanismem, že představa pohybu zahrnuje aktivaci svalů, které se současně účastní i držení vzpřímeného stoje, nelze v našem případě souhlasit.

### **8.3 Aplikace do praxe**

Aplikace motorické představitosti v rehabilitaci je stále relativně nová záležitost. Vzhledem k nejednotným důkazům klinických případových studií je nesmírně těžké vyvození jasných závěrů působení motorické představitosti na zlepšení zdravotního stavu (Page et al. 2016,

s. 233-240; Yoo et al. 2001, s. 1213-1218; Crosbie et al. 2004, s. 60-68; Dickstein et al. 2004, s. 1167-1177; Jackson a kol., 2004, s. 1133-1141).

Podstata motorické představivosti v rehabilitačním kontextu spočívá ve výuce strategií, které pacientům usnadňují reorganizaci postižených oblastí a okruhů nábořem intaktních neuronů a posilováním aktivity v jiných neuronálních okruzích. Tento kompenzační mechanismus je podporován pomocí kognitivních strategií pro spuštění motorického projevu (Lotze a Halsband, 2006, s. 386-395; Tamir et al., 2007, s. 68-75).

Důležitou otázkou je, zda každý pacient je schopen představivost pohybu použít. Mentální trénink prostřednictvím motorické představivosti vyžaduje vnitřní reprezentaci pracovní paměti, pro kterou jsou důležité dobře zachovalé kognitivní funkce a komunikační schopnosti. Schopnost porozumět slovním pokynům a vyjádření sebe sama v rámci představy by tedy měla být před každým začátkem terapie ošetřena, k čemuž se nejčastěji využívá dotazník MIQ-R (Malouin a Fitchards, 2010, s. 240-251).

S ohledem na dosažení požadovaných cílů je pro aplikaci motorické představivosti důležitá volba vhodné strategie představy, a to vzhledem k povaze úkolu, prostředí a individuálním charakteristikám. Vizuální představivost, charakterizovaná pohledem třetí osoby, se ukázala jako přínosná spíše pro učení se novým motorickým dovednostem nebo zlepšení posturální stability. Pokud je naším cílem zlepšení timingu a koordinace pohybu, je prospěšnější použít kinestetický typ představy, charakterizovaný představou pohybu z pohledu první osoby (Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953).

Jak již bylo zmíněno v kapitole o představě pohybu v praxi, studie motorické představivosti v neurorehabilitaci byly prováděny především na lidech s neuromuskulárním onemocněním. Nejčastějšími diagnózami byli pacienti po CMP lidé s poraněním míchy (SCI), Parkinsonovou nemocí (PD) a s chronickými bolestmi zad (Dickstein a Deutsch, 2007, s. 942-953).

Studie přinesly konzistentní zjištění, že největšího zlepšení motorického výkonu nastalo u intervencí, které kombinovaly fyzickou a mentální terapii. Největším přínosem bylo zvýšení dosahu pohybu izolovanými pohyby prstů a ruky pro uchopení předmětu. Co se týče chůze, výrazný vliv mělo ovlivnění pohybu v kotníku. Zároveň došlo ke zlepšení u aktivit každodenního života (ADL) (Dijkerman et al, 2004, s. 538-549; Stevens et al, 2003, s. 1090-1092)

Zařazení motorické představivosti je vhodné také do tréninku zdravých jedinců a sportovců. V tomto případě vedla představa pohybu ke zlepšení svalové síly vybraných svalových skupin, zvýšení rozsahu pohybu, rychlosti pohybu, přesnosti a zlepšení posturální

kontroly (Fansler et al., 1985, s. 1332-1338; Gentili et al, 2006, s. 761-772; 1985; Hamel et al., 2005, s. 223-228; Sidaway et Trzaska, 2005, s. 1053-1060; Williams et al., 2004, s. 160-166; Zijdewind et al., 2003, s. 168-173).

Představu pohybu lze považovat za slibnou techniku pro rehabilitaci pohybového aparátu. Bezesporu neodmyslitelnou výhodou je také malá finanční náročnost nebo to, že nevystavuje pacienta bezpečnostním rizikům. Navíc se zdá, že je možné zahájit intervenci v dřívějším stadiu rehabilitace, když je možný pouze malý nebo žádný pohyb (Lotze a Halsband, 2006, s. 386-395; Tamir et al., 2007, s. 68-75). Forma rehabilitace v představě není však náhradou za běžně uznávané fyzické cvičení, mělo by být chápáno jako doplňková technika ke zlepšení motorického učení.

Na základě předešlých zjištění, že terapie chůze vede především k pozitivnímu ovlivnění rychlosti, kadence a výdrže (Oostrá et al., 2015, s. 204-209), a vzhledem k výsledkům tohoto experimentu, kdy byl prokázán vliv představy chůze na motorickou aktivitu změnami svalových modulací, můžeme potvrdit pozitivní účinek představy chůze do terapie.

## **8.4 Limity studie**

Tato práce byla koncipována tak, aby odhalila vliv představy chůze po chodbě a po slackline na změny svalové aktivity, a to aspektem povrchové elektromyografie. Jsme si vědomi možných limitů představy pohybu, které jsme se snažili minimalizovat v průběhu pilotního měření.

Prvním limitem naší studie by se dal označit malý testovaný experimentální vzorek probandů (26 probandů). Jednalo se o zdravé a mladé jedince ve věku 20-28 let, bez jakýchkoliv fyzických deficitů. Důvodem pro volbu relativně mladých jedinců s plným zdravím byly především studie, které uvádí změny svalové aktivity s věkem. Zároveň u zdravých mladých jedinců je předpoklad kvalitnější představitivosti, což bylo ověřeno subjektivním hodnocením dotazníku kvality představy.

Volba povrchové elektromyografie jako nástroje k hodnocení svalové aktivity by mohla být diskutabilní výzkumnou metodou. Vzhledem k možným chybám rozpoznání záznamu EMG aktivity vlivem změn polohy povrchových elektrod po kůži vůči svalu by byla zřejmě vhodnější aplikace intramuskulárních elektrod, které by mohly lépe odhalit svalové aktivity i hlouběji uložených svalových vláken. Charakter snímaného signálu mohl být také zatížen lidskou chybou měření, při nesprávné palpaci svalových bříšek a tím související nesprávná

aplikace elektrod. Vlivem dynamické činnosti chůze po chodbě a slackline mohly přilnavost elektrod ovlivnit případné vegetativní projevy zvyšující odpor mezi kůží a elektrodami.

Pro standardizaci podmínek pro chůzi na slackline jsme zvolili pevnou konstrukci SlackRack 300 s pevně umístěným popruhem mezi dvěma kotvícími body, jehož umístění bylo na chodbě kineziologické laboratoře.

Při provádění představy pohybu jsme se snažili zamezit vlivu okolního prostředí, jako třeba hluku personálu a pacientů. Nicméně nebylo vždy v našich silách zajistit zcela homogenní a klidné prostředí pro nerušenou představu.

Průběh představy probíhal ve stoji s otevřenýma očima a pohledem na bílé plátno, čímž bylo zamezeno případnému výskytu posturálních výchylek a rušivých zrakových vjemů. Tato zvolená metoda na rozdíl od zavřených očí byla také pro testované probandy subjektivně příjemnější vzhledem k pozici stoje a mohli lépe a s větší jistotou realizovat představu. Využití akcelerometrie zároveň sloužilo k průkazu představy chůze a vyloučení pohybu samotného, jelikož v některých studiích jsme se setkali s problémem neschopnosti zabránit pohybu.

Dalším možným limitem by mohla být délka experimentu. V současných uvedených studiích se jedná o několikadenní trénink motorické představivosti, na rozdíl od našeho jednorázového experimentu, kterému nepředcházela žádná příprava.

Nejen náročnost balancování na slackline, ale především časté opakování náročné představy mohlo vést k únavě probandů, čemuž jsme se pokusili zabránit zkrácením času jednotlivých situací a pauzami během měření.

## Závěr

Z předešlých výsledků experimentálních studií bylo prokázáno ovlivnění motorického výkonu vlivem představy pohybu. Pro ozřejmení tohoto vztahu korelace mezi představou pohybu a jeho skutečnou exekucí, jsme v tomto experimentu zkoumali sledování změn svalových modulací snímaných povrchovou elektromyografií.

S ohledem na malé množství studií zabývajících se touto problematikou představy z hlediska pohybu dolní končetiny jsme zvolili typ komplexního pohybu, a to chůze po chodbě a na slackline. Vzhledem k nedostatku EMG studií představy chůze, jsme se rozhodli pro experimentální vzorek skupiny vybrat mladé a kognitivně zdravé jedince. Testovanými situacemi byly klidové aktivity, představy chůze před a po její vlastní realizaci chůze. Prvním typem chůze byla chůze po chodbě a poté chůze pohybově náročnější, a to na slackline. Výchozí pozice pro tyto testované situace byla poloha ve stoji. Z důvodu prokázání skutečné aktivace svalové aktivity a vyloučení mimovolních vychylek pohybů byly přidány záznamy z akcelerometrie.

Výsledky tohoto experimentu naznačují vliv představy chůze na změny svalové aktivity. Ke statisticky významným změnám došlo u m. tibialis anterior i m. gastrocnemius medialis při představě obou typů chůze. U představy chůze po chodbě byla tendence ke snižování svalové aktivity vzhledem k výchozí pozici i k představě před jejím provedením, a to u všech svalů s výjimkou m. tibialis anterior sinister. Signifikantní snížení svalové aktivity bylo v rozporu s dřívějšími studii zabývající se problematikou představy pohybu, kde tento fenomén můžeme přisuzovat vybranému komplexnímu a automatizovanému typu pohybu. Rovněž dalším možným vysvětlením útlumu svalové aktivity může být vliv aktivace zrcadlových neuronů či důvod volní snahy potlačit uskutečnění pohybu. U signifikantního nárůstu svalové aktivity m. tibialis anterior sinister můžeme spekulovat o nedokonalém vlivu inhibice centrálním nervovým systémem.

Při porovnání testovaných situací chůze po chodbě a na slackline došlo ke změnám, a to v navýšení svalové aktivity vůči klidu. U signifikantně naměřené významnosti m. tibialis anterior dexter přisuzujeme tento nárůst svalové aktivity vynaložení většího úsilí nezbytného pro vykonání chůze v představě. Zároveň je možné spekulovat nad funkcí tohoto svalu jako hlavního stabilizátoru hlezenního kloubu či vyšší náročnosti na představu složitějšího pohybu než u chůze po chodbě. Další vysvětlení tohoto výsledku je možné tedy opět hledat ve složitosti řízení lokomoce a změně aktivace kortikálních center.

U obou typů chůze nebyly prokázány signifikantní hodnoty posturálních výchylek, což nám prokázalo pravost reálné představy daných pohybů, nikoli pohybu vlastního.

Závěrem lze vzhledem k nekonzistentním výsledkům modulací svalové aktivity dolních končetin u obou situací tento výsledek přisuzovat nesystematickému vlivu přestavy chůze.

Co se týče dalších výzkumů problematiky představy chůze, bylo by vhodné opět zařadit jistou modifikaci náročnějšího typu chůze. Zároveň lze považovat za příhodné testované situace podrobit zkoumání z hlediska delšího časového úseku, a z důvodu aplikace do praxe prozkoumat představu chůze u pacientů s neurologickými defekty.

## Referenční seznam

ALKADHI, H., BRUGGER, P., BOENDERMAKER, S.H., CRELIER, G., CURT, A., HEPPREYMOND M.A., KOLLIAS, S.S. 2005. What Disconnection Tells about Motor Imagery: Evidence from Paraplegic Patients. *Cerebral Cortex* [online]. 2005, **15**(2), 131-140 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1093/cercor/bhh116. ISSN 1460-2199. Dostupné z: <https://academic.oup.com/cercor/article-lookup/doi/10.1093/cercor/bhh116>

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

ASHBURN, H. *How to Slackline!* Rowman and Littlefield, 2013, 224 s. ISBN: 987 – 07622784997.

BAKKER, F. C., BOSCHKER, M., CHUNG, T. 1996. Changes in muscular activity while imagining weight lifting using stimulus or response propositions. *Journal of Sport & Exercise psychology*. 1996, vol. 18, no. 3, pp. 313-324. ISSN: 1557-251X. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/232453541\\_Changes\\_in\\_muscular\\_activity\\_while\\_imagining\\_weight\\_lifting\\_using\\_stimulus\\_or\\_response\\_propositions](https://www.researchgate.net/publication/232453541_Changes_in_muscular_activity_while_imagining_weight_lifting_using_stimulus_or_response_propositions)

BAKKER, M., OVEREEM, S., SNIJDERS, A. H., BORM, G., VAN ELSWIJK, G., TONI, I., BLOEM, B. R. 2008. Motor imagery of foot dorsiflexion and gait: effects on corticospinal excitability. *Clinical Neurophysiology*. 2008, vol. 119, no. 11, pp. 2519-2527. ISSN: 1388-2457. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245708009097>

BALASUBRAMANIAM, R., WING, R. A. 2002. The dynamics of standing balance. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2002, **6**(12), 531-536 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/S1364-6613(02)02021-1. ISSN 13646613. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364661302020211>

BONNET, M., DECETY, J., JEANNEROD, M., REQUIN, J. 1997. Mental simulation of an action modulates the excitability of spinal reflex pathways in man. *Cognitive Brain Research* [online]. 1997, **5**(3), 221-228 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/S0926-



6410(96)00072-9.

ISSN

09266410.

Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926641096000729>

BOSCHKER, M.S.J., BAKKER, F.C., RIETBERG, B. 2000. Retroactive interference effects of mentally imagined movement speed. *Journal of Sports Sciences* [online]. 2000, **18**(8), 593-603 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1080/02640410050082305. ISSN 0264-0414. Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02640410050082305>

BRASIL-NETO, K.P., VALLS-SOLÈ, J., PASCUAL-LEONE, A., CAMMAROTA, A., AMASSIAN, V.E., CRACCO, R., MACCABEE, P., CRACCO, J. HALLETT, M., COHEN, L.G. 1993. Rapid modulation of human cortical motor outputs following ischaemic nerve block. *Brain* [online]. 1993, **116**(3), 511-525 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1093/brain/116.3.511. ISSN 0006-8950. Dostupné z: <https://academic.oup.com/brain/article-lookup/doi/10.1093/brain/116.3.511>

BRASS, M., BEKKERING, M., WOHLSCHLÄGER, A., PRINZ, W. 2000. Compatibility between Observed and Executed Finger Movements: Comparing Symbolic, Spatial, and Imitative Cues. *Brain and Cognition* [online]. 2000, **44**(2), 124-143 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1006/brcg.2000.1225. ISSN 02782626. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278262600912259>

BRUEHLMEIER, M., DIETZ, V., LEENDERS, K.L., ROELCKE, U., MISSIMER A., CURT, A. 1998. How does the human brain deal with a spinal cord injury?. *European Journal of Neuroscience* [online]. 1998, **10**(12), 3918-3922 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1046/j.1460-9568.1998.00454.x. ISSN 0953816X. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1460-9568.1998.00454.x>

BUCCINO, G., LUI, F., CANESSA, F., PATERI, I., LAGRAVINESE, G., BENUZZI, F., PORRO, C.A. a RIZZOLATTI, G. 2004. Neural Circuits Involved in the Recognition of Actions Performed by Nonconspecifics: An fMRI Study. *Journal of Cognitive Neuroscience* [online]. 2004, **16**(1), 114-126 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1162/089892904322755601. ISSN 0898-929X. Dostupné z: <http://www.mitpressjournals.org/doi/10.1162/089892904322755601>

BULLOCK, D; CISEK, P; GROSSBERG, S. 1998. Cortical networks for control of voluntary arm movements under variable force conditions. *Cerebral cortex* (New York, NY: 1991), 1998, 8.1: 48-62. Dostupné z: <https://academic.oup.com/cercor/article-lookup/doi/10.1093/cercor/8.1.48>

CLASSEN, J., LIEPERT, J., WISE, S.P., HALLETT, M., COHEN, L.G. 1998. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *Journal of neurophysiology*. 1998;79:1117–1123.

Dostupné z: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jn.1998.79.2.1117>

CRAMER, S.C., ORR, E.L., COHEN, M.J., LACOURSE, M.G. 2007. Effects of motor imagery training after chronic, complete spinal cord injury. *Experimental brain research*. 2007; vol. 177, pp. 233-242. ISSN 1432-1106.

Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00221-006-0662-9>

CRAMER, S.C., LASTRA, L., LACOURSE, M.G., COHEN, M.J. 2005. Brain motor system function after chronic, complete spinal cord injury. *Brain* [online]. 2005, **128**(12), 2941-2950 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1093/brain/awh648. ISSN 1460-2156.

Dostupné z: <http://academic.oup.com/brain/article/128/12/2941/420486/Brain-motor-system-function-after-chronic-complete>

CROSBIE, J.H., McDONOUGH, S.M., GILMORE, D.H., WIGGAM, M.I. 2004. The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 2004, 18.1: 60-68.

Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1191/0269215504cr702oa>

DE LANGE, F. P., ROELOFS, K., TONI, I. 2008. Motor Imagery: A window into the mechanism and alterations of the motor system. *Cortex*. 2008, vol. 44, no. 5, pp. 494-506. ISSN: 0010-9452.

Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010945207001141>

DECETY, J., GRÈZES, J. 2006. The power of simulation: imagining one's own and other's behavior. *Brain research*, 2006, 1079.1: 4-14.

Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006899306000102>

DECHENT, P., MERBOLDT, K.D., FRAHM, J. 2004. Is the human primary motor cortex involved in motor imagery? *Brain research. Cognitive brain research.* 2004;19:138–144.  
Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0926641003002945>

DI PELLEGRINO, G., FADIGA, L., FOGASSI, L., GALLESE, V., RIZZOLATTI, G. 1992. Understanding motor events, a neurophysiological study. *Experimental brain research.* 1992;91:176–180.  
Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF00230027>

DICKINSON, P.S. 2006. Neuromodulation of central pattern generators in invertebrates and vertebrates. *Current Opinion in Neurobiology*[online]. 2006, **16**(6), 604-614 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/j.conb.2006.10.007. ISSN 09594388.  
Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959438806001486>

DICKSTEIN, R., DEUTSCH, J. E. 2007. Motor Imagery in Physical Therapist Practice. *Physical Therapy.* 2007, vol. 87, no. 7, pp. 942-953. ISSN: 1538-6724.  
Dostupné z: <http://ptjournal.apta.org/content/87/7/942>

DICKSTEIN, R., GAZIT-GRUNWALD, M., PLAX, M., DUNSKY, A., MARCOVITZ, E. 2005. EMG Activity in Selected Target Muscles During Imagery Rising on Tiptoes in Healthy Adults and Poststroke Hemiparetic Patients. *Journal of Motor Behaviour.* 2005, vol. 37, no. 6, pp. 475-483. ISSN: 0022-2895.  
Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3200/JMBR.37.6.475-483?journalCode=vjmb20>

DIJKERMAN, H. C., IETSWAART, M., JOHNSTON, M., MACWALTER, F. S. 2004. Does motor imagery training improve hand function in chronic stroke patients? A pilot study. *Clinical Rehabilitation.* 2004, vol. 18, pp. 538-549. ISSN: 1477-0873.  
Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/8418072\\_Does\\_motor\\_imagery\\_training\\_improve\\_hand\\_function\\_in\\_chronic\\_stroke\\_patients\\_A\\_pilot\\_study\\_Clin\\_Rehabil](https://www.researchgate.net/publication/8418072_Does_motor_imagery_training_improve_hand_function_in_chronic_stroke_patients_A_pilot_study_Clin_Rehabil)

DIJKERMAN, H. C., IETSWAART, M., JOHNSTON, M., MACWALTER, F. S. 2004. Does motor imagery training improve hand function in chronic stroke patients? A pilot study. *Clinical Rehabilitation.* 2004, vol. 18, pp. 538-549. ISSN: 1477-0873.

Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/8418072\\_Does\\_motor\\_imagery\\_training\\_improve\\_hand\\_function\\_in\\_chronic\\_stroke\\_patients\\_A\\_pilot\\_study](https://www.researchgate.net/publication/8418072_Does_motor_imagery_training_improve_hand_function_in_chronic_stroke_patients_A_pilot_study) Clin Rehabil

DONATH, L., ROTH, R., ZAHNER, L., FAUDE, O. 2016. Slackline training and neuromuscular performance in seniors: A randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports* [online]. 2016, **26**(3), 275-283 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1111/sms.12423. ISSN 09057188. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/sms.12423>

DONATH, L., ROTH, R., RUEEGGE, A., GROPPA, M., ZAHNER, L., FAUDE, O. 2013. Effects of Slackline Training on Balance, Jump Performance & Muscle Activity in Young Children. *International Journal of Sports Medicine* [online]. 2013, **34**(12), 1093-1098 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1055/s-0033-1337949. ISSN 0172-4622. Dostupné z: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-0033-1337949>

DRECHSLER, W.I., CRAMP, M.C., SCOTT, O.M. 2006. Changes in muscle strength and EMG median frequency after anterior cruciate ligament reconstruction. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2006, **98**(6), 613-623 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1007/s00421-006-0311-9. ISSN 1439-6319. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00421-006-0311-9>

DRISKELL, J.E., COPPER, C., MORAN, A. 1994. Does mental practice enhance performance?. *Journal of applied psychology*, 1994, 79.4: 481.

DUNSKY, A., DICKSTEIN, R., MARCOVITZ, E., LEVY, S., DEUTSCH, J. 2008. Home-Based Motor Imagery Training for Gait Rehabilitation of People With Chronic Poststroke Hemiparesis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 2008, **89**(8), 1580-1588 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/j.apmr.2007.12.039. ISSN 00039993. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003999308003249>

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*. 2003, vol. 90, no. 5, pp. 3304-3316. ISSN: 0022-3077. Dostupné z: <http://jn.physiology.org/content/90/5/3304.long>

ENGIN, M., DEMIREL, A., ENGIN, E.Z., FEDAKAR, M. 2005. Recent developments and trends in biomedical sensors. *Measurement* [online]. 2005, **37**(2), 173-188 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/j.measurement.2004.11.002. ISSN 02632241. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263224104001113>

FADIGA, L., BUCCINO, G., CRAIGHERO, L., FOGASSI, L., GALLESE, V., PAVESI, G. 1998. Corticospinal excitability is specifically modulated by motor imagery: a magnetic stimulation study. *Neuropsychologia* [online]. 1998, **37**(2), 147-158 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/S0028-3932(98)00089-X. ISSN 00283932. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S002839329800089X>

FANSLER, C.L., POFF, C.L., SHEPARD, F.G. 1985. Effects of Mental Practice on Balance in Elderly Women. *Physical Therapy*[online]. 1985, **65**(9), 1332-1338 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1093/ptj/65.9.1332. ISSN 0031-9023. Dostupné z: <https://academic.oup.com/ptj/article/2727888/Effects>

FLOR, H. 2003. Cortical reorganisation and chronic pain: implications for rehabilitation. *Journal of Rehabilitation Medicine* [online]. 2003, **35**, 66-72 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1080/16501960310010179. ISSN 1650-1977. Dostupné z: <https://medicaljournals.se/jrm/content/abstract/10.1080/16501960310010179>

GENTILI, R., PAPAXANTHIS, C., POZZO, T. 2006. Improvement and generalization of arm motor performance through motor imagery practice. *Neuroscience*. 2006, vol. 137, no. 3, pp. 761-772. ISSN: 0306-4522. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306452205011541>

GERARDIN, E., SIRIGU, A., LEHÉRICY, S., POLINE, J. B., GAYMARD, B., MARSAULT, C., AQID, Y., LE BIHAN, D. 2000. Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cerebral Cortex*. 2000, vol. 10, no. 11, pp. 1093-1104. ISSN: 1460-2199. Dostupné z: <http://cercor.oxfordjournals.org/content/10/11/1093.full.pdf+html>

GRANGEON, M., GUILLOT, A., COLLET, C. 2011. Postural Control During Visual and Kinesthetic Motor Imagery. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*. 2011, vol. 36, no. 1,

pp. 17-56. ISSN: 1573-3270. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10484-011-9145-2#/page-1>

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]. 2010, **7**(2), 249-257 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1093/ecam/nem170. ISSN 1741-427X. Dostupné z: <http://www.hindawi.com/journals/ecam/2010/735968/>

DECETY, J., GRÈZES, J. 1999. Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in cognitive sciences*, 1999, 3.5: 172-178. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364661399013121>

GRILLNER, S., ROSSIGNOL, S. 1978. On the initiation of the swing phase of locomotion in chronic spinal cats. *Brain Research* [online]. 1978, **146**(2), 269-277 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/0006-8993(78)90973-3. ISSN 00068993. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0006899378909733>

GRILLNER, S., ZANGGER, P. 1979. On the central generation of locomotion in the low spinal cat. *Experimental Brain Research* [online]. 1979, **34**(2) [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1007/BF00235671. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF00235671>

GUILLOT, A., LEBON, F., ROUFFET, D., CHAMPELY, S., DOYON, J., COLLET, C. 2008. Muscular responses during motor imagery as a function of muscle contraction types. *International Journal of Psychophysiology*. 2008, vol. 66, no. 1, pp. 18-27. ISSN: 0167-8760. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/6247947\\_Muscular\\_responses\\_during\\_motor\\_imagery\\_as\\_a\\_function\\_of\\_muscle\\_contraction\\_types](https://www.researchgate.net/publication/6247947_Muscular_responses_during_motor_imagery_as_a_function_of_muscle_contraction_types)

GUILLOT, A., COLLET, CH., NGUYEN, V. A., MALOUIN, F., RICHARDS C., DOYON, J. 2009. Brain Activity During Visual Versus Kinesthetic Imagery: An fMRI Study. *Human Brain Mapping*. 2009, vol. 30, no. 7, pp. 2157-2172. ISSN: 1097-0193. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/23282057\\_Brain\\_Activity\\_During\\_Visual\\_Versus\\_Kinesthetic\\_Imagery\\_An\\_fMRI\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/23282057_Brain_Activity_During_Visual_Versus_Kinesthetic_Imagery_An_fMRI_Study)

GUILLOT, A., DI RIENZO, F., MACLNTYRE, 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*. 2012, vol. 6, no. 247, pp. 1-22. ISSN: 1662-5161. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/230843807\\_Imagining\\_is\\_Not\\_Doing\\_but\\_Involves\\_Specific\\_Motor\\_Commands\\_A\\_Review\\_of\\_Experimental\\_Data\\_Related\\_to\\_Motor\\_Inhibition](https://www.researchgate.net/publication/230843807_Imagining_is_Not_Doing_but_Involves_Specific_Motor_Commands_A_Review_of_Experimental_Data_Related_to_Motor_Inhibition)

HAMEL, M.F., LAJOIE, Y. 2005. Mental Imagery. Effects on static balance and attentional demands of the elderly. *Aging Clinical and Experimental Research* [online]. 2005, **17**(3), 223-228 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1007/BF03324601. ISSN 1594-0667. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF03324601>

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*. 2003, vol. 89, no. 2, pp. 989-1002. ISSN: 1522-1598. Dostupné z: <http://jn.physiology.org/content/jn/89/2/989.full.pdf>

HEREMANS, E, NIEUWBOER, A., VERCRUYSSSE, P.F.S., VANDENBERGHE, W., SHARMA, N., HELSEN, W.F. 2012. External Cueing Improves Motor Imagery Quality in Patients With Parkinson Disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 2012, **26**(1), 27-35 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1177/1545968311411055. ISSN 1545-9683. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1545968311411055>

HÉTU, S., GRÉGOIRE, M., SAIMPONT, A., COLL M. P., EUGÉNE, F., MICHON, P. E., JACKSON, P. L. 2013. The neural network of motor imagery: An ALE meta-analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. 2013, vol. 37, no. 5, pp. 930-949. ISSN: 0149-7634. Dostupné z: [http://ac.els-cdn.com/S0149763413000778/1-s2.0-S0149763413000778-main.pdf?\\_tid=ec5d34be-15d9-11e6-90f0-0000aacb35e&acdnat=1462793820\\_7c4a42b736182c11760e644f9a67ac51](http://ac.els-cdn.com/S0149763413000778/1-s2.0-S0149763413000778-main.pdf?_tid=ec5d34be-15d9-11e6-90f0-0000aacb35e&acdnat=1462793820_7c4a42b736182c11760e644f9a67ac51)

HOLMES, P.S., COLLINS, D.J. 2001. The PETTLEP Approach to Motor Imagery: A Functional Equivalence Model for Sport Psychologists. *Journal of Applied Sport Psychology* [online]. 2001, **13**(1), 60-83 [cit. 2019-05-01]. DOI:

Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10413200109339004>

JACKSON, P. L., LAFLEUR, M. F., MALOUIN, F., RICHARDS, C. S., DOYON, J. 2003. Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *NeuroImage*. 2003, vol. 20, no. 2, pp. 1171-1180. ISSN: 1053-8119.

Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811903003690>

JAHN, K., DEUTSCHLÄNDER, A., STEPHAN, T., STRUPP, M., WIESMANN, M., BRANDT, T. 2004. Brain activation patterns during imagined stance and locomotion in functional magnetic resonance imaging. *NeuroImage*. 2004, vol. 22, no. 4, pp. 1722-1731. ISSN: 10538119. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811904002964>

JARRETT, C.B. 2012. Mirror neurons: the most hyped concept in Neuroscience? Psychology Today [Blog] <http://www.psychologytoday.com/blog/brain-myths/201212/mirror-neurons-the-most-hyped-concept-in-neuroscience>.

JEANNEROD, M. 1995. Mental imagery in the motor cortex. *Neuropsychologia*. 1995, vol. 33, no. 11, pp. 1419-1432. ISSN: 0028-3932.

Dostupné z: <http://wexler.free.fr/library/files/jeannerod%20%281995%29%20mental%20imagery%20in%20the%20motor%20context.pdf>

JEANNEROD, M., DECETY, J. 1995. Mental motor imagery: a window into the representational stages of action. *Current Opinion in Neurobiology*. 1995, vol. 5, no. 6, pp. 727-732. ISSN: 0959-4388.

Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0959438895800999>

JEANNEROD, M. 2001. Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*. 2001, vol. 14, pp. 103-109. ISSN: 1053-8119. Dostupné z: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.212.520&rep=rep1&type=pdf>

KALICINSKI, M., LOBINGER, B. 2013. Benefits of Motor and Exercise Imagery for Older Adults. *Journal of Imagery Research in Sport and Physical Activity*. 2013, vol. 8, no. 1, pp. 1-



15. ISSN: 1932-0191. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/236941867\\_Benefits\\_of\\_Motor\\_and\\_Exercise\\_Imagery\\_for\\_Older\\_Adults](https://www.researchgate.net/publication/236941867_Benefits_of_Motor_and_Exercise_Imagery_for_Older_Adults)

KILNER, J.M., LEMON, R.N. 2013. What We Know Currently about Mirror Neurons. *Current Biology* [online]. 2013, 23(23), R1057-R1062 [cit. 2018-01-05]. DOI: 10.1016/j.cub.2013.10.051. ISSN 09609822. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960982213013262>

KIMBERLEY TJ, KHANDEKAR G, SKRABA LL, SPENCER JA, VAN GORP EA, WALKER SR. 2006. Neural substrates for motor imagery in severe hemiparesis. *Neurorehabilitation an neural repair*. 2006, vol. 20, pp. 268-277. ISSN 1552-6844.

KOLÁŘ, Pavel, c2009. *Rehabilitace v klinické praxi*. Praha: Galén. ISBN isbn978-80-7262-657-1.

KOLÁŘOVÁ, B. *Počítačové a robotické technologie v klinické rehabilitaci - možnosti vyšetření a terapie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN isbn978-80-244-4266-2.

KOSSLYN, S. M., GANIS, G., THOMSON, W. L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nature Reviews Neuroscience* volume 2, 635–642.

KVÁŠ, O. 2013. *Metodická příručka slackline 1*. Česká asociace slackline, o.s., Lajny.cz. [online]. 2013, pp. 1–49. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://lajny.cz/dokumenty/MEP1.pdf>

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*. 2002, vol. 16, no. 1, pp. 142-157. ISSN: 1053-8119. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811901910481>

LEBON, F., ROUFFET, D., COLLET, C., GUILLOT, A. 2008. Modulation of EMG power spectrum frequency during motor imagery. *Neuroscience Letters*. 2008, vol. 435, no. 3, pp.

181-185. ISSN: 1872-7972. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304394008002218>

LEMOS, T., RODRIGUEZ, E. C., VARGAS, C. D. 2014. Motor imagery modulation of postural sway is accompanied by changes in the EMG-COP association. *Neuroscience Letters*. 2014, vol. 577, pp. 101-105. ISSN: 0304-3940. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304394014004911>

LIM, V. K., POLYCH, M. A., HOLLÄNDER, A., BYBLOW, W. D., KIRK, I. J., HAMM, J. P. 2006. Kinesthetic but not visual imagery assists in normalizing the CNV in Parkinson's disease. *Clinical Neurophysiology*. 2006, vol. 117, no. 10, pp. 2308-2314. ISSN: 1388-2457. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245706009771>

LOTZE, M., MONTOYA, P., ERB, M., HÜLSMANN, E., FLOR, H., KLOSE, U., BIRBAUMER, N., GRODD, W. 1999. Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*. 1999, vol. 11, no. 5, pp. 491-501. ISSN: 0898-929X. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/12788121\\_Activation\\_of\\_Cortical\\_and\\_Cerebellar\\_Motor\\_Areas\\_during\\_Executed\\_and\\_Imagined\\_Hand\\_Movements\\_An\\_fMRI\\_Study](https://www.researchgate.net/publication/12788121_Activation_of_Cortical_and_Cerebellar_Motor_Areas_during_Executed_and_Imagined_Hand_Movements_An_fMRI_Study)

LOTZE, M., HALSBAND, U. 2006. Motor Imagery. *Journal of Physiology - Paris*. 2006, vol. 99, pp. 386-395. ISSN: 0928-4257. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928425706000210>

MACIVER, K., LLOYD, M.D., KELLY, S. ROBERTS, N., NURMIKKO, T. 2008. Phantom limb pain, cortical reorganization and the therapeutic effect of mental imagery. *Brain* [online]. 2008, **131**(8), 2181-2191 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1093/brain/awn124. ISSN 1460-2156. Dostupné z: <https://academic.oup.com/brain/article-lookup/doi/10.1093/brain/awn124>

MACKAY-LYONS, M. 2002. Central Pattern Generation of Locomotion: A Review of the Evidence. *Physical Therapy* [online]. 2002, **82**(1), 69-83 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1093/ptj/82.1.69. ISSN 0031-9023. Dostupné z: <https://academic.oup.com/ptj/article/2837028/Central>

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*. 2003, vol. 19, no. 1, pp. 47-62. ISSN: 1097-0193. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010945214003153>

MALOUIN, F., RICHARDS, C. L. 2010. Mental Practice for Relearning Locomotor Skills. *Physical Therapy*. 2010, vol. 90, no. 2, pp. 240-251. ISSN: 1538-6724. Dostupné z: <http://ptjournal.apta.org/content/90/2/240>

MATEO, S., DI RIENZO, F., BERGERON, V., GUILLOT, A., COLLET, C., RODE, G. 2015. Motor imagery reinforces brain compensation of reach-to-grasp movement after cervical spinal cord injury. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* [online]. 2015, 9 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.3389/fnbeh.2015.00234. ISSN 1662-5153. Dostupné z: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fnbeh.2015.00234/abstract>

MEREDITH, M., GRAZIADEI, P.P., GRAZIADEI, G.A., RASHOTTE, M.E, SMITH, J.C. 1983. Olfactory function after bulbectomy. *Science*. 1983, vol. 222, no. 4629, pp. 1254–1255. ISSN: 6648–5330.

MILNER, A.D., GOODALE, M.A. 1993. *Chapter 28 Visual pathways to perception and action* [online]. Elsevier, 1993, 1993, s. 317-337 [cit. 2019-05-01]. Progress in Brain Research. DOI: 10.1016/S0079-6123(08)60379-9. ISBN 9780444894922. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0079612308603799>

MILTON J., SMALL, S. L., SOLODKIN, A. 2008. Imaging motor imagery: Methodological issues related to expertise. *Methods*. 2008, vol. 45, no. 4, pp. 336-341. ISSN: 1046-2023. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1046202308000789>

MILTON, J., SOLODKIN, A., HLUŠTÍK, P., SMALL, S. L. 2007. The mind of expert motor performance is cool and focused. *NeuroImage*. 2007, vol. 35, pp. 804-813. ISSN: 1053-8119. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/6489410> The mind of expert motor performance is cool and focused

MIZNER, R.L., PETTERSON, S.C., SNYDER-MACKLER, L. 2005. Quadriceps Strength and the Time Course of Functional Recovery After Total Knee Arthroplasty. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* [online]. 2005, **35**(7), 424-436 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.2519/jospt.2005.35.7.424. ISSN 0190-6011. Dostupné z: <http://www.jospt.org/doi/10.2519/jospt.2005.35.7.424>

MOODY, C.L., GENNARI, S.P. 2010. Effects of implied physical effort in sensory-motor and pre-frontal cortex during language comprehension. *NeuroImage* [online]. 2010, **49**(1), 782-793 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2009.07.065. ISSN 10538119. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811909008520>

MULDER, TH., 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*. 2005, vol. 163, no. 3, pp. 344-351. ISSN: 1432-1106. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00221-004-2179-4#/page-1>

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*. 2002, vol. 42, no. 9, pp. 3683-3691. ISSN: 1529-2401. Dostupné z: <http://www.jneurosci.org/content/22/9/3683.full.pdf>

NASHNER, L.M., FORSSBERG, H. 1986. Phase-dependent organization of postural adjustments associated with arm movements while walking. *Journal of Neurophysiology* [online]. 1986, **55**(6), 1382-1394 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1152/jn.1986.55.6.1382. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jn.1986.55.6.1382>

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]. 2015, **47**(3), 204-209 [cit. 2019-05-07]. DOI: 10.2340/16501977-1908. ISSN 1650-1977. Dostupné z: <https://www.medicaljournals.se/jrm/content/abstract/10.2340/16501977-1908>

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]. 2005, **86**(3), 399-402 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/j.apmr.2004.10.002. ISSN 00039993. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000399930401247X>

PAGE, S.J., LEVINE, P., SISTO, S., JOHNSTON, M.V. 2016. A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. *Clinical Rehabilitation* [online]. 2016, **15**(3), 233-240 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1191/026921501672063235. ISSN 0269-2155. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1191/026921501672063235>

PAOLETTI, P., MAHADEVAN, L. 2012. Balancing on tightropes and slacklines. *Journal of the Royal Society Interface*. [online]. 2012, vol. 9, pp. 2097–2108. [cit. 2016-05-22]. ISSN: Print–2012–0077. Dostupné z: <http://rsif.royalsocietypublishing.org/content/9/74/2097>

PEIKENKAMP, K., STIEF, T. 2012. Effect of motor imagery of the human gait on SEMG-activities of the lower limb muscles. *Journal of biomechanics*. 2012, vol. 45, no. 1, pp. 246. ISSN: 0021-9290. Dostupné z: <http://www.jbiomech.com/article/S0021-9290%2812%2970247-6/abstract>

PERSONNIER, P., BALLAY, Y., PAPAXANTHIS, CH. 2010. Mentally represented motor actions in normal aging: III. Electromyographic features of imagined arm movements. *Behavioural Brain Research*. 2010, vol. 206, no. 2, pp. 184-191. ISSN: 0166-4328. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166432809005269>

PICARD, N., STRICK, P.L. 1996. Motor Areas of the Medial Wall: A Review of Their Location and Functional Activation. *Cerebral Cortex* [online]. 1996, **6**(3), 342-353 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1093/cercor/6.3.342. ISSN 1047-3211. Dostupné z: <https://academic.oup.com/cercor/article-lookup/doi/10.1093/cercor/6.3.342>

PORRO, C. A., FRANCESCATO, M. P., CETTOLO, V., DIAMOND, M. E., BARALDI, P., ZUIANI, CH., BAZZOCCHI, M., PRAMPERO, P. E. 1996. Primary Motor and Sensory Cortex Activation during Motor Performance and Motor Imagery: A Functional Magnetic Resonance Imaging Study. *The Journal of Neuroscience*. 1996, vol. 16, no. 23, pp. 7688-7698. ISSN: 1529-2401. Dostupné z: <http://www.jneurosci.org/content/16/23/7688.long>

RAINOLDI, A., MELCHIORRI, G., CARUSO, I. 2004. A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles. *Journal of Neuroscience Methods* [online]. 2004, **134**(1), 37-43 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2003.10.014. ISSN 01650270. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0165027003003522>

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*. 2004, vol. 42, no. 7, pp. 944-956. ISSN: 0028-3932. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0028393203003257>

REILLY, K.T. 2006. Persistent hand motor commands in the amputees' brain. *Brain* [online]. 2006, **129**(8), 2211-2223 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1093/brain/awl154. ISSN 0006-8950. Dostupné z: <https://academic.oup.com/brain/article-lookup/doi/10.1093/brain/awl154>

REISER, Mathias. Strength gains by motor imagery with different ratios of physical to mental practice. *Frontiers in Psychology* [online]. 2011, **2** [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00194. ISSN 16641078. Dostupné z: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2011.00194/abstract>

RODRIGUES, E. C., LEMOS, T., GOUVEA, B., VOLCHAN, E., IMBIRIBA, L. A., VARGAS, C. D. 2010. Kinesthetic motor imagery modulates body sway. *Neuroscience*. 2010, vol. 169, no. 2, pp. 743-750. ISSN: 0306-4522. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/44587111\\_Kinesthetic\\_motor\\_imagery\\_modulates\\_body\\_sway](https://www.researchgate.net/publication/44587111_Kinesthetic_motor_imagery_modulates_body_sway)

ROSS, J. S., TKACH, J., RUQQIERI, P. M., LIEBER, M., LAPRESTO, E. 2003. The mind's eye: functional MR imaging evaluation of golf motor imagery. *American Journal of Neuroradiology*. 2003, vol. 24, no. 6, pp. 1036-1044. ISSN: 1936-959X. Dostupné z: <http://www.ajnr.org/content/24/6/1036.long>

RUBY, P., DECETY, J. 2003. What you believe versus what you think they believe: a neuroimaging study of conceptual perspective-taking. *European Journal of Neuroscience*. 2003, vol. 17, pp. 2475-2480. ISSN: 1460-9568. Dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/6952981\\_Ruby\\_P\\_Decety\\_J\\_What\\_you\\_believe\\_vs\\_what\\_you\\_think\\_they\\_believe\\_a\\_neuroimaging\\_study\\_of\\_conceptual\\_perspective-taking\\_Eur\\_J\\_Neurosci\\_17\\_2475-2480](https://www.researchgate.net/publication/6952981_Ruby_P_Decety_J_What_you_believe_vs_what_you_think_they_believe_a_neuroimaging_study_of_conceptual_perspective-taking_Eur_J_Neurosci_17_2475-2480)

SAIMPONT, A., MALOUIN, F., TOUSIGNANT, B., JACKSON, P. L. 2012. The influence of body configuration on motor imagery of walking in younger and older adults. *Neuroscience*. 2012, vol. 222, pp. 49-57. ISSN: 0306-4522. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306452212007063>

SANTOS, L., RÍO, J.F., GARCÍA, B.F., JAKOBSEN, M.D., GOMEZ, L.G., SUMAN, O.E. 2016. Effect of Slackline training on Postural control, jump performance, and myoelectrical activity in female basketball players. *The Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016, vol. 30, no. 3, pp. 653–664. ISSN: 281621846.

SHARMA, N., POMEROY, V. M., BARON, J. C. 2006. Motor Imagery: A Backdoor to the Motor System After Stroke?. *Journal of the American Heart Association*. 2006, vol. 37, pp. 1941-1952. ISSN: 1524-4628. Dostupné z: <http://stroke.ahajournals.org/content/37/7/1941.long>

SHUMWAY-COOK, A., WOOLLACOTT, M.H. c2012. *Motor control: translating research into clinical practice*. 4th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, c2012. ISBN 978-1-60831-018-0.

SCHWOEBEL, J., BORONAT, C.B., BRANCH COSLETT, H. 2002. The man who executed “imagined” movements: Evidence for dissociable components of the body schema. *Brain and Cognition* [online]. 2002, **50**(1), 1-16 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/S0278-2626(02)00005-2. ISSN 02782626. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278262602000052>

SIDAWAY, B., TRZASKA, A. 2005. Can mental practice increase ankle dorsiflexor torque?. *Physical therapy*, 2005, 85.10: 1053-1060.

SMITH, J.L. 1990. 5 Programming of Stereotyped Limb Movements by Spinal Generators. *Tutorials in Motor Behavior* [online]. Elsevier, 1980, 1980, s. 95-115 [cit. 2019-05-01]. Advances in Psychology. DOI: 10.1016/S0166-4115(08)61940-8. ISBN

9780444854667.

Dostupné

z:

<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166411508619408>

SOLODKIN, A., HLUSTIK, P., CHEN, E., SMALL, S. L. 2004. Fine Modulation in Network Activation during Motor Execution and Motor Imagery. *Cerebral Cortex*. 2004, vol. 14, pp. 1246-1255. ISSN: 1047-3211. Dostupné z: <http://fmri.upol.cz/webdoc/solodkin-motorImagery04.pdf>

STEPHAN, K.M., FINK, G.R., PASSINGHAM, R.E. , SILBERSWEIG, D., CEBALLOS-BAUMANN, A.O., FRITH, C.D., FRACKOWIAK, S.R. 1995. Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects. *Journal of Neurophysiology* [online]. 1995, **73**(1), 373-386 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1152/jn.1995.73.1.373. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <http://www.physiology.org/doi/10.1152/jn.1995.73.1.373>

STEVENS, J.A., STOYKOV, M.A.P. 2003. Using Motor Imagery in the Rehabilitation of Hemiparesis 11No commercial party having a direct financial interest in the results of the research supporting this article has or will confer a benefit on the authors or on any organization with which the authors are associated. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 2003, **84**(7), 1090-1092 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/S0003-9993(03)00042-X. ISSN 00039993. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S000399930300042X>

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*. 2006, vol. 168, no. 1,2, pp. 157-164. ISSN: 1432-1106. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/7681755\\_Kinesthetic\\_but\\_not\\_visual\\_motor\\_imagery\\_modulates\\_corticomotor\\_excitability](https://www.researchgate.net/publication/7681755_Kinesthetic_but_not_visual_motor_imagery_modulates_corticomotor_excitability)

STINS, J. F., SCHNEIDER, I. K., KOOLE, S. L., BEEK, P. J. 2015. The Influence of Motor Imagery on Postural Sway: Differential Effects of Type of Body Movement and Person Perspective. *Advances in Cognitive Psychology*. 2015, vol. 11, no. 3, pp. 77-83. ISSN: 1895-1171. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4584255/>



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]. 2002, **331**(1), 50-54 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1016/S0304-3940(02)00826-1. ISSN 03043940. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304394002008261>

SZAMEITAT, A. J., SHEN, S., STERR, A. 2007. Motor imagery of complex everyday movements. An fMRI study. *NeuroImage*. 2007, vol. 34, no. 2, pp. 702-713. ISSN: 1053-8119. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811906009748>

TAMIR, R., DICKSTEIN, R., HUBERMAN, M. 2016. Integration of Motor Imagery and Physical Practice in Group Treatment Applied to Subjects With Parkinson's Disease. *Neurorehabilitation and Neural Repair* [online]. 2016, **21**(1), 68-75 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1177/1545968306292608. ISSN 1545-9683. Dostupné z: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1545968306292608>

THOBOIS, S., DOMINEY, P. F., DECETY, J., POLLAK, P., GREGOIRE, M. C., LE BARS, D., BROUSSOLLE, E. 2000. Motor imagery in normal subjects and in asymmetrical Parkinson's disease: A PET study. *Neurology*. 2000, vol. 55, no. 7, pp. 996-1002. ISSN: 2090-5513. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/253853517> Motor imagery in normal subjects and in asymmetrical Parkinson's disease

THOBOIS, S., DOMINEY, P., FRAIX, V., MERTENS, P., GUENOT, M., ZIMMER, L., POLLAK, P., BENABID, A.L., BROUSSOLLE, E. 2002. Effects of subthalamic nucleus stimulation on actual and imagined movement in Parkinson's disease: a PET study. *Journal of Neurology* [online]. 2002, **249**(12), 1689-1698 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1007/s00415-002-0906-y. ISSN 0340-5354. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00415-002-0906-y>

URGESI, C., MORO, V., CANDIDI, M., AGLIOTI, S.M. 2006. Mapping Implied Body Actions in the Human Motor System. *Journal of Neuroscience*[online]. 2006, **26**(30), 7942-7949 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1289-06.2006. ISSN 0270-6474. Dostupné z: <http://www.jneurosci.org/cgi/doi/10.1523/JNEUROSCI.1289-06.2006>

VÉLE, F. 1997. Kineziologie pro klinickou praxi. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-256-5.

VÉLE, F. 2006. Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy. Vyd. 2., (V Tritonu 1.). Praha: Triton, 2006. ISBN 80-7254-837-9.

VERMA, R., ARYA, K. N., SHARMA, P., GRAG, R. K. 2012. Understanding gait control in post-stroke: Implications for management. *Journal of Bodywork & Movement Therapies*. 2012, vol. 16, no. 1, pp. 14-21. ISSN: 1360-8592. Dostupné z: [http://ac.els-cdn.com/S1360859210001890/1-s2.0-S1360859210001890-main.pdf?\\_tid=c4feb5e0-15df-11e6-a1d3-00000aab0f27&acdnat=1462796330\\_135ce8b534b51f9d9792ecfd1bfad589](http://ac.els-cdn.com/S1360859210001890/1-s2.0-S1360859210001890-main.pdf?_tid=c4feb5e0-15df-11e6-a1d3-00000aab0f27&acdnat=1462796330_135ce8b534b51f9d9792ecfd1bfad589)

VRANA, A, HOTZ-BOENDERMAKER, S., STÄMPFLI, P., HÄNGGI, J., SEIFRITZ, E., HUMPHREYS, B.K., MEIER, M.L., SCHALK, G. 2015. Differential Neural Processing during Motor Imagery of Daily Activities in Chronic Low Back Pain Patients. *PLOS ONE* [online]. 2015, **10**(11) [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1371/journal.pone.0142391. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0142391>

WALLÉN, P. 1995. Cellular Bases of Locomotor Behaviour in Lamprey: Coordination and Modulatory Control of the Spinal Circuitry. FERRELL, William R. a Uwe PROSKE, ed. *Neural Control of Movement* [online]. Boston, MA: Springer US, 1995, 1995, s. 125-133 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1007/978-1-4615-1985-0\_17. ISBN 978-1-4613-5818-3. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-1-4615-1985-0\\_17](http://link.springer.com/10.1007/978-1-4615-1985-0_17)

WILLIAMS, J.G., ODLEY, J.L., CALLAGHAN, M. 2004. Motor imagery boosts proprioceptive neuromuscular facilitation in the attainment and retention of range-of-motion at the hip joint. *Journal of sports science & medicine*, 2004, 3.3: 160.

WILSON, CH., SMITH, D., BURDEN, A., HOLMES, P. 2010. Participant-generated imagery scripts produce greater EMG activity and imagery ability. *European Journal of Sport Science* [online]. 2010, **10**(6), 417-425 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1080/17461391003770491. ISSN 1746-1391. Dostupné z: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17461391003770491>

WOLPAW, J.R., M TENNISSEN, M. 2001. Activity-Dependent Spinal Cord Plasticity in Health and Disease. *Annual Review of Neuroscience*[online]. 2001, **24**(1), 807-843 [cit. 2019-

05-01]. DOI: 10.1146/annurev.neuro.24.1.807. ISSN 0147-006X. Dostupné z: <http://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev.neuro.24.1.807>

YÁGÜEZ, L., CANAVAN, A. G. M., LANGE, H. W., HÖMBERG, V. 1999. Motor learning by imagery is differentially affected in Parkinson's and Huntington's disease. *Behavioural Brain Research*. 1999, vol. 102, no. 1,2, pp. 115-127. ISSN: 0166-4328. Dostupné z: <http://e.guigon.free.fr/rsc/article/YaguezEtAl99.pdf>

YOO, E., PARK, E., CHUNG, B. 2001. Mental practice effect on line-tracing accuracy in persons with hemiparetic stroke: A preliminary study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*[online]. 2001, **82**(9), 1213-1218 [cit. 2019-05-01]. DOI: 10.1053/apmr.2001.25095. ISSN 00039993. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003999301112554>

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*. 1992, vol. 67, no. 5, pp. 1114-1123. ISSN: 1522-1598. Dostupné z: <http://jn.physiology.org/content/67/5/1114>

ZIJDEWIND, I., TOERING, S. T., BESSEM, B., VAN DER LAAN, O., DIERCKX, R. L. 2003. Effects of imagery motor training on torque production of ankle plantar flexor muscles. *Muscle Nerve*. 2003, vol. 28, no. 2, pp. 168-173. ISSN: 1097-4598. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mus.10406/abstract?systemMessage=Wiley+Online+Library+will+be+unavailable+on+Saturday+14th+May+11%3A00-14%3A00+BST+%2F+06%3A00-09%3A00+EDT+%2F+18%3A00-21%3A00+SGT+for+essential+maintenance.Apologies+for+the+inconvenience.>

## Seznam použitých zkratek

ACL	ligamentum cruciatum anterius
ADL	activity daily living
BCI	brain computer interface
BF	musculus biceps femoris
cm	centimetr
CMP	cévní mozková příhoda
CNS	centrální nervová soustava
COP	center of mass
CPG	central pattern generators
CRB	mozeček
č	číslo
dx	dexter
EEG	elektroencefalografie
EMG	elektromyografie
et al	kolektiv autorů
ETS	Electronic Traction Systém
fMRI	funkční magnetická rezonance
FZV	Fakulta zdravotních věd
GM	musculus gluteus medius
IGA	Interní grantová agentura
K	iniciální klid
kg	kilogram
KVIQ	Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire
LBP	low back pain
m	metr
m.	musculus
M1	primární motorická oblast
min	minuty
MIQ	Movement Imagery Questionnaire
MIQ-R	Movement Imagery Questionnaire revised
MIQ-RS	Movement Imagery Questionnaire-Revised Second
P1	představa před chůzí

P2	představa po chůzi
PAR	asociační parietální korová oblast
PD	Parkinson disease
PMC	nemotorická korová oblast
PMd	dorzální premotorická oblast
RCZp	zadní rostrální singulární oblast
RF	musculus rectus femoris
RMS	root mean square
s.	strana
S1	primární sensorická oblast
S2	sekundární sensorická oblast
SCI	spinal cord injury
sin	siister
SMA	suplementární motorická oblast
SPL	superiorní parietální lalok
TA	musculus tibialis anterior
TMS	transkraniální magnetická stimulace
UP	Univerzita Palackého
VMIQ	Vividness of Motor Imagery Questionnaire

## Seznam tabulek a obrázků

<b>Tabulka 1</b> Základní popisné statistiky vybraných svalů během chůze po chodbě maximálních naměřených hodnot.....	32
<b>Tabulka 2</b> Základní popisné statistiky vybraných svalů během chůze po slackline maximálních naměřených hodnot.....	32
<b>Tabulka 3</b> Základní popisné statistiky vybraných svalů během chůze po chodbě průměrných naměřených hodnot.....	33
<b>Tabulka 4</b> Základní popisné statistiky vybraných svalů během chůze po slackline průměrných naměřených hodnot.....	33
<b>Obrázek 1</b> Průměrná naměřená svalová aktivita m. tibialis anterior dx, m. tibialis anterior sin, m. gastrocnemius medialis dx, m. gastrocnemius medialis sin při chůzi po chodbě.....	34
<b>Obrázek 2</b> Maximální naměřená svalová aktivita m. tibialis anterior dx, m. tibialis anterior sin, m. gastrocnemius medialis dx, m. gastrocnemius medialis sin při chůzi po chodbě.....	34
<b>Obrázek 3</b> Průměrná naměřená svalová aktivita m. tibialis anterior dx, m. tibialis anterior sin, m. gastrocnemius medialis dx, m. gastrocnemius medialis sin při chůzi na slackline.....	35
<b>Obrázek 4</b> Maximální naměřená svalová aktivita m. tibialis anterior dx, m. tibialis anterior sin, m. gastrocnemius medialis dx, m. gastrocnemius medialis sin při chůzi na slackline.....	35
<b>Obrázek 5</b> Záznam z akcelerometru chůze po chodbě a chůze na slackline.....	36

## **Seznam příloh**

<b>Příloha 1</b> Informovaný souhlas.....	80
<b>Příloha 2</b> Dotazník představy pohybu MIQ-R.....	81
<b>Příloha 3</b> Výsledky dotazníku MIQ-R.....	84
<b>Příloha 4</b> Subjektivní hodnocení jednotlivých úkolů představ.....	85
<b>Příloha 5</b> Fotografie jednotlivých situací měření.....	86

## **Přílohy**

### **Příloha 1** Informovaný souhlas

Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta zdravotnických věd  
Hněvotínská 976/3, Nová Ulice  
775 15 Olomouc

#### **Poučení a souhlas klienta/tky**

Klient/тка ..... souhlasí s provedením kineziologického rozboru a vyšetření pomocí povrchového elektromyografického přístroje firmy Delsys USA v Kineziologické laboratoři oddělení Rehabilitace ve Fakultní nemocnici Olomouc pro účely diplomové práce s názvem „Představa chůze v obraze povrchové elektromyografie“, kterou zpracovává Bc. Hana Ondráčková, Bc. Karolína Maděrová a Bc. Eva Trlidová pod odborným vedením PhDr. Barbory Kolářové, Ph.D a Mgr. Marka Tomsy.

Byl/a jsem srozumitelně seznámen/a s průběhem všech vyšetření. Souhlasím s jejich provedením, nahlédnutím do mé zdravotnické dokumentace v rozsahu nezbytně nutném a anonymním použitím získaných údajů s respektováním pravidel ochrany osobních dat.

V Olomouci dne .....

Podpis klienta/tky .....



## Příloha2 Dotazník představy pohybu MIQ-R

Tento dotazník hodnotí dva způsoby provádění pohybů v představě. První způsob je pokusit se vytvořit vizuální představu. Druhý způsob je pokusit se vytvořit kinestetickou představu. Žádám Tě o provedení obou těchto mentálních úkolů pro dané pohyby v tomto dotazníku a následné zhodnocení do tabulky, jak snadné/obtížné pro Tebe tyto úkoly byly. Na dané otázky neexistují správné či špatné odpovědi. Čti pečlivě každé tvrzení, a pak proved' popsany pohyb. Ten vykonej pouze jednou. Vrat' se do výchozí pozice a splň druhou, mentální, část úkolu. Po dokončení požadovaného mentálního úkolu zhodnot' snadnost/obtížnost, s jakou jsi byla schopna úkol provést. Hodnot' dle následující stupnice:

Stupnice vizuální představy						
7	6	5	4	3	2	1
Velmi snadno viděná	Snadno viděná	Spíše snadno viděná	Neutrálně viděná	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	Spíše obtížně vnímaná	Obtížně vnímaná	Velmi obtížně vnímaná

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

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

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

HODNOCENÍ:

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

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

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

HODNOCENÍ:

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

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

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

HODNOCENÍ:

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

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

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

HODNOCENÍ:

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

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

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

HODNOCENÍ:

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

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

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

HODNOCENÍ:

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

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

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

HODNOCENÍ:

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

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

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

HODNOCENÍ:

**Příloha 3** Výsledky dotazníku MIQ-R

<b>Příjmení</b>	<b>Vizuální představa</b>				<b>Kinestetická představa</b>			
	1. úkol	2. úkol	3. úkol	4. úkol	5. úkol	6. úkol	7. úkol	8. úkol
Proband 1	6	6	6	6	6	6	6	6
Proband 2	6	5	7	6	6	6	7	6
Proband 3	7	7	6	6	7	7	6	6
Proband 4	5	6	4	5	6	5	4	4
Proband 5	6	4	7	4	5	7	6	7
Proband 6	7	4	6	6	3	7	6	7
Proband 7	6	7	7	6	7	6	6	7
Proband 8	7	7	6	7	5	6	6	5
Proband 9	7	7	7	6	7	7	6	7
Proband 10	3	4	5	5	6	6	6	5
Proband 11	6	7	7	6	6	6	6	6
Proband 12	6	5	7	6	6	6	6	7
Proband 13	4	6	5	7	4	3	3	4
Proband 14	6	6	6	6	6	6	6	6
Proband 15	6	6	7	5	5	7	5	6
Proband 16	7	7	7	7	7	7	7	7
Proband 17	7	5	7	6	7	5	6	5
Proband 18	5	6	6	5	7	7	6	6
Proband 19	5	6	5	7	4	6	6	5
Proband 20	7	6	7	5	7	6	7	6
Proband 21	5	4	6	3	6	4	6	3
Proband 22	7	6	6	6	5	6	5	6
Proband 23	7	7	6	6	6	7	6	6
Proband 24	7	5	6	5	6	7	6	5
Proband 25	6	6	7	7	6	7	6	7
Proband 26	7	7	7	5	6	7	6	6

**Příloha 4** Subjektivní hodnocení jednotlivých úkolů představy (1=velmi obtížně, 5=velmi snadno)

<b>Příjmení</b>	chůze před	chůze po	slack před	slack po
Proband 1	4	4	4	5
Proband 2	4	5	3	4
Proband 3	3	5	4	5
Proband 4	4	5	3	5
Proband 5	2	4	3	4
Proband 6	4	5	2	5
Proband 7	3	4	2	4
Proband 8	4	5	4	4
Proband 9	4	4	4	4
Proband 10	4	3	3	4
Proband 11	4	5	5	3
Proband 12	3	5	5	3
Proband 13	4	2	3	5
Proband 14	2	2	3	2
Proband 15	3	4	3	4
Proband 16	5	5	5	5
Proband 17	3	5	3	5
Proband 18	2	4	4	4
Proband 19	3	4	2	3
Proband 20	4	5	3	5
Proband 21	3	4	2	3
Proband 22	3	5	2	5
Proband 23	2	5	4	5
Proband 24	4	5	4	3
Proband 25	3	4	3	5
Proband 26	3	4	3	5

## Příloha 5 Fotografie jednotlivých situací měření



Zleva: inciální pozice stoje, chůze po chodbě, chůze na slackline.