

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav fyzioterapie

Bc. Ivana Frgalová

**Zhodnocení svalové aktivity a svalových synergií
horní končetiny u hemiparetiků pomocí
povrchové elektromyografie**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Petra Bastlová, Ph.D.

Olomouc 2013

ANOTACE

Název práce v ČJ:

Zhodnocení svalové aktivity a svalových synergií horní končetiny u hemiparetiků pomocí povrchové elektromyografie

Název práce v AJ:

Evaluation of muscle activity and muscle synergies of upper extremity in hemiparetics patients by surface electromyography

Datum zadání: 2012-01-31

Datum odevzdání: 2013-05-17

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav fyzioterapie

Autor práce: Bc. Frgalová Ivana

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Petra Bastlová, Ph.D.

Oponent práce: Mgr. Tomáš Zemánek

Abstrakt v ČJ:

Cílem diplomové práce je zhodnotit svalovou aktivitu a svalové synergie paretické horní končetiny pacientů po cévní mozkové příhodě ve srovnání se zdravou kontrolní skupinou. Teoretická část objasňuje patologii a následnou kompenzaci motorického řízení horní končetiny po cévní mozkové příhodě se zaměřením na neuroplasticitu. Dále jsou popsány svalové synergie a motorický deficit horní končetiny hemiparetiků. V experimentální části bylo pomocí povrchové elektromyografie sledováno 6 proximálních svalů ramenního pletence a 2 svaly předloktí u experimentálního i kontrolního souboru během dosahu, úchopu a manipulace s pěti různými předměty (malý válec, velký válec, malá koule, velká koule a pero). Statistické zpracování získaných dat prokázalo statisticky významný rozdíl u m. pectoralis major mezi soubory jak v míře svalové aktivity, tak v korelacích aktivit proximálních a distálních svalů.

Abstrakt v AJ:

This thesis deals with the muscle activity and muscle synergies of paretic upper extremities of patients after stroke. We have compared patients to the age-matched healthy control subjects. The theoretical part solves the pathology of motoric control. The theory provides possibilities of compensation of the upper limb after stroke focusing on neuroplasticity. It also describes muscle synergies and the motoric deficit of the upper limb in hemiparetics. Using surface electromyography we monitored 6 proximal muscles of shoulder girdle and 2 muscles of forearm in the experimental and control groups during reach, grasp and manipulation with five different objects (small cylinder, big cylinder, small ball, big ball and pen). Statistical analysis of the data revealed significant difference between groups in case of musculus pectoralis major both in muscle activity and correlation of activity of distal and proximal muscles.

Klíčová slova v ČJ:

Cévní mozková příhoda, svalové synergie, obnova motorických funkcí, dosah a úchop, horní končetina, ruka

Klíčová slova v AJ:

Stroke, muscle synergies, motor recovery, reach and grasp, upper extremity, hand

Rozsah: 72 s. čistého textu, celkem 111 s. včetně seznamů a příloh

Místo zpracování: Olomouc

Místo uložení: Ústav fyzioterapie

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením Mgr. et Mgr. Petry Bastlové, Ph. D. a použila jsem uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 17. května 2013

podpis

Děkuji Mgr. et Mgr. Petře Bastlové, Ph.D. za cenné rady a laskavý přístup při odborném vedení diplomové práce. Dále bych chtěla poděkovat RNDr. Milanu Elfmarkovi za ochotu a vstřícnost při statistickém zpracování a kolektivu Kineziologické laboratoře Fakultní nemocnice Olomouc za trpělivou pomoc při realizaci výzkumu.

Tato práce vznikla za podpory projektu Studentské grantové soutěže UP v Olomouci 2012 s názvem: Objektivizace svalových synergií ideomotorických funkcí horní končetiny, FZV 2012 008.

OBSAH

ÚVOD.....	9
1 PŘEHLED POZNATKŮ.....	10
1.1 Fyziologie řízení volního pohybu.....	10
1.2 Motorické řízení horní končetiny a cévní mozková příhoda.....	12
1.2.1 Neuroplasticita mozku.....	13
1.2.2 Změny v řízení pohybu po cévní mozkové příhodě.....	14
1.2.2.1 Nábor sekundárních motorických oblastí.....	15
1.2.2.2 Projekce z intaktní hemisféry.....	16
1.2.2.3 Návrat funkce poškozeného laterálního kortikospinálního traktu.....	17
1.2.3 Maladaptivní plasticita.....	17
1.2.3.1 Kompenzační pohyby.....	17
1.2.3.2 Projekce z intaktní hemisféry.....	18
1.2.3.3 Konkurenční interakce.....	19
1.3 Svalové synergie.....	20
1.3.1 Redundance a abundance.....	21
1.3.2 Synergie u pacientů po cévní mozkové příhodě.....	24
1.4 Horní končetina v rámci dosahu a úchopu.....	27
1.4.1 Dosahová fáze.....	27
1.4.2 Úchopová fáze.....	28
1.5 Motorický deficit horní končetiny po cévní mozkové příhodě.....	29
1.5.1 Popis horní končetiny u hemiparetických pacientů po CMP.....	30
1.6 Charakter dosahových a úchopových aktivit u pacientů s cévní mozkovou příhodou z pohledu EBM.....	31
1.6.1 Role trupu v rámci dosahu.....	31

1.6.2 Role trupu v rámci úchopu.....	32
1.6.3 Svalová aktivita a koordinace svalstva na hemiparetické horní končetině.....	33
1.6.4 Mechanismy úchopu hemiparetickou horní končetinou	34
2 CÍL A HYPOTÉZY	37
2.1 Cíl práce.....	37
2.2 Vědecké otázky a hypotézy	37
3 METODIKA	39
3.1 Charakteristika experimentálního souboru	39
3.2 Charakteristika kontrolního souboru	39
3.3 Výzkumná metoda	40
3.4 Příprava měření.....	40
3.5 Průběh měření	41
3.6 Zpracování a vyhodnocení EMG signálu	42
3.7 Statistické zpracování	43
4 VÝSLEDKY	44
4.1 Výsledky k vědecké otázce č. 1	44
4.2 Výsledky k vědecké otázce č. 2	49
4.3 Výsledky k vědecké otázce č. 3	59
5 DISKUZE	62
5.1 Diskuze k vědecké otázce č. 1	66
5.2 Diskuze k vědecké otázce č. 2	69
5.3 Diskuze k vědecké otázce č. 3	72
5.4 Východiska pro praxi.....	76

5.5 Limity práce	78
ZÁVĚR	80
REFERENČNÍ SEZNAM	81
SEZNAM ZKRATEK	94
SEZNAM GRAFŮ	95
SEZNAM TABULEK	96
SEZNAM PŘÍLOH.....	97
PŘÍLOHY	98

ÚVOD

Horní končetina a především ruka odlišuje člověka od všech živočišných druhů. Ruka je unikátní jak ve své motorické, tak sensorické funkci, které jako celek tvoří jedinečný nástroj zajišťující kontakt s vnějším prostředím. Motorické řízení ruky je proto vysoce specializováno, ale také zároveň nejvíce ohroženo lézí v centrálním nervovém systému (CNS). Cévní mozková příhoda (CMP) v akutním stádiu způsobuje dysabilitu pacientů ve všech oblastech běžných denních aktivit, u horní končetiny však přetrvává nejdéle a často přechází do chronického stavu.

V této práci jsme se proto zaměřili na zhodnocení svalové aktivity a vztahů mezi jednotlivými svaly horní končetiny u pacientů po CMP ve srovnání se zdravou kontrolní skupinou. Pomocí povrchové elektromyografie byla sledována aktivita svalstva ramenního pletence (m. trapezius pars descendens, m. deltoideus pars anterior, m. pectoralis major, m. infraspinatus, m. serratus anterior a m. latissimus dorsi) a předloktí (mm. extensores antebrachii a mm. flexores antebrachii). Pro výzkum byla zvolena nejběžnější činnost horní končetiny – dosah, úchop a manipulace s pěti různými předměty (malý válec, velký válec, malá koule, velká koule a pero). Probandi tento úkol vykonávali jejich běžným stereotypem a rychlostí z důvodu zachování autentické aktivity svalstva a ne odrazu limitů úkolu.

Přínosem této práce by měla být objektivizace dopadu léze na motorický projev svalstva horní končetiny pacientů po CMP. Neurofyziologické poznatky a takto objektivizovaný deficit může pomoci při plánování terapie horní končetiny u hemiparetiků.

Teoretické poznatky byly získávány vyhledáváním odborných článků v online databázích PubMed – NCBI, ProQuest, Science Direct a Springer Link v časovém úseku od února 2012 do května 2013. Pro vyhledávání byla použita klíčová slova v anglickém jazyce: stroke, muscle synergies, motor recovery, reach and grasp, upper extremity, hand. Z české a zahraniční odborné literatury bylo použito 93 zdrojů.

1 PŘEHLED POZNATKŮ

1.1 Fyziologie řízení volního pohybu

Volní pohyb se skládá z psychické a fyzické aktivity. Průběh dějů od úmyslu vykonání pohybu po pohybový efekt není jen řada dějů v řetězci, jedná se o jednotlivé prvky v uzavřeném systému (Metzger, 1965 in Heuer, Sülzenbrück, 2012, pp. 159, 161). Řídicí systém motoriky je komplexně propojený systém ascendentními a descendentními drahami takovým způsobem, že odporuje jednoduchému hierarchickému popisu (Cheung et al., 2012, p. 14656).

Vykonání úmyslného volního pohybu probíhá v několika fázích zajištěných nervovými mechanismy. Primárně podnět vychází z motivačního ústředí CNS, oblasti limbického systému. Následuje senzorká analýza prostředí, na jejímž základě je vypracován plán akce. Poté proběhne konkretizace programu pohybu zahrnující určení sekvencí pohybu, doby trvání a intenzity kontrakcí všech svalů nutných pro pohyb a v neposlední řadě nastavení postury, pohybů hlavy a očí (Králíček, 2011, s. 123). Během dosahu a úchopu předmětu člověk typicky provádí pohyb očí pro zafixování cíle před nebo těsně po začátku pohybu ruky (Jeannerod, 1982 in Issen, Knill, 2012, p. 1).

Přípravná fáze pohybu se skládá ze senzorké analýzy, vypracování plánu a programu pohybu. Tuto činnost zajišťuje zadní parietální asociační oblast, prefrontální korová oblast a doplňková motorická korová oblast. Samotné provedení úmyslného pohybu je řízeno premotorickou korovou oblastí a primární motorickou oblastí. Premotorická korová oblast odpovídá Brodmannově arey 6. Existuje předpoklad, že tato oblast primárně kontroluje pletencové a axiální svalstvo. Při úmyslném pohybu zahajuje iniciální fázi, kdy dochází ke stáčení očí, hlavy, trupu a končetin k cíli (Králíček, 2011, s. 123-125).

Primární motorická oblast (M1) je uložena před gyrus centralis a rozprostírá se na Brodmannově arey 4. Existuje zde tzv. somatotopická organizace známá jako motorický homunkulus, kdy svalstvo pro jemné pohyby, svalstvo ruky, mimické, fonační a artikulační, je reprezentováno většími okrsky oproti svalstvu trupu nebo dolní končetiny (Latash, 2008, p. 142, Králíček, 2011, s. 123-125).

Tuto somatotopickou organizaci popsal neurochirurg Wilder Penfield. Obraz homunkula vyobrazeného na povrchu primární motorické oblasti si lze představit jako deformovaného člověka podobající se kresbám Pabla Picassa (Latash, 2008, p. 142).

Horní končetina je v primární motorické oblasti lokalizována v laterální části, kdežto dolní končetina má vyhrazené místo spíše v mediální části M1. V motorickém kortexu se jednotlivé oblasti do značné míry překrývají. Reprezentace ruky se proto dříve nazývala jako společný neurální substrát pro pohyby ruky. Uvnitř motorické oblasti řídící ruku je hustá síť lokálních intrakortikálních obvodů spojující jednotlivé oblasti ruky. Je zřejmé, že topografická organizace motorického kortexu není založena na specifikaci jednotlivých svalů ale na funkčním seskupení souvisejícím svalů a kloubů (Nudo, 2006, p. 421). Primární motorická oblast představuje strukturu pro řízení jemných cílených pohybů distálních partií končetiny a to především ruky a prstů (Králíček, 2011, s. 123-125).

Kortikální oblasti řídící pohyby prstů, zápěstí, lokte a ramene jsou dvousměrně propojené, proto jsou jednotlivé pohyby řízené sítí neuronů rozšířených skrz celou primární motorickou oblast. Tato síť umožňuje konvergenci překrývajících se kortikálních teritorií a stejně tak divergenci z jednoho kortikálního místa k více svalům, čímž je zajištěno rozsáhlé vzájemné propojení. Navíc jednotlivé klouby horní končetiny jsou v motorickém kortexu reprezentovány více než jednou, ale v různých souvislostech, například kontakt ramene se zápěstím, ramene s loktem atd., pro široký repertoár cílené svalové aktivace. Celkovým výsledkem je systém umožňující podporu různých pohybových variací (Rossini et al., 2003, p. 494, Latash, 2008, p. 142).

Manipulační funkce ruky oproti funkci pletenců je výrazně kortikalizovaná a stranově diferencovaná, proto se do činnosti ruky nutně zapojuje primární motorická oblast mozku. Řízení pletenců vychází bilaterálně spíše ze suplementární motorické oblasti, premotorické oblasti a subkortikální úrovně (Mayer, Hlušík, 2004, p. 10). Latash (2008, p. 246) uvádí, že speciálně pro úchop hraje nejdůležitější roli právě primární motorická oblast, premotorická oblast a parietální oblast kortexu.

1.2 Motorické řízení horní končetiny a cévní mozková příhoda

Navzdory úspěšnému snížení mortality a morbiditě ischemického CMP časnou intervencí, přetrvává u mnoha pacientů po této příhodě funkční impairment zvláště v motorické oblasti (Small et al., 2002, p. 1544). Postižení horní končetiny po CMP je jedno z nejčastějších. Limituje pacientovu nezávislost v běžných denních aktivitách (ADL) a může vést až k permanentní disabilitě (Cirstea, Levin, 2000, p. 940). Snížení zručnosti u pacientů s chronickou parézou po CMP má dopad na používání ruky v ADL s následným dopadem na kvalitu života (Michaelsen, Magdalon, Levin, 2009, p. 197).

U pacientů po CMP se funkční obnova manuálních dovedností dostavuje pomaleji, mnohdy zaostává za navrácením lokomočních schopností. To odráží skutečnost, že ruka je velmi dobře reprezentovaná a široce rozptýlená ve frontální a parietální kortikální oblasti, talamu, bazálních gangliích a mozečku. Zručnost ruky je zranitelná ve všech výše uvedených strukturách zahrnující i ascendentní a descendentní dráhy (Grinchting et al., 2000, p. 1661). Iniciální motorický deficit a stupeň obnovy motorických funkcí po CMP se vysoce liší, závisí na typu mozkové léze, jejím umístění a velikosti (Feydy et al., 2002, pp. 1610, 1615). Navrácení funkce se ustaluje během jednoho roku po CMP, často však přetrvává zbytkový deficit po celý život (Muellbacher et al., 2002, p. 1278).

Na základě neurofyziologických poznatků může být rychlejší náprava proximální pohybu paže způsobena bilaterální kortikální motorickou reprezentací a větší účastí subkortikálních struktur jako například retikulospinálního traktu a nezkřížené pyramidové dráhy. Typické ischemické CMP v povodí arteria cerebrii media poškozuje oblast ruky v primárním motorickém kortexu a možná také sousední premotorickou oblast. Arteria cerebrii anterior zásobuje především mediální stranu motorického kortexu zodpovědnou za motorické řízení dolní končetiny. Z důvodu rozsáhlého překrývání oblastí, může tato oblast obsahovat neurony související s kontrolou funkce proximální části horní končetiny (Hlušík, Mayer, 2006, p. 37).

Nejčastější postižení ruky vychází z CMP v povodí arteria cerebrii media, kdy dochází k přesunu aktivity z primární motorické oblasti do suplementární oblasti a premotorické arey (Mayer, Hlušík, 2004, p. 9).

1.2.1 Neuroplasticita mozku

Kortikální plasticita je schopnost kortexu měnit svou funkční organizaci na základě zkušeností (Nudo, 2006, p. 420; Hallett, 2005, p. 17). Již v polovině 18. století se vědělo, že nepostižená část mozku po CMP poskytuje základ pro nepřímou změnu funkční aktivity (Nudo, 2006, p. 420). Bylo experimentálně potvrzeno, že mozky dospělých savců a primátů mají schopnost rozsáhlých plastických změn. Hluštík, Mayer (2006, p. 34) uvádějí, že první názor na plasticitu dospělého motorického systému se datuje od Sherringtonova pozorování „nestability motorických bodů“, když mapoval elektrickou povrchovou stimulací motorický kortex primátů. V 80. letech 20. století začaly vznikat studie o funkční plasticitě mozkové kůry na zvířecích modelech. Umožnily lepší pochopení anatomie, fyziologie a biomechanických procesů. Nicméně až velké množství dat pacientů po CMP získaných díky snímkovacím technikám poskytlo důkazy, že výsledky od zvířat mohou být generalizovány na člověka (Nudo, 2003, p. 7).

Plasticita mozku objevující se po CMP, a její vztah k funkční nápravě není však ještě plně pochopen (Feydy et al., 2002, pp. 1610, 1615). Pozorování pacientů s neurologickým postižením poskytlo cenné informace o roli kortexu v jemné a hrubé motorice ruky. Pokud dojde k poškození kortikálního motorického systému mozku, část pohybového repertoáru se naruší nebo se zneprístupní. Plasticita se jeví jako možná náhrada tohoto postižení (Hluštík, Mayer, 2006, p. 34).

Obnova motoriky po CMP může souviset s úpravou nervových funkcí, hemodynamickou obnovou či funkčním návratem. Tato obnova může mít charakter buď přímý, nebo nepřímý, kompenzativní. Při přímé obnově dochází k zotavení vlastní nervové tkáně, nebo tkáň v blízkosti léze převezme funkci původní tkáně. U nepřímého obnovení motorických funkcí po CMP dochází k zapojení zcela odlišných nervových okruhů, které znovu umožní provádění poškozených či ztracených funkcí. Takto navrácená funkce se může významně lišit svou kvalitou z důvodu rozdílných mozkových aktivačních vzorů (Small et al., 2002, pp. 1544, 1551).

V CNS existuje množství redundantních spojení. Také je umožněn vznik nových strukturálních a funkčních obvodů, které vytvářejí nové propojení mezi kortikálními oblastmi. Oba faktory tvoří podklad plasticity (Murphy, Corbett, 2009, p. 861). K buněčným mechanismům spojeným s plasticitou se řadí aktivace skrytých

neurálních spojení, jež jsou během normálního stavu neúčinné, dále pak růst axonů s vytvořením nových synaptických formací nebo také kombinace těchto faktorů (Hlušík, Mayer, 2006, pp. 35, 37).

Podle současných důkazů existují 2 procesy v reorganizaci motorického kortexu pacientů po CMP. Zprvė plegická část těla je stále zahrnuta v motorickém kortexu i po její dlouhodobé inaktivitě, ale rozšíření reprezentace sousedních částí těla zvyšuje sdílení a překrytí její reprezentace. Zadruhé se zdá, že dochází k přesunu kortikospinálního výstupu z nepoužívané oblasti k pohybové kontrole sousední části těla (Hlušík, Mayer, 2006, pp. 35, 37).

1.2.2 Změny v řízení pohybu po cévní mozkové příhodě

Úspěšné vykonání volního pohybu je závislé na funkční integraci mnoha odlišných částí CNS zahrnující primární motorickou areu, premotorickou oblast, sekundární motorickou oblast, které produkují descendentní nervové vzruchy jdoucí k spinálním interneuronům hlavně k alfa-motoneuronům spinální míchy (Cheung et al., 2009, p. 19563). Léze této oblasti vyúsťuje v motorický deficit. Ačkoliv se jedná o centrální poškození, hodnocení deficitu je zaměřeno na hodnocení kinematického výstupu, jelikož nervová aktivita během pohybu je obtížně měřitelná (Safavynia, Torres-Oviedo, Ting, 2011, p. 16).

Fang a kolektiv provedli studii zaměřenou na funkční spojení mezi kortexem a svalstvem u pacientů po CMP ve srovnání s intaktní kontrolní skupinou. Sledovali záznamy elektroencefalografie (EEG) a elektromyografie (EMG) během dosahové aktivity, která zahrnovala flexi v ramenním kloubu a extenzi v loketním kloubu. Pro vykonání komplexního, přesného dosahu paží musí být převedeny nervové příkazy z mozku do pracujícího svalu, což lze objektivizovat koherencí EEG-EMG. Beta vlny na EEG záznamu se pojí s izometrickou aktivitou motorického úkolu, kdežto gamma vlny jsou zaznamenávány během dynamické precizní činnosti jako je například dosažení cíle. Gamma kmitání je často spojováno s kognitivní aktivitou a volní motorickou aktivitou. Provedení přesného cíleného dosahu vyžaduje více kognitivní koordinační aktivity než izometrickou aktivitu. Autoři pozorovali větší rozdíly na úrovni gamma. Dosáhli výsledku, který naznačuje, že u pacientů po CMP s trvalým motorickým deficitem na horní končetině se projevuje významné snížení gamma vln

v kortikomuskulárním spojení při dosahu horní končetinou. Takovéto snížení kortikomuskulární koherence může odrážet špatné propojení mozku a svalstva či narušenou integraci signálů z obou zdrojů během motorického úkolu (Fang et al., 2009, pp. 995, 1000 a 1001).

Reorganizace mozkových funkcí byla identifikovaná jako jeden ze základních mechanismů návratu motorické kontroly po CMP. Review Kokotila a kolektivu zabývající se reorganizací přinesla zajímavé poznatky. Při poškození primární motorické oblasti dochází ke kompenzačnímu náboru sekundární motorické oblasti. Nicméně projekce ze sekundární motorické oblasti je méně rozsáhlá a všeobecně s nižší excitační efektivitou než původní projekce z primární motorické oblasti. Zapojení této oblasti souvisí se závažným postižením primární motorické oblasti po CMP a s chudým motorickým projevem. Role nepostížené, kontralaterální, hemisféry během pohybu je sporná. U tří z osmi studií byl zaznamenán zvýšený nábor kontralaterální hemisféry, zatímco u pěti z osmi sledovaných studií se nepotvrdil. Autoři review zmiňují, že typ a rozsah reorganizace mozkových funkcí po CMP je charakterizován třemi faktory a to závažností postižení, časem od vzniklého CMP a vlivem terapeutické intervence (Kokotilo, Eng, Boyd, 2009, pp. 45, 51-53).

1.2.2.1 Nábor sekundárních motorických oblastí

Feydy se svým kolektivem provedli studii zaměřenou na pacienty po CMP, dlouhodobě sledovali kortikální reorganizaci a její vztah k návratu motorických funkcí. Jejich výsledky naznačily, že vývoj kortikální aktivity vychází ze dvou procesů a to „náboru“ (recruitment) nebo „zaostření“ (focusing). „Nábor“ a „zaostření“ mohou být adaptivní mechanismy centrálního nervového systému na poškození způsobené CMP. „Nábor“ může zvýšit skupinu potenciálně dostupných neuronů minimalizující ztrátu kontroly vyvolanou lézí. Později „zaostření“ pomáhá vytřídit neurony, na ty které zlepší efektivitu postiženého motorického příkazu předáním do kortikospinálního traktu (Feydy et al., 2002, p. 1616).

Při pohybu paretickou rukou oproti neparetické končetině došlo k rozšířené aktivaci oblastí jak z postižené hemisféry, tak z intaktní například senzomotorické oblasti, doplňkové motorické oblasti, premotorické a superiorní parietální oblasti. Tento proces autoři nazývají „nábor“ a jeho výskyt byl potvrzen u pacientů

s postižením v primární motorické oblasti. Pokud u pacientů byla zachována primární motorická oblast, jejich výsledky ukazovaly na proces „zaostření“. Z původního „náboru“ dochází k více a více zaměřené aktivaci až konečnému omezení na aktivaci kontralaterální senzomotorické oblasti při pohybu paretickou končetinou (Feydy et al., 2002, pp. 1610, 1615).

Dle funkční hypotézy autorů je při lézi v hloubce bílé hmoty a současně zachovalé primární motorické oblasti primárně narušena kortikospinální interakce. Na rozdíl od léze povrchové šedé hmoty oblasti M1 dochází k silnému narušení kortiko-kortikální interakce. „Nábor“ a „zaostření“ závisí na rovnováze mezi kortiko-kortikální inhibicí a excitací. Přetrvávající „nábor“ může být důsledkem snížené inhibice, tedy disinhibice, což odráží lézi M1 oblasti. Reciproční kortiko-kortikální spojení z M1 do sekundárních motorických oblastí vede k rozsáhlé jak ipsilaterální a tak kontralaterální aktivaci vzhledem k lézi. U „zaostření“ dochází v průběhu času k inhibici dřívějšího „náboru“ (Feydy et al., 2002, p. 1616).

Jang ve své review poukazuje na fakt, že některé studie potvrdily přispění sekundárních motorických oblastí v rámci návratu motorických funkcí, ale na druhou stranu našel i autory, kteří toto tvrzení popírají. Upozorňují, že pacienti s přispěním sekundárních motorických oblastí měli horší motoriku než pacienti, kde toto přispění nebylo zaznamenáno. Tato otázka zůstává stále kontroverzní (Jang, 2007, p. 255).

1.2.2.2 Projekce z intaktní hemisféry

Dalším z mechanismů obnovy funkcí po CMP je aktivace ipsilaterální motorické dráhy, vzhledem k paretické končetině tedy z intaktní hemisféry, kdy nepostižený motorický kortex je rekrutován pro potencionálně dostupné neurony. Mechanismus ipsilaterální aktivity se zakládá na disinhibiční hypotéze, kdy je snížená interhemisferální transkalózní inhibice z postižené hemisféry na intaktní hemisféru (Jang, 2007, p. 254).

Jang ve své review uvádí, že dle současných studií se zdá být lepší klinický stav při návratu funkcí pomocí reorganizace oproti ipsilaterální aktivaci. Mechanismus reorganizace zahrnuje nábor kortikospinální dráhy z oblastí okolo léze, což je možné díky tomu, že kortikospinální dráha má několik výstupních oblastí mimo primární

motorickou oblast. Mezi takovéto arey se řadí premotorická oblast, parietální oblast a mediolaterální reprezentace primární motorické oblasti (Jang, 2007, p. 255).

1.2.2.3 Návrat funkce poškozeného laterálního kortikospinálního traktu

Navrácení funkce poškozené kortikospinální dráhy je základem pro dobré motorické funkce člověka. Kortikospinální dráha je tvořena 75-90% vláken křížící se v prodloužené míše, anteriorní kortikospinální dráha probíhá nezkříženě. Hlavní funkcí laterální kortikospinální dráhy je řízení distálního svalstva zodpovědného za jemnou motoriku. Pacienti s CMP nemají dostatečnou jemnou motoriku, jelikož laterální kortikospinální dráha zajišťuje nezávislé a individuální pohyby prstů (Jang, 2007, p. 255).

1.2.3 Maladaptivní plasticita

Neurální plasticita kompenzuje ztrátu motorických funkcí po CMP, může zahrnovat kompenzační mechanismy pohybu, projekci z intaktní hemisféry či konkurenční interakce, které negativně ovlivňují návrat motorických funkcí. Pak je taková neurální plasticita považována za maladaptivní (Takeuchi, Izumi, 2012, p. 1).

1.2.3.1 Kompenzační pohyby

Jako kompenzační pohyby jsou chápány nové motorické pohybové vzory, které jsou výsledkem adaptace či substituce. Funkce jsou přemístěny či nahrazeny odlišnými konečnými efektory nebo tělesnými segmenty (Takeuchi, Izumi, 2012, p. 2). Kompenzace ukazuje na redundantnost efektorového orgánu, která je využita pro dokončení určitého úkolu (Raghavan et al., 2010, p. 3034). Mezi kompenzační pohyby horní končetiny se řadí náhrada pohybu trupem, elevace, abdukce či vnitřní rotace ramene. Tyto pohyby umožňují transport paže a ruky k cíli a nastavení ruky pro úchop. Kompenzační pohyby přispívají k vykonání úkolu, ale mohou se pojít s následnými dlouhodobými problémy jako je snížení rozsahu pohybu a bolest.

Zvýšená aktivace proximální části horní končetiny z důvodu kompenzace vede k abnormálním pohybům (Takeuchi, Izumi, 2012, p. 2).

Jako kompenzační mechanismus mohou pacienti po CMP zvýšeně používat neparetickou končetinu v ADL. Takovéto nadměrné využívání neparetické končetiny by mohlo mít nepříznivý vliv na návrat motorických funkcí paretické horní končetiny z důvodu snížené neurální aktivity a také negativně ovlivňuje získání neurální reprezentace v kortexu postižené hemisféry (Takeuchi, Izumi, 2012, p. 2).

Kompenzační pohybové vzory mohou zlepšit vykonávání ADL, ale často způsobují maladaptivní plasticitu a limitují návrat motorických funkcí (Takeuchi, Izumi, 2012, p. 2).

1.2.3.2 Projekce z intaktní hemisféry

U hemiparetických pacientů byla zaznamenána zvýšená ipsilaterální descendentní aktivita vzhledem k hemiparetické straně, tedy z intaktní hemisféry. Funkční role takové zvýšené ipsilaterální aktivity se liší v závislosti, zda jde o projekci k motoneuronům distálního, proximálního či axiálního svalstva. U axiálního svalstva navýšení znamená dobrou obnovu, kdežto u distálního svalstva je spojeno s chudým návratem funkce. Lze to vysvětlit rozdílnou inervací, kdy distální svalstvo je primárně inervováno z kontralaterální strany, zatímco axiální svalstvo získává bilaterální input, proto se axiální svalstvo po zničení kontralaterální inervace může silně spolehnout na ipsilaterální zdroj. Ipsilaterální projekce výrazně díky anatomickému rozložení ovlivňuje i proximální svalstvo horní končetiny, čímž je umožněno relativní zachování kontroly a facilitace návratu funkcí po CMP (Schwerin et al., 2008, pp. 509-510).

Přínos ipsilaterální projekce, vzhledem ke straně hemiparézy tedy z nepostižené hemisféry, k motorickým funkcím byl zaznamenán transkraniální magnetickou stimulací. Byly vysledovány negativní dopady vzhledem k motorické funkci a to převážně pro distální část končetin (Takeuchi, Izumi, 2012, pp. 2, 3). U pacientů s mírným postižením ipsilaterální projekce není prospěšná zvláště pak pro distální část horní končetiny, ale u pacientů se závažným motorickým deficitem po CMP je přínosem pro řízení pohybů trupu. Na jednu stranu ipsilaterální aktivace přispívá k zachování motorické kontroly nad proximální částí paže, ale na druhou stranu může

způsobit ztrátu nezávislého řízení a abnormální intersegmentální pohyby (Schwerin et al., 2008, pp. 509, 510).

1.2.3.3 Konkurenční interakce

Cévní mozková příhoda mění neurální funkce jak v blízkých, tak ve vzdálených oblastech kortexu. Tyto změny mohou být prospěšné při ztrátě motorických funkcí, nicméně některé změny mohou zhoršit rovnováhu mezi neurálními sítěmi a vyústit v nedostatečný návrat motorických funkcí. Bylo zaznamenáno, že intaktní hemisféra tlumí aktivitu postižené hemisféry skrz interhemisferální inhibici a omezuje tak zlepšení motorických funkcí. Nerovnováhu mezi hemisférami zvětšují změny v chování a to především upřednostňování neparetické končetiny (Takeuchi, Izumi, 2012, p. 3). Opakované nepoužívání paretické horní končetiny po CMP může vyústit zmenšení kortikální reprezentace ruky jak v motorických, tak v senzoryckých oblastech kortexu (Hunter, Crome, 2002, p. 71).

Stejně tak reprezentace jednotlivých částí těla se zvyšuje nebo snižuje v závislosti na jejich používání. Jelikož existuje konkurenční vztah mezi jednotlivými oblastmi v motorickém kortexu, je pravděpodobné, že zvýšené využívání proximálních částí horní končetiny vytváří obtíže pro zvětšení reprezentace ruky u pacientů po CMP (Hallett, 2005, pp. 18 a 20).

Typicky funkce paže je v lepším stavu než samotná funkce ruky. Jednotlivé části těla „soutěží“ o teritorium v senzomotorickém kortexu mozku dle nového konceptu neurální plasticity. Proto i limitovaná aktivita paže může zabránit ruce v získání větší kontroly, zejména pokud je toto teritorium zmenšené po CMP (Muellbacher et al., 2002, p. 1278). Mayer a Hluštík uvádějí, že kortikální kompetice sousedních sektorů pohybového aparátu je do určité míry fyziologická. Po CMP se situace mění. Nadměrná aktivace ramene omezuje možnosti reprezentace ruky v primární motorické oblasti, proto ruka nemůže dosáhnout optimální funkce a zejména pak diferencované jemné motoriky (Mayer, Hluštík, 2004, p. 10). V průběhu obnovy funkcí soutěží postižené oblasti, v okolí léze po CMP, se zdravou tkání o místo na motorickém kortexu (Murphy, Corbett, 2009, p. 863).

1.3 Svalové synergie

Již od dob Sherringtona jsou známy teorie, že CNS produkuje pohyb prostřednictvím kombinací malých skupin svalů. Tato hypotéza byla formulovaná několika způsoby, ale v současnosti je nejčastěji zmiňována jako svalové synergie. Na základě této hypotézy pohyb vychází z kombinací těchto synergií (Tresch, Jarc, 2009, p. 601).

Povědomí o motorických synergiích může být sledováno od konce 19. století u Hughlings Jacksona v roce 1889 a Babinského v roce 1899. Nicméně pro většinu současných vědců je pojem synergie spojen spíše s Bernsteinem, který přinesl víceúrovňovou teorii kontroly pohybu, kde jedna úroveň byla nazvána „úroveň synergií“. Pojem synergie se blíže pojí s problémem motorické redundance (Latash et al., 2005, p. 120).

Zatím nebylo dosaženo dohody, co skutečně synergie je. Slovo samo o sobě znamená „pracující společně“, ale tato definice je příliš obecná aby byla využita ve výzkumech (Latash et al., 2005, p. 120) V literatuře často zůstává anatomický pohled na synergie ve smyslu fixního uspořádání agonistů a antagonistů. Tradiční tvrzení zní synergisté neboli svaly mající shodné působení v kloubu. Synergie jsou však zahrnuty v rámci funkčního konceptu, ne anatomického (Turvey, 2007, p. 659). Mnohé studie naznačují, že pod tímto slovem se skrývají kinematické, kinetické nebo elektromyografické vzory proměnných aktivujících se současně v časovém průběhu akce nebo napříč opakovanými pokusy (Latash et al., 2005, p. 120).

Bernstein (1967 in Sporns, Edelman, 1993, p. 963) zastával názor, že synergie je soubor pohybových vzorů zahrnující proměnné skupiny svalů či kloubů působící jako základní jednotka v regulaci a řízení pohybu. Bernstein (1967 in Latash, 2010, p. 296) považoval za účel synergií organizaci systému redundantních stupňů volnosti (degree of freedom = DOF) k dosažení nižší variability neboli vyšší stability funkčního motorického výstupu. Blíže souvisí i definice Gelfanda (1971 in Sporns, Edelman, 1993, p. 963), která označuje synergie za centrální motorické programy spouštěné jednoduchými příkazy.

Saltzman rozlišoval mezi synergiemi funkčními a svalovými. Funkční synergie vyvolávají nebo se sestavují ze souboru pohybů vyvolaných skrz určité seskupení kloubů. Svalové synergie jsou definovány jako skupina svalů, která působí jako

jednotka a může zahrnovat mnoho kloubů (Saltzman, 1978 in Sporns, Edelman, 1993, p. 963).

Každý pohyb, jako například dosažení rukou k cíli, musí být převeden do komplexního svalového vzorce (Ting, McKay, 2007, p. 622). Motorické řízení musí koordinovat aktivitu velkého počtu svalů končetiny s tisíci motorickými jednotkami k uskutečnění i nejjednoduššího pohybu. CNS se pravděpodobně s touto zdánlivou koordinační obtížností vyrovnává zjednodušujícími kontrolními strategiemi. Generuje motorické příkazy pomocí lineárních kombinací synergií (Cheung et al., 2009, p. 19563), které mohou být pro jednotlivé osoby unikátní, ale současně vykonávají stejnou funkci (Ting, McKay, 2007, p. 622). Pro jednotlivý motorický úkol je aktivováno několik svalových synergií v různých kombinacích (Ting, McKay, 2007, p. 622).

Ve svalových synergiích jsou všechny svaly úzce svázané takovou měrou, že centrální koordinační signál aktivuje všechny svaly v synergií. Pokud se požadavky úkolů začnou lišit, kontrolní signál nastaví změnu synergií vedoucí k paralelní změně ve všech svalech svázaných s touto synergií (Latash, Scholz, Schöner, 2007, p. 278). Bernstein zdůrazňoval, že celostní pohyb je obtížně rozložitelný do dílčích anatomických částí, do individuální aktivace svalu nebo rotace okolo jednoho kloubu. Pohyb nikdy nereaguje na detailní změny změnou určitého detailu, reaguje jako celek na změny v každé malé části (Whiting, 1984 in Sporns, Edelman, 1993, p. 962).

Pojem synergie není možná dostatečný, ale je obtížné nalézt označení zahrnující soubor relativně nezávislých stupňů volnosti chovající se jako funkční jednotka, což znamená, že vnitřní stupně volnosti se starají sami o sebe a upravují své výchyly nebo výchyly způsobené vnějším prostředím a vše se děje takovým způsobem, aby byla zachována funkční integrita celku (Turvey, 2007, p. 659).

1.3.1 Redundance a abundance

Při analýze volního pohybu je zřejmé, že zahrnuje více elementů přispívajících k výkonu, než je potřebné k řešení daného motorického úkolu. Například lidská paže má více kloubů, než je nutné ke konfiguraci pozice v prostoru a orientace ruky na objekt. Obdobně ruka má více prstů, než je potřeba k vytvoření úchopu (Latash, Scholz, Schöner, 2007, p. 276). Lidská horní končetina je tvořena třemi

hlavními klouby- ramenní, loketní kloubem a zápěstím, z tohoto pohledu má sedm stupňů volnosti. Většina přirozených pohybů, jako například dosah horní končetinou nebo psaní, tedy nutně vyžaduje koordinaci mezi svaly a klouby účastnících se na pohybu. Variabilita a flexibilita pohybů horní končetiny odráží mechanickou redundantnost muskuloskeletárního systému (Yang et al., 2002, p. 739).

Muskuloskeletární systém je považován za redundantní. Redundance značí, že existuje velké množství způsobů jak kombinovat individuální kloubní pohyby (Cirstea, Levin, 2000, p. 941). Navzdory zjevné motorické redundantnosti vykazují lidské motorické vzory vysoký stupeň stálosti jak napříč úkoly i jednotlivci. Odchytky od typických vzorů jsou připisovány na vrub různým neurologickým, periferním, vývojovým či kognitivním onemocněním (Latash, 2012a, p. 6).

Redundance byla jeden z hlavních problémů řešících se na počátku vědeckého studia motorického řízení. Hlavním představitelem řešící tento problém byl N. A. Bernstein (Latash, Scholz, Schöner, 2007, p. 276). Bernstein definoval redundantnost jako skutečnost, kdy více než jeden signál může vést ke stejné trajektorii pohybu. Stejný motorický signál však může naopak vést k rozdílným pohybům za předpokladu změněných počátečních podmínek nebo za přítomnosti odchylek v zevním silovém poli (Bernstein 1967 in Yang et al., 2002, p. 739).

Bernstein tvrdil, že neexistuje jednoznačný vztah mezi signálem a pohybem. Jedním z důvodů byl fakt, že každý pohyb je definován obrovským množstvím měnících se interakcí mezi centrálně syntetizujícím se řídicím signálem a zevním silovým polem působícím na periferii pohybující se části těla (Bernstein in Sporns, Edelman, 1993, p. 961). Bernstein (1967 in Sporns, Edelman, 1993, pp. 961-962; Bernstein 1967 in Yang et al., 2002, p. 739) často definoval motorickou koordinaci jako proces řídicí redundantnost DOF pohybujícího se systému, tedy změnu v říditelný systém.

V literatuře existuje několik přístupů, jak CNS řeší problém stupňů volnosti, také nazýván Bernsteinův problém. Prvním z přístupů je eliminace, kdy CNS zredukuje množství DOF pouze na ty, které jsou potřebné k vykonání úkolu. Takovéto „zmrazení“ DOF bylo předpokládáno Bernsteinem. Další přístup k problému motorické redundance se týká aplikace optimalizačních principů na mechanické, řídicí, psychologické nebo komplexní náklady funkcí. Přímocharý optimalizační přístup v podstatě selektuje nákladné funkce a hledá unikátní řešení, které zajistí maximální

nebo minimální hodnoty (Latash, Scholz, Schöner, 2007, pp. 277-278). Klasickým příkladem v rámci minimalizace je snížení úsilí či diskomfortu (Latash, 2012b, p. 2). Třetí řešení DOF se zakládá na synergiích. Společným rysem všech tří přístupů eliminace, optimalizace, i synergií je fakt, že na množství DOF pohlížejí jako na příčinu řídicích problémů CNS (Latash, Scholz, Schöner, 2007, pp. 277-278).

Jiný náhled na redundantnost pohybového systému mají Latash, Scholz a Schöner. Nepovažují množství DOF za příčinu problému pro CNS ale za luxus, který dovoluje řídicímu centru zajistit stabilitu pro důležité výkonnostní proměnné a flexibilitu pro řešení dalších komponent úkolu a úpravu výchylek (Latash, Scholz, Schöner, 2007, p. 278). Latash (1998 in Cirstea, Levin, 2000, p. 941) tedy navrhl, že redundance by měla být nahrazena spíše abundancí, která nevyjadřuje tolik negativitu.

Latash tvrdí, že už samotné tradiční pojmenování redundantnosti jako problému v sobě nese automatickou odpověď. Slovo problém naznačuje, že musí být nějak řešen a redundance naznačuje, že musí být něco eliminováno. Relativně novější přístup se snaží změnit označení „problém motorické redundantnosti“ na „výhody motorické abundance“ (Latash, 2012a, p. 6). Abundance dovoluje v systému vykonání pohybu různými způsoby, umožňuje přizpůsobení se změněným podmínkám (Cirstea, Levin, 2000, p. 941). Díky abundanci je umožněno současné řešení více úkolů současně bez vzájemného ovlivnění. Jinými slovy bez motorické abundance by nebylo možné současně řídit transport ruky a její orientaci na objekt, bez toho aniž by se tyto dvě komponenty pohybu ovlivnily (Gera et al., 2010, pp. 99-100).

CNS nejspíš vnímá redundanci systému jako abundanci, preferuje však využití abundance, než aby CNS proti redundanci bojoval (Latash, Anson, 2006, p. 1152). Při použití jakéhokoliv termínu je však důležité, že systém si bere výhody z těchto rysů pohybového aparátu k selekci žádané trajektorie a interkloubní koordinace k uskutečnění cíleného pohybu z dostupných strategií (Cirstea, Levin, 2000, p. 941).

Pro shrnutí Gorniak, Zatsiorsky a Latash uvádějí, že Bernstein používal pojem synergie volněji, spíše jako kombinovanou akci široké skupiny svalů. Kdežto autoři se spíše přiklánějí k pojmu strukturální jednotka, který uvedli Gelfand a Tsetlin v roce 1966. Tento termín byl vyvinut v zásadě s motorickou abundancí. Podle tohoto principu redundantní elementy jako klouby, svaly, motorické jednotky a další prvky zahrnuté v běžné aktivitě nejsou eliminovány, ale jsou všechny využity k zajištění stabilního a flexibilního výkonu (Gorniak, Zatsiorsky, Latash, 2007, p. 176-177).

Synergie, jako strukturální jednotky, reprezentují neurální organizaci, které produkují díky koordinované aktivitě mnoha elementů stabilní motorické výstupy (Gorniak, Zatsiorsky, Latash, 2007, p. 176; Latash, 2012b, p. 5).

1.3.2 Synergie u pacientů po cévní mozkové příhodě

Abnormální svalové synergie se vyskytují například u pacientů po CMP. U těchto pacientů jsou takovéto synergie relativně fixní a stereotypní. V této souvislosti však pojem synergie má spíše význam „proměnné měnící se společně“ narozdíl od obecné definice synergií „pracující společně“. Latash a Anson zdůrazňují, že je u nutné analyzovat dva znaky takových to synergií a to sdílení („sharing“) a kompenzaci chyb („error compensation“). Sdílení míní ve smyslu přispění elementárních proměnných k výkonnostně proměnným a kompenzací chyb jsou myšleny koordinační změny v základních proměnných (Latash, Anson, 2006, p. 1155).

Reisman a Scholz podrobili zkoumání schopnost využití abundance u pacientů s hemiparézou po CMP během dosahu paretickou horní končetinou do vzdálenosti délky horní končetiny. Zaměřili se na dva sledované znaky synergií – sdílení a kompenzaci chyb. Výsledky přinesly potvrzení klinického pozorování. Pacienti využívali méně synergistických kombinací pro dokončení úkolu, to značí neschopnost dobrého propojení kloubů během dosahu tedy narušenou interkloubní koordinaci. Na druhou stranu byla u pacientů s mírnou až střední hemiparézou zachována schopnost kompenzace chyb v synergii během pohybu. Z těchto výsledků autoři vyvozují závěr, že znak sdílení je zřejmě zprostředkován vyššími centry CNS, zatímco kompenzace chyb může být řízena míchou nebo mozkovým kmenem (Reisman, Scholz, 2003, pp. 2522 - 2523).

U pacientů s hemiparézou se často zmiňují patologické synergie z důvodu omezeného a neflexibilního propojení kloubů během pohybu. Kompenzací léze je výskyt patologických synergií při pokusu o pohyb, dle Brunnströmové lze rozdělit synergie podle převládajícího pohybu na flexorové a extenzorové synergie (Brunnström, 1966 in McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3006). Vhodnější je ale tyto synergie označovat jako atypické, jelikož pacienti se pokoušejí nabrat dostupné DOF k dosažení cíle (Reisman, Scholz, 2003, p. 2511).

Studie Dewalda a Beera se zaměřovala na abnormální koordinaci u hemiparetických pacientů po CMP. Za pomoci kinematické analýzy a EMG záznamu sledovali vícekloubní vzory svalové aktivity. Výsledky jim přinesli potvrzení klinického pozorování, kdy u hemiparetické končetiny bylo úzké propojení mezi flexí v loketním kloubu, zevní rotací a abdukci v ramenním kloubu naznačující flekční synergii. Opakem bylo spojení extenze v lokti s addukcí a vnitřní rotací v ramenním kloubu, což souhlasí s extenční synergii. Abnormální vzory svalové aktivity jsou pravděpodobně zprostředkovány neurální cestou, přesto však mechanická komponenta nemůže být zanedbávána. Příčinou vzniku těchto synergií může být snížení kortikospinálního inputu do svalstva horní končetiny a následné zvýšení závislosti na reziduálních kmenových drahách. Kmenové dráhy mají širší projekci ke spinálním neuronům a mohou tak vyvolávat koaktivaci většího množství svalových skupin a tudíž měnit vzory svalové aktivity (Dewald, Beer, 2001, pp. 280-281).

Neschopnost izolované svalové aktivity a patologicky snížené množství dostupných synergií snižují schopnost vykonat požadovanou trajektorii horní končetinou během dosahu. Abnormální synergie, abnormální spojení kloubů, škodí vykonávání dosahu paretickou horní končetinou (Reisman, Scholz, 2003, p. 2510-2512; McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3006).

Navzdory abundanci dostupných DOF horní končetiny a rozdílnosti v typu léze, straně či lokalizaci CMP, je obraz kompenzačních pohybů stereotypní. Během pohybu paretickou končetinou dochází k zvýšené abdukci a vnitřní rotaci (McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3005).

Kompenzační strategii užívanou pacienty po CMP představuje i fixace specifických segmentů těla, což odkazuje opět na Bernsteinův problém stupňů volnosti. Fixační vzory, jako fixace pánve k lumbální páteři či lopatky k hrudnímu koši, mohou být přirozenou odpovědí na neschopnost udržení balance v posturálně náročných situacích. (Cirstea, Levin, 2000, pp. 940-941).

Na druhou stranu i nábor přídatných DOF, například trupu během dosahu, může přispívat k zlepšení výkonu. Poškozenému CNS zůstává schopnost řešit problém redundance, v tomto případě nábořem trupu jako optimální kompenzační strategie pro zkvalitnění pohybového výstupu. Pacienti po CMP s omezeným návratem funkcí horní končetiny zahrnují trup do dosahových aktivit, což umožní rozšíření pole dosahu a funkční schopnosti paretické končetiny (Cirstea, Ptitto, Levin, 2003, p. 485).

Cheung a spolupracovníci se rozhodli porovnat synergie u osmi pacientů s unilaterálním ischemickým CMP frontálního laloku. Pomocí EMG záznamu a následné analýzy srovnávali synergie u pacientů na postižené horní končetině s jejich intaktní paží a poté s kontrolní zdravou skupinou. Výsledky ukázali, že synergie byly podobné mezi postiženou a neparetickou paží pacientů i přes rozdíly v motorickém výkonu jednotlivých horních končetin. Překvapivá shoda byla jak napříč pacienty s CMP, tak ve srovnání se zdravou kontrolní skupinou. Což naznačuje, že synergie mohou být strukturované i na nižší úrovni než v neokortexu například v jádrech mozkového kmene či na úrovni spinální míchy. Jeden pacient však neprokázal takovou shodu jako ostatní, měl nejnižší funkční hodnocení dle použitého Fugl-Meyer skóre. Autoři spekulovali, že se u tohoto pacienta vyvinula kompenzační motorická strategie na paretické horní končetině díky plasticitě zachovalých neuronů, což vedlo k odlišné aktivaci synergií ve srovnání s intaktní končetinou. Odlišnost EMG záznamu ukazuje motorický deficit u postižené paže, jak jej odráží i klinické zhodnocení. Pozorování autorů naznačují, že ztráta neuronů po CMP mění aktivaci kortikálních vzorů pro svalové synergie, což vede k motorické dysfunkci postižené horní končetiny (Cheung et al., 2009, pp. 19563 a 19565-19566).

1.4 Horní končetina v rámci dosahu a úchopu

Lidská horní končetina může být popsána jako kinematická struktura skládající se ze tří segmentů, paže, předloktí a ruky, charakteristická vysokou redundancí z hlediska kinematiky. Systém redundance však nelimituje kinematiku na neuromuskulární úrovni. CNS si může vybrat z hlediska postury končetiny mezi různými aktivačními vzory pro dosažení stejného efektu (Micera et al., 2005, p. 939).

Účelové pohyby horní končetinou vyžadují precizní řízení jak proximálních, tak distálních segmentů. Přičemž proximální segmenty zajišťují pozici a orientaci ruky k předmětu zájmu a distální části slouží k manipulaci s tímto objektem (Lang et al., 2005, p. 134). Ruka člověka může nabývat obrovského množství tvarů a funkcí, v jednom okamžiku může sloužit například jako kladivo a vzápětí jako jemná pinzeta. Univerzální užitečnost ruky se zlepšuje díky schopnosti doplnit funkci ruky nástroji (Nowak, 2008, p. 1442). Schopnost opozice palce vůči dalším prstům je základním předpokladem pro sofistikované použití ruky. Člověk má delší palec vzhledem k ukazováku oproti jiným primátům, tím je zajištěna schopnost úchopu a manipulace s malými předměty (Napier, 1956 in Nowak, 2008, p. 1443). Mimo úchop a manipulace má ruka také senzorickou funkci, která je neoddělitelně spjata právě s motorickou funkcí. Lidská ruka je mimořádný orgán zprostředkovávající informace (Hunter, Crome, 2002, p. 68).

Před více jak dvěma desetiletími Jeannerod poskytl první detailní kinematický popis pohybů během úchopu u zdravých jedinců. Prosazoval myšlenku, že úchop předmětu odráží dvě oddělené pohybové komponenty, a to transportní složku obsahující přiblížení ruky k objektu a úchopovou komponentu (Jeannerod 1984 in Nowak, 2008, p. 1440; Jeannerod, 1984 in Hunter, Crome, 2002, p. 69).

1.4.1 Dosahová fáze

Transport, orientace a úchop předmětu jsou plánovány odděleně ale včas koordinovány. Odděleně jsou kontrolovány proximální klouby pro transport ruky a distální klouby odpovídající za orientaci ruky a úchop. Vizuální informace o vnějších a vnitřních vlastnostech objektu jsou použity ke kontrole zaprvé proximálního svalstva

zajišťující umístění ruky ve správné poloze v prostoru a následně svalstva předloktí a ruky pro orientaci prstů a ruky (Michaelsen et al., 2004, p. 163).

Dosahovou aktivitu lze považovat za vícekloubní úkol vyžadující interkloubní koordinaci a kromě zpětnovazebné (feedback) i dopřednou (feedforward) kontrolu pozice ruky v požadovaném umístění vzhledem k prostředí. Dopředná kontrola v první fázi dosahových aktivit využívá senzoričtých informací k plánování vhodné svalové aktivity na základě zkušeností a k limitaci chyb v dynamice. V druhé fázi pohybu se uplatňuje feedback k napravení rozdílu mezi tím, kde a jak má být paže umístěna versus současná pozice a použitá rychlost pohybu horní končetiny. Neuromuskulární kontrola dosahových aktivit je řízena komplexně, zahrnuje synchronizaci svalové aktivity ve všech kloubech, ve kterých probíhá pohyb, a stejně tak ve svalech zajišťujících posturální stabilitu (McCrea, Eng, Hodgson, 2002, p. 534, 536).

Plánování dosahové aktivity na úrovni CNS může být považováno za hierarchické řízení, ve kterém jsou prostorové informace přeměněny do motorických vzorů ramene a lokte pro pohyb ruky skrz prostor. Řada transformací převádí senzoričtější signály do trajektorie ruky, pak do souhlasných kloubních trajektorií, požadované svalové síly a konečně do aktuálních vzorů svalové aktivity (Scott, 2000, pp. 923 - 924).

Dosah k objektu se vyvíjí během prvního roku života člověka, kdežto bimanuální koordinace používaná během každodenních aktivit vzniká pomaleji a to v druhém roce a následujících letech života. K úplnému dokončení bimanuální zručnosti a manipulačních schopností dochází během šestého roku. Mechanické zákony vyžadují precizní koordinaci dvou sil, které se týkají zcela odlišných efektrů. Proximální síly jsou použity pro transport a distální pro spojení ruky s objektem. Krása koordinace těchto sil spočívá v kompletní automatizaci. Nezbytnými prvky během dosahu a manipulace jsou vizuální kontrola, propiocepce a vnitřní zobrazení. Vědomé plánování aktivity během bimanuální činnosti je zaměřeno na cíl spíše než na jednotlivé efektrory (Weisendanger, Serrien, 2001, pp. 228, 231).

1.4.2 Úchopová fáze

Uchopování jako takové lze považovat za základní komponentu každodenních aktivit. Zahrnuje v sobě precizní a kontrolovanou koordinaci pohybů zápěstí a prstů,

kloubů paže a trupu. Hladká koordinace úchopu vyžaduje integraci multisenzorických informací, synchronizaci časoprostorového náboru příslušných svalů a regulaci jejich aktivity (Sangole, Levin, 2007, p. 80).

Orientace ruky pro úchop závisí na tvaru objektu, jeho orientaci a prostorových charakteristikách úkolu, jako jsou lokalizace předmětu a iniciální pozici ruky (Roby-Brami, Jacobs et al., 2003, p. 217). Úchopová fáze dle Jeanneroda se skládá z tvarování ruky a pozice prstů jako anticipace na vlastnosti předmětu - jeho velikost, tvar a orientaci. Také váha a povrchové tření předmětu ovlivňuje tvarování ruky pro úchop a posturu prstů. Například kluzké předměty vyžadují velké parametry úchopu, aby bylo dosaženo vrcholu úchopu dříve ve srovnání s hrubým povrchem předmětu. (Nowak, 2008, pp. 1440-1441).

Nowak ve své review shrnuje i poznatky ze studií o síle úchopu. Síla úchopu by měla být dostatečně velká, aby se zabránilo vyklouznutí předmětu, ale na druhou stranu příliš velká síla by mohla bránit jemné manipulaci s předmětem nebo zapříčinit jeho rozdrčení. Úspěšná manipulace vyžaduje selektivní motorické řízení podle záměru a fyzikálních vlastností předmětu. Vlastnosti předmětu jako váha, kluzkost, tvar a rozložení hmotnosti určují omezení síly úchopu, což zahrnuje její velikost, směr a místo působení. Vizuální informace o fyzických vlastnostech předmětu mohou pomoci hrubě odhadnout úroveň síly úchopu. Nicméně somatosenzorické informace, hlavně z mechanoreceptorů kůže, z prstů podílejících se na úchopu jsou nejdůležitějším feedbackem určující přesnou sílu úchopu ve vztahu k váze a povrchu předmětu (Nowak, 2008, p. 1442).

1.5 Motorický deficit horní končetiny po cévní mozkové příhodě

Pohybový deficit po CMP se viditelně projevuje na kontralaterální končetině vůči lézi CNS. Charakteristické znaky zahrnují svalovou slabost specifických svalů, abnormální svalový tonus a posturu, netypické svalové synergie, narušený timing a ztrátu interkloubní koordinace (Levin, 1996, p. 281; Cirstea, Levin, 2000, p. 940-941; McCrea, Eng, Hodgson, 2002, p. 536).

Celkový výkon pacientů po CMP je variabilnější oproti zdravým jedincům. Transportní fáze ruky probíhá pomaleji a s menší přesností na obou horních

končetinách, ale více nápadný deficit připadá na kontralaterální stranu vůči lézi (Nowak, 2008, p. 1444). Při pohybu se pacienti setkávají s některými z těchto deficitů, přirozenou reakcí je kompenzace dostupnými motorickými strategiemi (Levin, 1996, s. 289-290; Cirstea, Levin, 2000, p. 949-950).

Klinické poškození uchopování u pacientů s hemiparezou po CMP zahrnuje jak dosahové aktivity, tak úchop objektu. Během dosahových úkolů u pacientů dochází ke snížení rozsahu pohybu v rameni a lokti v souladu s postižením volního rozsahu pohybu. Mohou se objevovat patologické pohybové synergie při pohybu horní končetinou k předmětu. Navíc se vyvíjejí nové strategie pro dosahové pohyby horní končetinou, které nabírají další stupně volnosti zahrnující lopatku a trup pro kompenzaci snížené efektivnosti dosahu. Pacienti trpí svalovou slabostí distálních svalů sloužících ke stabilizaci zápěstí, poklesem síly úchopu a ztrátou jemné motoriky, což vede také k alternativním úchopovým strategiím, které dosud nebyly dobře popsány (Roby-Brami, Jacobs et al., 2003, p. 218), jenž však umožní pacientovu maximální funkční nezávislost (Sangole, Levin, 2007, p. 87).

Snížená svalová aktivita se projevuje slabostí nebo ztrátou zručnosti, naopak nadměrná aktivita je charakterizována hyperreflexií a nadměrnou nevhodnou kokontrakcí. Takováto poškození narušují rovnováhu svalové aktivity vyúsťující v atypickou posturu, stereotypní pohybové synergie a ztrátu selektivní kontroly jednotlivých kloubů. V důsledku narušení postury paže a ruky je poškozen úchop a jeho následné uvolnění (Sangole, Levin, 2007, p. 80). Výše uvedenými problémy jsou převážně postiženy extensory zápěstí a prstů. Deficit ruky v koordinaci pro efektivní úchop zahrnuje biomechanický deficit a narušené řízení paže a ruky (Sangole, Levin, 2007, p. 87).

1.5.1 Popis horní končetiny u hemiparetických pacientů po CMP

Abnormální pohybové synergie na horních končetinách u pacientů po CMP odrážejí stav svalového tonu mezi flexory a extenzory. Flexorová synergie je popisována jako retrakce, elevace, abdukce a zevní rotace ramene, flexe lokte, supinované předloktí a extendované zápěstí a prsty. U extenzorové synergie je typické protrakce, addukce a vnitřní rotace ramene, extenze lokte, pronované předloktí s flektovaným zápěstím a prsty (Sangole, Levin, 2007, p. 87).

Běžná postura ruky u pacientů po CMP je charakterizována flektovaným zápěstím, což je zapříčiněno nesouladem mezi flexory a extenzory, kde převažují právě flexory. Flexe v zápěstí se často pojí s ulnární deviací, která může být způsobena hyperaktivitou musculus (m.) flexor carpi ulnaris a někdy jej také doprovází m. extenzor carpi ulnaris (Roby-Brami, Fuchs et al., 1997 in Sangole, Levin, 2007, p. 87).

U pacientů se také běžně vyskytuje sevřená pěst jako důsledek CMP. U některých vážně postižených pacientů je narušena funkce m. flexor digitorum profundus, kdy prsty mají tendenci zarývat se nehty do dlaně. Naopak pokud je převaha m. flexor digitorum superficialis na prstech jsou extendovány distální interfalangeální klouby, zatímco proximální interfalangální jsou flektovány, nehty jsou v tomto případě snadno viditelné. Při hyperaktivitě m. flexor pollicis longus, m. flexor pollicis brevis a m. adductor pollicis dochází k typickému postavení palce v dlani. Třebaže se projeví sevřená pěst, nemusí být flektované postavení lokti či vnitřní rotace v rameni u všech pacientů stejná (Mayer, 2004 in Sangole, Levin, 2007, p. 87).

1.6 Charakter dosahových a úchopových aktivit u pacientů s cévní mozkovou příhodou z pohledu EBM

Cirstea a Levin ve své studii popsali charakteristické změny dosahových aktivit u pacientů po CMP pomocí kinematické analýzy. Prokázali rozdíl v dosahových aktivitách mezi zdravou kontrolní skupinou a skupinou osmi pacientů s pravostrannou hemiparezou po CMP. Pohyb paží u pacientů po CMP měl delší trvání, byl více segmentovaný, variabilnější a s více pohybovými chybami. Koordinace mezi ramenem a loktem byla narušena a prokázalo se snížení aktivního rozsahu pohybu v kloubech oproti intaktní kontrolní skupině (Cirstea, Levin, 2000, s. 949).

1.6.1 Role trupu v rámci dosahu

Roby-Brami a spolupracovníci hodnotili pomocí kinematické analýzy dosahové aktivity zakončené úchopem u hemiparetických pacientů po CMP v porovnání

s intaktní skupinou. Jejich výsledky ukázali, že kontrolní skupina pro dosažení využívala synergie extenze v lokti, flexe v rameni a protrakci lopatky a hrudníku, zatímco u hemiparetických pacientů byla zaznamenána snížená extenze v lokti a flexe v rameni, naopak se prokázal zvýšený pohyb trupu oproti zdravým subjektům (Roby-Brami, Feydy et al., 2003, pp. 378-379). Flexe trupu se zvyšuje v rámci dosahu u pacientů po CMP oproti intaktní skupině jako využití redundantnosti organismu pro uskutečnění úkolu (Robertson, Roby-Brami, 2011, pp. 141-142).

Nábor trupu a ramenního pletence během dosahu se stává u hemiparetických pacientů stereotypickou součástí dosahové strategie horní končetiny jako kompenzace z důvodu snížené pohyblivosti ramenního a loketního kloubu. Trup obvykle začíná pohyb před aktivací kloubů horní končetiny a také pohyb zakončuje. Michaelsen a kolektiv ozřejmili, jaký má vliv omezení pohybu trupu na paretickou horní končetinu. Výsledky ukázaly, že pacienti nevyužívali plný potenciál rozsah pohybu horní končetiny. Omezení pohybu trupu vedlo ke zvýšení aktivního rozsahu v kloubech paretické horní končetiny. Tento jev naznačil, že u pacientů je zachovaná schopnost přizpůsobit motorické řízení novým zevním podmínkám (Michaelsen et al., 2001, pp. 1875,1881-1882).

Využití pohybu trupu v dosahu je kompenzační mechanismus v chronickém stádiu u pacientů po CMP, když již nedochází k návratu funkce horní končetiny. Na druhou stranu může být tato kompenzace maladaptivní, pokud nábor trupu limituje obnovu funkcí paretické končetiny (Cirstea, Ptito, Levin, 2003, p. 485).

1.6.2 Role trupu v rámci úchopu

Změněná úchopová strategie ovlivňuje kinematické vzory celé horní končetiny a trupu. Distální deficit nabírá kompenzační trupovou strategii nejen pro transport paže, ale hraje také důležitou roli v orientaci pozice ruky během úchopu (Roby-Brami, Fuchs et al., 1997 in Sangole, Levin, 2007, p. 89).

Michaelsen a kolektiv se zaměřili na roli trupu při uchopování. Stanovili hypotézu, která říká, že pohyb trupu nezajišťuje pouze transport ruky k objektu, ale často asistuje při nastavení ruky pro úchop u pacientů s distálním deficitem horní končetiny. Ve studii bylo zahrnuto devatenáct pacientů s chronickou hemiparézou po CMP, pomocí kinematické analýzy byli porovnání s intaktní skupinou. Výsledky

přinesly potvrzení této hypotézy. Během cílených uchopovacích úkolů hemiparetičtí pacienti nastavovali ruku pro úchop více frontálně a zvýšeně užívali anteriorní pohyb a rotaci trupu pro transport ruky k cíli ve srovnání s kontrolní skupinou. U pacientů bez distálního deficitu byl pohyb trupu závislý na pohybu proximální části horní končetiny, kdežto u probandů distálním deficitem se exkurze trupu odvíjely, jak od pohybu proximální, tak distální části horní končetiny (Michaelsen et al., 2004, p. 171).

Pacienti si pohybem trupu vpřed pomáhají nastavit předloktí ve frontální rovině pro úchop předmětu umístěného blízko u těla. Naopak pohybem trupu vzad facilitují extenzorovou synergii pro nastavení předloktí v sagitální rovině, aby bylo možno uchopit předmět ležící dál od těla. Ačkoliv přídatné pohyby ramene, lokte a předloktí pomáhají kompenzovat změněnou dosahovou aktivitu, nemohou nahradit jemné nastavení vztahů napětí mezi extrinsic a intrinsic svaly ruky (Sangole, Levin, 2007, p. 89).

1.6.3 Svalová aktivita a koordinace svalstva na hemiparetické horní končetině

Řízení a vykonání pohybu může být potenciálně změněno přítomností svalové slabosti způsobené CMP (McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 2999). Neschopnost generování dostatečné síly/aktivity může být z důvodu změny frekvence vysílání signálu do motorických jednotek a sníženým množstvím aktivních motorických jednotek (Gowald et al., 1992, p. 625). Nízká aktivita svalů omezuje využití pohybových vzorů z CNS, jelikož primární agonisté nejsou schopni produkce dostatečné funkční aktivity. Kompenzační mechanismy umožňují nábor přídatných agonistických svalů. Ve studii McCrea a kolektivu se tento jev projevil zvýšenou aktivací především laterální části m. deltoideus během dosahové aktivity. Tato aktivita zapříčinila větší abdukci a segmentovaný, nepřesný pohyb, jenž probíhal mimo sagitální rovinu (McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 2999, 3005-3006).

Podle Bobathové pacienti po CMP nemají problém s nedostatečnou svalovou silou paretické strany. Tvrdila, že svalová slabost může být způsobena vinou přehnané kokontrakce, což je znakem spasticity (Bobath 1977 in Gowald et al., 1992, p. 625). Gowald a kolektiv se zaměřili na porovnání výkonu u hemiparetických pacientů vzhledem ke svalové slabosti. Výsledná data ukázala, že významným faktorem nebyla

přítomnost abnormální kokontrakce ale neadekvátní nábor motorických jednotek, který pravděpodobně vede k neschopnosti produkce potřebné síly k dokončení motorického úkolu (Gowald et al., 1992, p. 632).

Burke popsal znaky postižení horního motoneuronu jako „pozitivní“ a „negativní“. Mezi pozitivní znaky řadil abnormální posturu, spasticitu a zvýšenou reaktivitu některých reflexů, oproti tomu jako negativní označoval svalovou slabost, ztrátu obratnosti a zvláště jemné manipulace. Jeho názor byl, že hlavní deficitem při poškození horního motoneuronu je právě projev negativních znaků (Burke 1988 in Gowald et al., 1992, p. 625).

Ztráta obratnosti po CMP ve smyslu ztráty koordinačních schopností volní aktivity svalů vzniká na podkladě poškození distribučních procesů v kortikospinálních drahách umožňující přenos sensorimotorických informací mezi kortexem a míchou. Ztráta obratnosti může být výsledkem různých aktivačních abnormalit svalstva jako například prolongovanou aktivitou agonistů v souvislosti se sníženou rychlostí, nadměrnou kokontrakcí, abnormálními svalovými vzory či narušenou koaktivací svalstva ramene a lokte (Canning, Ada, O'Dwyer, 2000, pp. 45-46). Studie Canning a kolektivu potvrdila u chronických pacientů po CMP ztrátu obratnosti na základě nadměrné svalové aktivace a narušení propojení svalové aktivity vzhledem k dosažení cíle (Canning, Ada, O'Dwyer, 2000, p. 53). Basmajian (1977 in Canning, Ada, O'Dwyer, 2000, p. 53) navrhl, že nedostatek dovedností a ztráta obratnosti je manifestována nadměrnou svalovou aktivitou.

Canning a kolektiv zkoumali, který deficit více ovlivňuje disabilitu pacienta po CMP zda ztráta obratnosti či ztráta svalové aktivity paretické končetiny. Ztrátu obratnosti ve studii chápali jako ztrátu schopnosti koordinované svalové aktivity ne pouze jako omezení manuální zručnosti. Prokázali, že ztráta svalové aktivity více významně přispívá k disabilitě oproti ztrátě obratnosti, jelikož svalová aktivita je předpokladem funkce. Bez svalové aktivity schopné překonat gravitaci, není možné vykonávat každodenní činnosti (Canning et al., 2004, pp. 300-301, 304).

1.6.4 Mechanismy úchopu hemiparetickou horní končetinou

Vytvoření úchopu vyžaduje precizní koordinaci mezi extrinsic a intrinsic svaly ruky, která je vysoce zranitelná především u pacientů po CMP. Řízení jednotlivých

kloubů prstů je citlivé na dysfunkci svalů a to v proximo-distálním směru, jelikož řízení distálních kloubů vyžaduje splnění mechanických podmínek u kloubů proximálních. Raghavan a kolektiv provedli studii zaměřenou na úchop pacientů po CMP ve srovnání s kontrolní skupinou intaktních dobrovolníků. Pacienti využívali pro úchop předmětů spíše flexi v metacarpofalangeálních kloubech oproti intaktní skupině, která preferovala flexi v proximálních interfalangeálních kloubech. Tento výsledek jim potvrdil již dřívější poznatek, že pacienti s hemiparézou po CMP využívají širší úchop (Raghavan et al., 2010, p. 3041). Jelikož je narušené řízení koordinace prstů při přípravě na úchop, pacienti spíše využívají k uchopování celou dlaňovou plochu než bříška prstů (Hunter, Crome, 2002, p. 71).

Dále se pacienti po CMP potýkají s obtížným uvolněním drženého předmětu jednak z důvodu poškození funkce extenzorů předloktí, ale příčina může být také v prodloužené aktivitě flexorů podílejících se na úchopu. Důvodem tohoto jevu by mohlo být silné trvalé spojení mezi svaly horní končetiny tzv. flekční synergie. Ukončení aktivity flexorů během úchopu může zhoršovat i aktivita proximálního svalstva, která současně poskytuje podporu ruce v prostředí. Pacienti mají spíše problém při dosahu do větší vzdálenosti od těla než v blízkosti těla, jelikož aktivita proximálního svalstva nezbytná pro větší dosah může následně prolongovat úchop (Kamper et al., 2002 in Seo, Rymer, Kamper, 2009, p. 3108).

Seo, Rymer, Kamper se zabývali prodloužením iniciace a terminace úchopu u pacientů po CMP. Studie prokázala prodloužení kontrakce mm. flexores digitorum a stálou aktivitu těchto svalů i po úchopu. Prodloužení terminální fáze úchopu paretické končetiny bylo významně delší vůči intaktní horní končetině a také oproti kontrolní skupině. Naznačují, že prolongovaný úchop může způsobit vážné poškození funkce ruky během manipulace s předmětem a může vést k další frustraci pacienta a následnému nevyužívání paretické horní končetiny. Získané výsledky však mohly být ovlivněny maximální úsilím, během každodenních aktivit je využíváno spíše submaximální úsilí. Pak by naopak iniciace úchopu mohla být delší a terminace kratší oproti dosaženým výsledkům, jelikož by bylo rekrutováno menší množství motorických jednotek (Seo, Rymer, Kamper, 2009, pp. 3113-3114).

Pacienti v akutní fázi po CMP mají deficit v generování přiměřené síly během úchopu. Studie Nowak a kolektivu zhodnotila, že u pacientů dochází k navýšení vyvíjené síly při úchopu z důvodu facilitace svalstva ruky, tento nárůst však snižuje

schopnost jemné manipulace s uchopovaným předmětem vedoucí k disabilitě v ADL. Sledovaný deficit vyúsťuje nejen z motorického postižení ale z celkové senzomotorické integrace (Nowak, Hermsdörfer, Topka, 2003, p. 859).

2 CÍL A HYPOTÉZY

2.1 Cíl práce

Zhodnocení svalové aktivity a svalových souher na paretické horní končetině pacientů po CMP během dosahu, úchopu a manipulační činnosti (oddálení předmětu) u pěti různých předmětů a jejich porovnání s kontrolní skupinou.

2.2 Vědecké otázky a hypotézy

Vědecká otázka č. 1

Jaký je rozdíl v míře aktivity svalů paretické dominantní horní končetiny experimentálního souboru během jednotlivých fází úkolu a jednotlivých typů úchopů ve srovnání s dominantní končetinou kontrolního souboru?

H₀₁: Není rozdíl ve svalové aktivitě jednotlivých svalů (TD, DA, PM, INF, SA, LD, EA, FA) **během dosahu** na jednotlivé předměty (MV, VV, MK, VK, P) mezi paretickou horní končetinou experimentálního souboru a dominantní horní končetinou kontrolního souboru.

H₀₂: Není rozdíl ve svalové aktivitě jednotlivých svalů (TD, DA, PM, INF, SA, LD, EA, FA) **během úchopu** jednotlivých předmětů (MV, VV, MK, VK, P) mezi paretickou horní končetinou experimentálního souboru a dominantní horní končetinou kontrolního souboru.

H₀₃: Není rozdíl ve svalové aktivitě jednotlivých svalů (TD, DA, PM, INF, SA, LD, EA, FA) **během oddálení** jednotlivých předmětů (MV, VV, MK, VK, P) mezi paretickou horní končetinou experimentálního souboru a dominantní horní končetinou kontrolního souboru.

Vědecká otázka č. 2

Jaké jsou korelace mezi distálními a proximálními svaly v průběhu fáze dosahu, úchopu a oddálení u jednotlivých typů úchopů na paretické horní končetině experimentálního souboru?

H₀₄: Mezi **mm. extensores antebrachií a proximálními svaly** (TD, DA, PM, INF, SA, LD) nedochází k vzájemné korelaci během jednotlivých fází úkolu (dosah, úchop, oddálení) předmětů MV, VV, MK, VK, P na paretické horní končetině experimentálního souboru.

H₀₅: Mezi **mm. flexores antebrachií a proximálními svaly** (TD, DA, PM, INF, SA, LD) nedochází k vzájemné korelaci během jednotlivých fází úkolu (dosah, úchop, oddálení) předmětů MV, VV, MK, VK, P na paretické horní končetině experimentálního souboru.

Vědecká otázka č. 3

Jaký je rozdíl ve statisticky významných korelačních koeficientech svalů předloktí a proximálního svalstva na dominantní/paretické horní končetině mezi experimentálním a kontrolním souborem?

H₀₆: Není rozdíl mezi příslušnými korelačními koeficienty, z nichž nejméně jeden je statisticky významný, u **mm. extensores antebrachií a proximálním svalstvem** během jednotlivých fází úkolu (dosah, úchop, oddálení) předmětů MV, VV, MK, VK, P v porovnání dominantní horní končetiny kontrolního souboru s paretickou horní končetinou experimentálního souboru.

H₀₇: Není rozdíl mezi příslušnými korelačními koeficienty, z nichž nejméně jeden je statisticky významný, u **mm. flexores antebrachií a proximálním svalstvem** během jednotlivých fází úkolu (dosah, úchop, oddálení) předmětů MV, VV, MK, VK, P v porovnání dominantní horní končetiny kontrolního souboru s paretickou horní končetinou experimentálního souboru.

3 METODIKA

3.1 Charakteristika experimentálního souboru

Měření se zúčastnilo 12 probandů - pacientů po CMP hospitalizovaných na Rehabilitačním oddělení Fakultní nemocnice Olomouc, z toho mělo 10 CMP na podkladě ischemie a 2 z důvodu hemorhagie (viz příl. 1, s. 98). Doba od vzniku CMP u probandů se pohybovala od 2 týdnů do 10 měsíců. Poměr mužů a žen mezi probandy byl 3:1, v souboru bylo 9 mužů a 3 ženy. Průměrný věk souboru byl 51(\pm 12) let v rozmezí od 31 do 76 let. Probandi měli průměrnou výšku 175(\pm 8) cm a průměrnou váhu 76(\pm 15) kg. Podmínkou pro zařazení probandů do studie byla schopnost dosahové aktivity paretickou horní končetinou minimálně s náznakem úchopu. Druhou podmínkou byla dominance pravé horní končetiny. Třetím výběrovým kritériem byla pravostranná hemiparéza. Za vylučující okolnost se považovalo vážné omezení pohybu z jiné příčiny než vzniklé CMP, Neglect syndrom, neschopnost spolupráce z důvodu senzorické afázie či jiné příčiny, apraxie, vážná porucha zraku a přidružená onemocnění vylučující měření v kineziologické laboratoři. U pacientů byla vyšetřena míra spasticity a deficit v oblasti taktilní citlivosti (viz příl. 2, s. 99). Všichni z testovaných podepsali Informovaný souhlas potvrzující souhlas s měřením (viz příl. 4, s. 101-102). Souhlas s realizací studie byl vydán Etickou komisí FZV.

3.2 Charakteristika kontrolního souboru

Kontrolní skupinu tvořilo 12 osob, v poměrném zastoupení 5 mužů a 7 žen. Průměrný věk osob kontrolní skupiny byl 53(\pm 5) let v rozmezí od 48 do 66 let s průměrnou výškou 170(\pm 9) cm a průměrnou vahou 76(\pm 11) kg (viz příl. 3, s. 100). Probandi byli bez neurologického či traumatologického postižení horních končetin. Měli plný rozsah pohybu pro splnění zadaného úkolu. Podmínkou byla pravostranná

dominance horní končetiny. Každý proband podepsal Informovaný souhlas potvrzující dobrovolnou účast a souhlas s měřením (viz příl. 4, s. 101-102).

3.3 Výzkumná metoda

V rámci měření byl využit šestnácti kanálový povrchový elektromyograf firmy Noraxon. Snímala se bilaterálně elektrická aktivita svalstva horní končetin u obou souborů probandů.

3.4 Příprava měření

Měření obou souborů probandů probíhalo v kineziologické laboratoři Fakultní nemocnice Olomouc v provozní době od 7:00 do 15:30. Prostředí v laboratoři bylo klidné, dostatečně osvětlené, přiměřené teploty a se stejným uspořádáním nábytku a měřících přístrojů během všech měření.

Před vlastním měřením byly probandi seznámení s průběhem měření a jako vyjádření souhlasu podepsali Informovaný souhlas. Následně byla u pacientů s CMP odebrána anamnéza, orientačně vyšetřeno taktilní cití a spasticita svalstva paretické horní končetiny a zjištěna dominantnost horní končetiny otázkou: „Kterou rukou píšete?“. Spasticita byla změřena podle klasické Ashworthovy škály (viz příl. 5, s. 103), jak uvádí Opavský (Opavský, 2003, s. 40). Deficit taktilního cití byl hodnocen v procentech oproti intaktní horní končetině.

Příprava před měřením povrchovou elektromyografií obsahovala nejprve očištění kůže, v oblasti lepení elektrod. Kůže byla zbavena mastnoty a odumřelých zbytků pokožky pomocí abrazivní pasty, omytím a vysušením. Místo pro elektrody bylo ozřejmáno palpací během izometrické kontrakce svalu. Elektrody byly nalepeny kolmo na průběh svalových vláken dle doporučené mapy pro umístění elektrod vydané firmou Noraxon. Zemnicí elektroda byla umístěna na trnový výběžek obratle C7. Po připojení elektromyografu byla správnost umístění elektrod ověřena izometrickou aktivitou jednotlivých svalů. Poté byly zajištěny zesilovače signálu lepicí páskou,

tak aby nevznikaly nežádoucí ruchy a současně byl umožněn volný pohyb horními končetinami. Elektrody umístěné na předloktí byly navíc chráněny fixační páskou od firmy Noraxon.

Během měření bylo využito všech šestnácti kanálů elektromyografu, kterým byly snímány ve stálém pořadí tyto svaly:

1. kanál m. trapezius pars descendens (TD) l. sin
2. kanál - m. trapezius pars descendens l. dx
3. kanál - m. deltoideus, pars anterior (DA) l. sin
4. kanál - m. deltoideus, pars anterior l. dx
5. kanál - m. pectoralis major (PM) l. sin
6. kanál - m. pectoralis major l. dx
7. kanál - m. infraspinatus (INF) l. sin
8. kanál - m. infraspinatus l. dx
9. kanál - m. serratus anterior (SA) l sin
10. kanál - m. serratus anterior l. dx
11. kanál - m. latissimus dorsi (LD) l. sin
12. kanál - m. latissimus dorsi l. dx
13. kanál - mm. extensores antebrachií (EA) l. sin
14. kanál - mm. extensores antebrachií l. dx
15. kanál - mm. flexores antebrachií (FA) l. sin
16. kanál - mm. flexores antebrachií l. dx

3.5 Průběh měření

Testovaný seděl na židli se standartní výškou 45 cm v modifikovaném Brüggerově sedu u stolu výšky 75 cm. Testovaný byl instruován, aby měl chodidla opřená o zem, dolní končetiny flektované v kolenou přibližně v pravém úhlu a s mírnou zevní rotací v kyčlích, pánev ve středním postavení, trup přirozeně napřímen. V rámci základního nastavení měl proband horní končetiny flektované v loktech a položené části předloktí v pronaci o desku stolu, tak aby dlaně rukou byly ve vzdálenosti 20 cm, tato vzdálenost byla označena křížkem. Dále byla na stole umístěna druhá značka a to ve vzdálenosti dlaně při natažených horních končetinách

vpřed s plnou extenzí v loketních kloubech bez flexe a rotace trupu, u pacientů se tato vzdálenost hodnotila na neparetické horní končetině.

Ve výzkumu bylo využito pěti předmětů – malého válce (MV), velkého válce (VV), malé koule (MK) velké koule (VK) a pera (P) (viz příl. 6, s. 104). Pro měření byly vyrobeny 4 dřevěné předměty – malý válec o průměru 5,5 cm, výšce 26 cm a váze 370 g, velký válec o průměru 7,5 cm, výšce 26 cm a váze 370 g, malá koule o průměru 4, 5 cm a váze 40 g, velká koule o průměru 11 cm a váze 350g. Úkolem bylo uchopit předmět ve vzdálenosti 20 cm od kraje stolu přemístit jej na značku ve vzdálenosti natažené horní končetiny, předmět položit a následně znovu uchopit a přemístit na první značku.

Tento úkol měl pacient možnost si vyzkoušet a následně byly měřeny tři pokusy. Pořadí předmětů bylo standartní nejprve malý válec, velký válec, malá koule, velká koule a nakonec pero (viz příl. 7, s. 105). Před vlastním měřením jednotlivých pokusů byla nahraná dvacetí sekundová klidová aktivita svalstva horních končetin v základní pozici tedy v sedu s položeným předloktím horních končetin o stůl.

3.6 Zpracování a vyhodnocení EMG signálu

Pro zpracování a vyhodnocení EMG signálu bylo využito programu Myoresearch XP 1.08 Master Edition. EMG záznam byl zpracován pomocí EKG redukce, zrektifikován a vyhlazen při použití algoritmu RMS o velikosti 50 ms. Celý úkol byl rozdělen do pěti částí a to dosah k předmětu, první úchop, oddálení na vzdálenost paže, druhý úchop a přiblížení ke značce 20 cm. Pro statické zpracování byly vybrány první tři fáze úkolu a to na dosah, úchop a oddálení. Následně z každého úseku byl zprůměrováním 3 pokusů vytvořen „Standart report“ pomocí funkce „Average Activation“, obdobně byl vytvořen report pro klidovou hodnotu. Z klidových hodnot se pro jednotlivé svaly vypočítala aktivační hodnota, která měla hodnotu součtu průměrné klidové aktivity svalu + jejích dvou směrodatných odchylek. Podílem hodnot průměrné svalové aktivity vybraných úseků jednotlivých svalů a aktivačních hodnot příslušného svalu za pomoci programu Microsoft Office Excell byla získána hodnota nazvaná jako násobek aktivační hodnoty. Násobky aktivační hodnoty byly dále statisticky zpracovávány.

3.7 Statistické zpracování

Z násobků aktivačních hodnot byl vypočítán integrál plochy pod křivkou, který sloužil jako hodnota pro samotné statistické zpracování. Statistické zpracování získaných dat probíhalo v programu Matlab, software Statistika CZ verze 10.

V první vědecké otázce byla hodnota plochy pod křivkou jednotlivých svalů během konkrétní fáze úkolu pro daný předmět porovnána mezi experimentálním kontrolním souborem pomocí T-testu pro nezávislé skupiny. Hladina statistické významnosti byla stanovena na hodnotě $p \leq 0,05$.

V druhé vědecké otázce byly zpracovány korelace mezi svaly předloktí a proximálními svaly horní končetiny u experimentálního souboru pro dané předměty během jednotlivých fází úkolu. Vztah byl popsán pomocí Spearmanova korelačního koeficientu pro neparametrické hodnoty a příslušné hodnoty statistické významnosti. Za statisticky významné korelace byly posouzeny korelace na hladině $p \leq 0,05$.

Třetí vědecká otázka hodnotila rozdíl v hodnotě korelací mezi experimentálním souborem a kontrolním souborem. Za statisticky významné byly považovány hodnoty $p \leq 0,05$.

Výsledné hodnoty byly upraveny do tabulek a grafů v programu Microsoft Excel 2010.

4 VÝSLEDKY

4.1 Výsledky k vědecké otázce č. 1

Jaký je rozdíl v míře aktivity svalů paretické dominantní horní končetiny experimentálního souboru během jednotlivých fází úkolu a jednotlivých typů úchopů ve srovnání s dominantní horní končetinou kontrolního souboru?

H₀₁: Není rozdíl ve svalové aktivitě jednotlivých svalů (TD, DA, PM, INF, SA, LD, EA, FA) během dosahu na jednotlivé předměty (MV, VV, MK, VK, P) mezi paretickou horní končetinou experimentálního souboru a dominantní horní končetinou kontrolního souboru.

Zamítáme na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **TD u předmětů VV, MK, VK.**

Zamítáme na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **PM u všech předmětů.**

Na základě T-testu pro nezávislé skupiny byl odhalen statisticky významný rozdíl na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ během dosahu u m. trapezius pars descendes a m. pectoralis major, jak uvádí tab. 1, s. 45. Pro ostatní svaly (DA, INF, SA, LD, EA, FA) tuto hypotézu nelze zamítnout, jelikož hodnota statistické významnosti překročila hladinu $p \leq 0,05$.

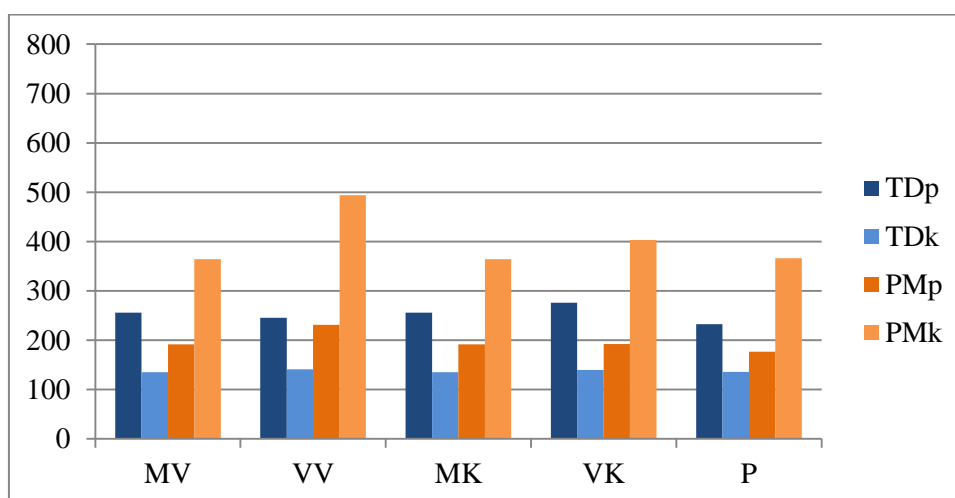
Tab. 1 Hodnoty statistické významnosti z T-testu během dosahu

DOSAĤ (p)	MV	VV	MK	VK	P
TD	0,051918	0,025312	0,042501	0,024182	0,059705
DA	0,637893	0,975181	0,983079	0,768043	0,645633
PM	0,043439	0,033465	0,043633	0,037954	0,020174
INF	0,328954	0,105315	0,135417	0,102688	0,288173
SA	0,619549	0,977061	0,771905	0,80431	0,626597
LD	0,973673	0,951777	0,987004	0,760406	0,685319
EA	0,355898	0,428339	0,941584	0,88912	0,879958
FA	0,639955	0,304435	0,407727	0,574857	0,306917

Legenda: TD – m. trapezius pars descendes, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, EA – mm. extensores antebrachií, FA – mm. flexores antebrachií, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P - pero, p – hodnota statistické významnosti, červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty

Graf 1, s. 45 zobrazuje průměrnou svalovou aktivitu m. trapezius pars descendes a m. pectoralis major během dosahu na jednotlivé předměty u experimentální a kontrolní skupiny. Hodnoty těchto svalů byly použity při T-testu a nabyly statistické významnosti. Příl. 8, s. 106 graficky znázorňuje průměrné svalové aktivity jednotlivých svalů během dosahu na jednotlivé předměty u experimentální a kontrolní skupiny.

Graf 1 Zobrazení průměrné svalové aktivity TD a PM během dosahu



Legenda: TDp – m. trapezius pars descendes pacienti, TDk – m. trapezius pars descendes kontrolní skupina, PMp – m. pectoralis major pacienti, PMk – m. pectoralis major kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P - pero

H₀₂: Není rozdíl ve svalové aktivitě jednotlivých svalů (TD, DA, PM, INF, SA, LD, EA, FA) během úchopu jednotlivých předmětů (MV, VV, MK, VK, P) mezi paretickou horní končetinou experimentálního souboru a dominantní horní končetinou kontrolního souboru.

Zamítáme na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **TD u všech předmětů**.

Zamítáme na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **PM u všech předmětů**.

Na základě T- testu pro nezávislé skupiny byl pozorován během úchopu statisticky významný rozdíl na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ u m. trapezius pars descendes a m. pectoralis major, jak zobrazuje tab. 2, s. 46. Pro zbývající svaly (DA, INF, SA, LD, EA, FA) tato hypotéza nelze zamítnout, hodnota statistické významnosti byla vyšší než $p \leq 0,05$.

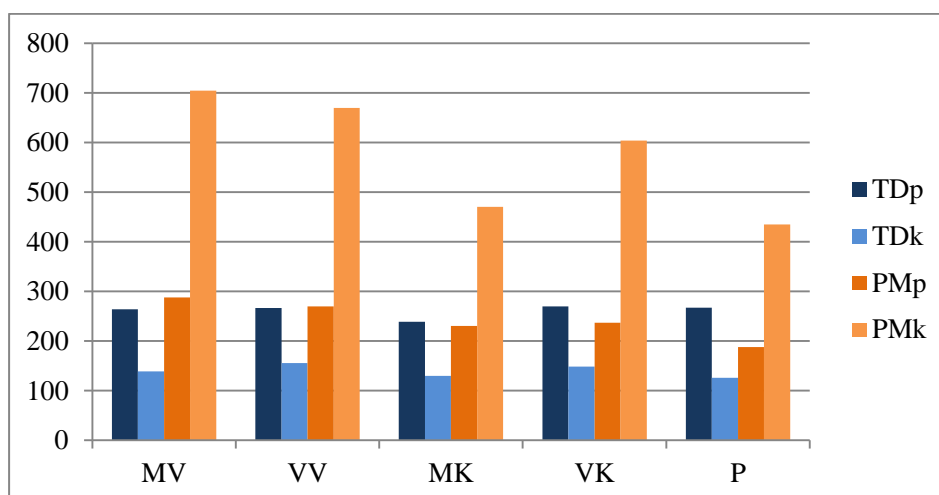
Tab. 2 Hodnoty statistické významnosti z T-testu během úchopu

ÚCHOP (p)	MV	VV	MK	VK	P
TD	0,014915	0,030855	0,011316	0,006958	0,006492
DA	0,250898	0,44177	0,292755	0,140568	0,237342
PM	0,002659	0,009597	0,023149	0,006827	0,00464
INF	0,88017	0,944832	0,410311	0,750889	0,715317
SA	0,29192	0,418387	0,366893	0,419631	0,364412
LD	0,660402	0,954102	0,622391	0,855116	0,804529
EA	0,378976	0,275818	0,976269	0,402292	0,949554
FA	0,158618	0,204131	0,482797	0,298991	0,82872

Legenda: TD – m. trapezius pars descendes, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, EA – mm. extensores antebrachií, FA – mm. flexores antebrachií, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P - pero, p – hodnota statistické významnosti, červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty

Graf 2, s. 47 zobrazuje průměrnou svalovou aktivitu m. trapezius pars descendes a m. pectoralis major během úchopu jednotlivých předmětů u experimentální a kontrolní skupiny. Hodnoty těchto svalů byly využity při T-testu a nabyly statistické významnosti. Souhrnné znázornění průměrné svalové aktivity jednotlivých svalů během úchopu jednotlivých předmětů v porovnání u pacientů a kontrolní skupiny poskytuje příl. 9, s. 107.

Graf 2 Zobrazení průměrné svalové aktivity TD a PM během úchopu



Legenda: TDp – m. trapezius pars descendes patienti, TDk – m. trapezius pars descendes kontrolní skupina, PMp – m. pectoralis major patienti, PMk – m. pectoralis major kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P - pero

H₀₃: Není rozdíl ve svalové aktivitě jednotlivých svalů (TD, DA, PM, INF, SA, LD, EA, FA) během oddálení jednotlivých předmětů (MV, VV, MK, VK, P) mezi parbrickou horní končetinou experimentálního souboru a dominantní horní končetinou kontrolního souboru.

Zamítáme na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **TD u předmětů MV, VV, P.**

Zamítáme na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **PM u předmětů MV, P.**

Na základě T-testu pro nezávislé skupiny vyšlo během oddálení méně statisticky významných rozdílů na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ u m. trapezius pars descendes a m. pectoralis major oproti předchozím hypotézám, jak značí tab. 3, s. 48. Tento jev souvisí s počtem porovnávaných hodnot, kdy u předchozích hypotéz bylo srovnáno 12 platných pokusů pacientů s 12 platnými pokusy kontrolní skupiny. Ve fázi oddálení byl poměr mezi experimentálním a kontrolním souborem u jednotlivých předmětů rozdílný, jelikož všichni pacienti nebyli schopni tuto fázi úkolu splnit. U malého válce byl poměr 7:12, u velké válce 6:12, u malé koule 7:12, u velké koule 5:12 a u pera 7:12. Pro ostatní hodnocené svaly (DA, INF, SA, LD, EA, FA) opět nelze hypotézu zamítnout.

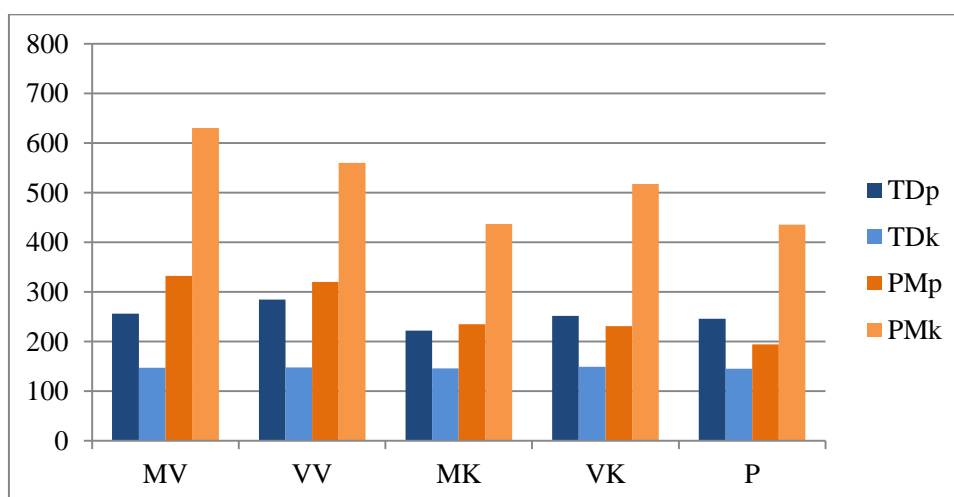
Tab. 3 Hodnoty statistické významnosti z T-testu během oddálení

ODDÁLENÍ (p)	MV (7)	VV (6)	MK (7)	VK (5)	P (7)
TD	0,050095	0,019623	0,098308	0,067939	0,047431
DA	0,434503	0,628418	0,340963	0,345875	0,264004
PM	0,026039	0,059442	0,060936	0,064466	0,025798
INF	0,661343	0,372612	0,595883	0,407229	0,443419
SA	0,836	0,501238	0,985255	0,334898	0,948958
LD	0,084418	0,255849	0,178896	0,254283	0,09888
EA	0,743686	0,813135	0,71472	0,931326	0,821344
FA	0,352358	0,293971	0,886032	0,24172	0,358806

Legenda: TD – m. trapezius pars descendes, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, EA – mm. extensores antebrachií, FA – mm. flexores antebrachií, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P - pero, p – hodnota statistické významnosti, červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty

Graf 3, s. 48 znázorňuje průměrnou svalovou aktivitu m. trapezius pars descendes a m. pectoralis major během oddálení jednotlivých předmětů u experimentální a kontrolní skupiny. Hodnoty těchto svalů byly využity při T-testu a některé z nich nabyly statistické významnosti, jak uvádí tabl. 3, s. 47. Grafický přehled o průměrné svalové aktivitě jednotlivých svalů během oddálení daných předmětů u pacientů a kontrolní skupiny podává příl. 10, s. 108.

Graf 3 Zobrazení průměrné svalové aktivity TD a PM během oddálení



Legenda: TDp – m. trapezius pars descendes pacienti, TDk – m. trapezius pars descendes kontrolní skupina, PMp – m. pectoralis major pacienti, PMk – m. pectoralis major kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P - pero

4.2 Výsledky k vědecké otázce č. 2

Jaké jsou korelace mezi distálními a proximálními svaly v průběhu fáze dosahu, úchopu a oddálení u jednotlivých typů úchopů na paretické horní končetině experimentálního souboru?

H₀₄: Mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly (TD, DA, PM, INF, SA, LD) nedochází k vzájemné korelaci během jednotlivých fází úkolu (dosah, úchop, oddálení) předmětů MV, VV, MK, VK, P na paretické horní končetině experimentálního souboru.

Zamítáme na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **PM během dosahu na VV, úchopu MV, VV, VK a oddálení VV.**

Zamítáme na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **INF během dosahu na MK.**

Vztah mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly paretické horní končetiny experimentálního souboru byl statisticky zhodnocen pomocí Spearmanova korelačního koeficientu a jeho statistické významnosti. Velikost korelačního koeficientu udává sílu závislosti mezi veličinami. Nabývá hodnoty od -1 do 1, hodnota nula určuje nezávislost veličin. Kladné hodnoty značí, že obě veličiny zároveň stoupají nebo klesají. V případě záporné hodnoty jedna veličina stoupá, zatím co druhá klesá.

Tab. 4, s. 50 znázorňuje korelační koeficienty a jejich hodnoty statistické významnosti během dosahu mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly, kde byly statisticky významné hodnoty u m. pectoralis major předmětu VV a u m. infraspinatus předmětu MK. U obou statisticky významných korelací má korelační koeficient kladnou hodnotu přesahující 0, 6. Pro ostatní svaly (TD, DA, SA, LD) během dosahu nelze H_{04} zamítnout.

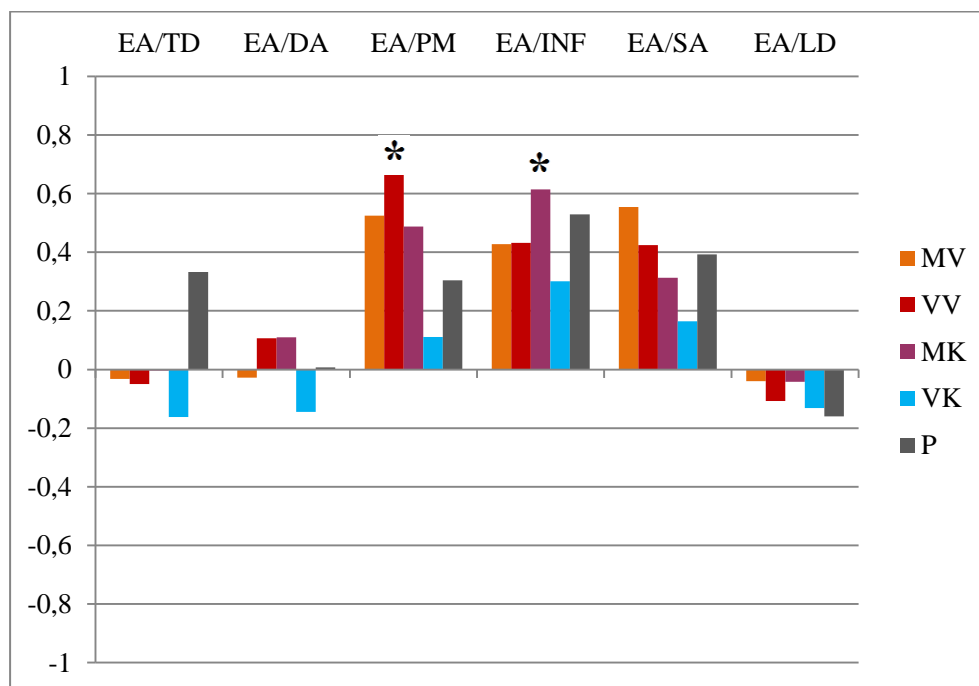
Tab. 4 Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly během dosahu

DOSAHI	MV	VV	MK	VK	P
EA/TD	-0,0322	-0,0494	-0,0039	-0,1618	0,3329
	p= 0,921	p=0,879	p=0,990	p=0,615	p=0,290
EA/DA	-0,0278	0,1061	0,1102	-0,1446	0,0077
	p=0,932	p=0,743	p=0,733	p=0,654	p=0,981
EA/PM	0,5254	0,6637	0,4881	0,1114	0,3041
	p=0,079	p=0,019	p=0,107	p=0,730	p=0,337
EA/INF	0,4276	0,4318	0,6142	0,3006	0,5296
	p=0,166	p=0,161	p=0,034	p=0,342	p=0,077
EA/SA	0,5541	0,4248	0,3134	0,1646	0,3927
	p=0,062	p=0,169	p=0,321	p=0,609	p=0,207
EA/LD	-0,0399	-0,107	-0,0423	-0,1319	-0,1598
	p=0,902	p=0,741	p=0,896	p=0,683	p=0,620

Legenda: EA – mm. extensores antebrachií, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero; červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty

Graf 4, s. 51 zobrazuje zpracování korelací proximální svalů vůči mm. extensores antebrachii během dosahu na jednotlivé předměty.

Graf 4 Zobrazení korelací proximálních svalů vůči mm. extensores antebrachii paretické horní končetiny během dosahu



Legenda: EA – mm. extensores antebrachii, TD – m. trapezius pars descendes, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, hvězdička značí statisticky významné hodnoty

Tab. 5, s. 52 zobrazuje korelační koeficienty a jejich hodnoty statistické významnosti během úchopu proximálních svalů ve vztahu k mm. extensores antebrachií. Statisticky významné korelace byly vypočítány pro m. pectoralis major při úchopu MV, VV, VK. Korelační koeficient měl hodnotu vyšší než 0,7 u všech předmětů. Pro zbývající proximální svaly (TD, DA, INF, SA, LD) nelze hypotézu H_{04} zamítnout.

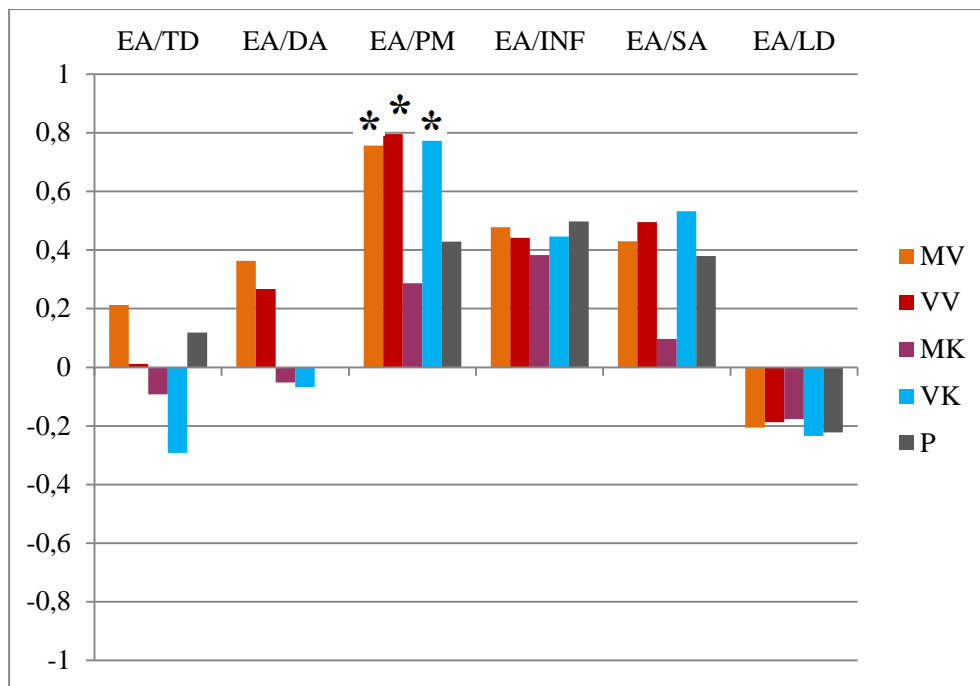
Tab. 5 Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly během úchopu

ÚCHOP	MV	VV	MK	VK	P
EA/TD	0,2127	0,0118	-0,0921	-0,2919	0,1181
	p=0,507	p=0,971	p=0,776	p=0,357	p=0,715
EA/DA	0,3629	0,2674	-0,0516	-0,0668	-0,0019
	p=0,246	p=0,401	p=0,874	p=0,836	p=0,995
EA/PM	0,7569	0,7954	0,2866	0,7727	0,4286
	p=0,004	p=0,002	p=0,366	p=0,003	p=0,164
EA/INF	0,4784	0,4416	0,3826	0,4467	0,4972
	p=0,116	p=0,151	p=0,220	p=0,145	p=0,100
EA/SA	0,43	0,4955	0,0971	0,5321	0,3795
	p=0,163	p=0,101	p=0,764	p=0,075	p=0,224
EA/LD	-0,2053	-0,1867	-0,1758	-0,2343	-0,2225
	p=0,522	p=0,561	p=0,585	p=0,464	p=0,487

Legenda: EA – mm. extensores antebrachií, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero; červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty

Graf 5, s. 53 podává názornou prezentaci korelací proximálních svalů vůči mm. extensores antebrachii při úchopu jednotlivých předmětů.

Graf 5 Zobrazení korelací proximálních svalů vůči mm. extensores antebrachii paretické horní končetiny během úchopu



Legenda: EA – mm. extensores antebrachii, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi
 MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero,
 hvězdička značí statisticky významné hodnoty

Tab. 6, s. 54 zaznamenává korelační koeficienty a jejich hodnoty statistické významnosti během oddálení u mm. extensores antebrachií ve vztahu k proximálním svalům. Korelace na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ se projevila během oddálení u m. pectoralis major pouze při předmětu VV. Hodnota korelačního koeficientu byla 0,95, což značí silnou lineární závislost m. pectoralis major a mm. extensores antebrachií. Pro další měřené svaly (TD, DA, INF, SA, LD) nelze H_{04} zamítnout.

Ve fázi oddálení byly korelace hodnoceny u menšího počtu probandů oproti předchozím fázím z důvodu nesplnění této části úkolu všemi pacienty. Oddálení splnilo u MV 7 probandů, u VV 6 probandů, u MK 7 probandů, u VK 5 probandů a P oddálilo 7 probandů.

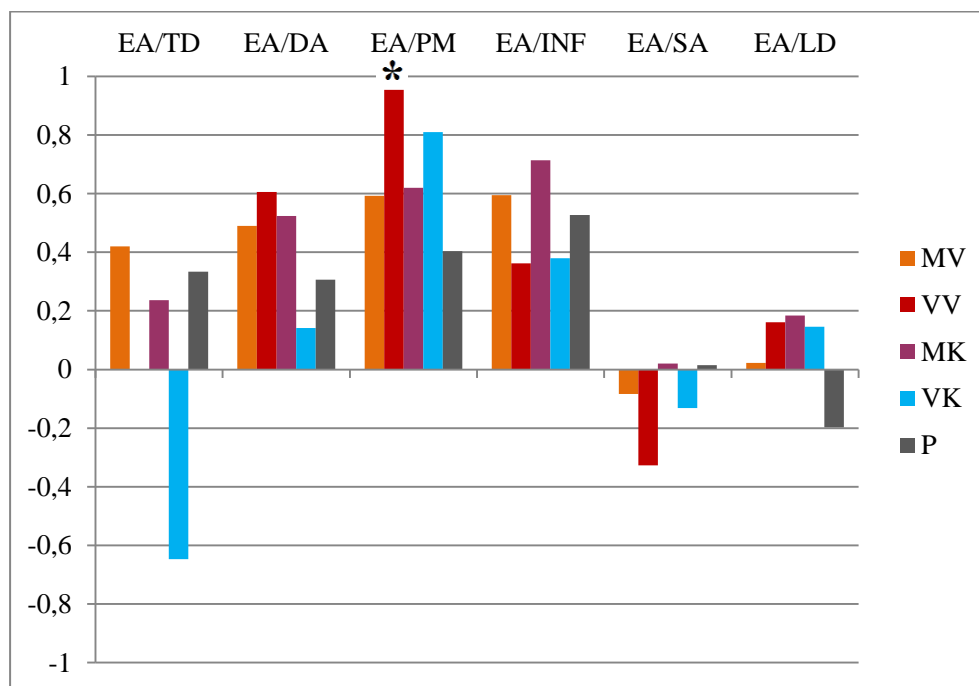
Tab. 6 Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly během oddálení

ODDÁLENÍ	MV (7)	VV (6)	MK (7)	VK (5)	P (7)
EA/TD	0,42	0,0011	0,2361	-0,6475	0,3333
	p=0,348	p=0,998	p=0,610	p=0,238	p=0,465
EA/DA	0,4903	0,6061	0,5241	0,1412	0,3065
	p=0,264	p=0,202	p=0,227	p=0,821	p=0,504
EA/PM	0,5925	0,9537	0,6204	0,8103	0,4036
	p=0,161	p=0,003	p=0,137	p=0,096	p=0,369
EA/INF	0,5952	0,3627	0,7138	0,38	0,5272
	p=0,159	p=0,480	p=0,072	p=0,528	p=0,224
EA/SA	-0,084	-0,3265	0,0203	-0,131	0,0151
	p=0,858	p=0,528	p=0,966	p=0,834	p=0,974
EA/LD	0,022	0,1614	0,1839	0,1462	-0,1967
	p=0,963	p=0,760	p=0,693	p=0,815	p=0,672

Legenda: EA – mm. extensores antebrachií, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero; červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty

Graf 6, s. 55 prezentuje korelace proximální svalů ve vztahu k mm. extensores antebrachií během oddálení daných předmětů.

Graf 6 Zobrazení korelací proximálních svalů vůči mm. extensores antebrachií paretické horní končetiny během oddálení



Legenda: EA – mm. extensores antebrachií, TD – m. trapezius pars descendes, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi
 MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero,
 hvězdička značí statisticky významné hodnoty

H₀₅: Mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly (TD, DA, PM, INF, SA, LD) nedochází k vzájemné korelaci během jednotlivých fází úkolu (dosah, úchop, oddálení) předmětů MV, VV, MK, VK, P na paretické horní končetině experimentálního souboru.

Nelze zamítnout na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **všechny svaly** (TD, DA, PM, INF, SA, LD) během jednotlivých fází úkolu všech předmětů.

Tab. 7, s. 56 shrnuje hodnoty statistické významnosti a korelační koeficienty pro vztah mezi mm. flexores antebrachií a proximálních svalů paretické horní končetiny pacientů během dosahu. Žádná z korelací nedosáhla statistické významnosti na hladině $p \leq 0,05$.

Tab. 7 Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly během dosahu

DOSAH	MV	VV	MK	VK	P
FA/TD	-0,3851	-0,3717	-0,3958	-0,5266	-0,4783
	p=0,394	p=0,468	p=0,379	p=0,362	p=0,278
FA/DA	-0,268	-0,0879	-0,3015	-0,193	-0,2634
	p=0,561	p=0,868	p=0,511	p=0,756	p=0,568
FA/PM	-0,5291	-0,2753	-0,432	-0,2719	-0,0905
	p=0,222	p=0,597	p=0,333	p=0,658	p=0,847
FA/INF	0,0126	0,328	-0,432	0,1245	-0,2293
	p=0,979	p=0,526	p=0,333	p=0,842	p=0,621
FA/SA	-0,6038	-0,6049	-0,5724	-0,7407	-0,613
	p=0,151	p=0,203	p=0,179	p=0,152	p=0,143
FA/LD	-0,267	-0,3296	-0,4154	-0,3379	-0,2467
	p=0,563	p=0,524	p=0,354	p=0,578	p=0,594

Legenda: FA – mm. flexores antebrachií, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero

Tab. 8, s. 57 zobrazuje hodnoty statistické významnosti a korelačních koeficientů vztahu mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly na paretické horní končetině probandů experimentální skupiny během úchopu pěti předmětů. Na základě hodnot statistické významnosti nelze zamítnout hypotézu H_{05} , mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly nebyla zaznamenána žádná statisticky významná korelace během úchopu.

Tab. 8 Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly během úchopu

ÚCHOP	MV	VV	MK	VK	P
FA/TD	-0,4583	-0,2269	-0,3117	-0,4629	-0,3157
	p=0,134	p=0,478	p=0,324	p=0,130	p=0,317
FA/DA	-0,2749	-0,2079	-0,3925	-0,1733	-0,2643
	p=0,387	p=0,517	p=0,207	p=0,590	p=0,407
FA/PM	-0,4928	-0,1246	-0,3701	-0,1964	-0,3196
	p=0,104	p=0,700	p=0,236	p=0,541	p=0,311
FA/INF	-0,2291	0,424	0,0122	-0,4418	-0,341
	p=0,474	p=0,170	p=0,970	p=0,150	p=0,278
FA/SA	-0,5651	-0,1816	-0,5121	-0,5266	-0,4298
	p=0,056	p=0,572	p=0,089	p=0,079	p=0,163
FA/LD	-0,0241	0,1587	-0,1556	-0,0276	-0,1641
	p=0,941	p=0,622	p=0,629	p=0,932	p=0,610

Legenda: FA – mm. flexores antebrachií, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero

Tab. 9, s. 58 uvádí korelační koeficienty a jejich hodnoty statistické významnosti u mm. flexores antebrachií a proximálních svalů paretické horní končetiny probandů experimentálního souboru během oddálení. Žádná z korelací nedosáhla statistické významnosti, proto nelze H_{05} zamítnout. Ve fázi oddálení byly korelace hodnoceny u nižšího počtu probandů u MV 7, u VV 6, u MK 7, u VK 5 a u P 7, oproti 12 probandů v předchozích dvou fázích.

Tab. 9 Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly během oddálení

ODDÁLENÍ	MV	VV	MK	VK	P
FA/TD	-0,3851	-0,3717	-0,3958	-0,5266	-0,4783
	p=0,394	p=0,468	p=0,379	p=0,362	p=0,278
FA/DA	-0,268	-0,0879	-0,3015	-0,193	-0,2634
	p=0,561	p=0,868	p=0,511	p=0,756	p=0,568
FA/PM	-0,5291	-0,2753	-0,432	-0,2719	-0,0905
	p=0,222	p=0,597	p=0,333	p=0,658	p=0,847
FA/INF	0,0126	0,328	-0,432	0,1245	-0,2293
	p=0,979	p=0,526	p=0,333	p=0,842	p=0,621
FA/SA	-0,6038	-0,6049	-0,5724	-0,7407	-0,613
	p=0,151	p=0,203	p=0,179	p=0,152	p=0,143
FA/LD	-0,267	-0,3296	-0,4154	-0,3379	-0,2467
	p=0,563	p=0,524	p=0,354	p=0,578	p=0,594

Legenda: FA – mm. flexores antebrachií, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero

4.3 Výsledky k vědecké otázce č. 3

Jaký je rozdíl ve statisticky významných korelačních koeficientech svalů předloktí a proximálního svalstva na dominantní/paretické horní končetině mezi experimentálním a kontrolním souborem?

H₀₆: Není rozdíl mezi příslušnými korelačními koeficienty, z nichž nejméně jeden je statisticky významný, u **mm. extensores antebrachií a proximálním svalstvem** během jednotlivých fází úkolu (dosah, úchop, oddálení) předmětů MV, VV, MK, VK, P v porovnání dominantní horní končetiny kontrolního souboru s paretickou horní končetinou experimentálního souboru.

Zamítáme na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro korelace **EA/PM během úchopu MV, VV, VK a během oddálení VV.**

Příl. 11, s. 109 zobrazuje hodnoty statistické významnosti jednotlivých korelací mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly u obou výzkumných souborů během jednotlivých fází úkolu všech pěti předmětů. Tab. 10, s. 60 znázorňuje pouze hodnoty statisticky významných korelací mm. extensores antebrachií a proximálního svalstva u hemiparetiků a zdravé kontrolní skupiny. Pouze ve dvou případech vztahu svalstva předloktí a ramenního pletence nabyly hodnoty statistické významnosti mezi mm. extensores antebrachií a m. pectoralis major, druhým případem byl vztah mm. extensores antebrachií a m. infraspinatus. V tab. 10, s. 60 lze pozorovat, že korelace EA/PM vznikaly pouze u pacientů, kdežto korelace EA/INF byly charakteristické pro kontrolní skupinu, pouze v jediném případě dosahu na MV se tato korelace projevila i u experimentálního souboru.

V příl. 12, s. 110 a v tab. 10, s. 60 jsou zaznačeny statisticky významné rozdíly mezi příslušnými statisticky významnými korelacemi v porovnání experimentálního a kontrolního souboru. Statisticky významně se lišily pouze korelace u mm. extensores antebrachií a m. pectoralis major během úchopu MV, VV a VK a oddálení VV. Žádný statisticky významný rozdíl nebyl zaznamenán mezi korelacemi mm. extensores antebrachií a m. infraspinatus.

Tab. 10 Hodnoty statisticky významných korelačních koeficientů mezi EA a proximálním svalstvem během jednotlivých fází úkolu všech předmětů u obou výzkumných souborů

		MV	VV	MK	VK	P
DOSAH	EA/PMp	X	0,6637	X	X	X
	EA/PMk		0,0186			
	EA/INFp	X	X	0,6142	X	0,5296
	EA/INFk			0,6416		0,6182
ÚCHOP	EA/PMp	0,7569	0,7954		0,7727	
	EA/PMk	-0,096	0,0683	X	0,0452	X
		*	*		*	
	EA/INFp	X	0,4416	X	0,4467	0,4972
		0,7771		0,7022	0,6794	
ODDÁLENÍ	EA/PMp	X	0,9537	X	X	X
	EA/PMk		-0,1632			
			*			
	EA/INFp	X	X	X	X	X
	EA/INFk					

Legenda: EA – mm. extensores antebrachií, PMp – m. pectoralis major pacienti, PMk – m. pectoralis major kontrolní skupina, INFp – m. infraspinatus pacienti, INFk – m. infraspinatus kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P- pero, červeně jsou vyznačeny statisticky významné korelace, hvězdička značí statisticky významný rozdíl uvedených korelací, X – zde nebyly zaznamenány statisticky významné korelace

H₀₇: Není rozdíl mezi příslušnými korelačními koeficienty, z nichž nejméně jeden je statisticky významný, u **mm. flexores antebrachií a proximálním svalstvem** během jednotlivých fází úkolu (dosah, úchop, oddálení) předmětů MV, VV, MK, VK, P v porovnání dominantní horní končetiny kontrolního souboru s paretickou horní končetinou experimentálního souboru.

Nelze zamítnout na hladině statistické významnosti $p \leq 0,05$ pro **žádnou z korelací**.

Příl. 13, s. 111 obsahuje hodnoty statistické významnosti jednotlivých korelací mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly u obou výzkumných souborů během jednotlivých fází úkolu všech pěti předmětů. Tab. 11, s. 61 uvádí pouze hodnoty statisticky významných korelací mm. flexores antebrachií a proximálního svalstva u hemiparetiků a zdravé kontrolní skupiny. Statisticky významné korelace

byly popsány pouze mezi mm. flexores antebrachii a m. deltoideus pars anterior kontrolní skupiny během oddálení MV, VV a VK. Nicméně při porovnání příslušných korelačních koeficientů mezi výzkumnými soubory nebyl nalezen statisticky významný rozdíl těchto korelací.

Tab. 11 Hodnoty statisticky významných korelačních koeficientů mezi FA a roximálním svalstvem během jednotlivých fází úkolu všech předmětů u obou výzkumných souborů

ODDÁLENÍ	MV	VV	MK	VK	P
FA/DAP	-0,268	-0,0879	X	-0,193	X
FA/DAK	0,5812	0,5835		0,5912	

Legenda: FA – mm. flexores antebrachii, DAP – m. deltoideus pars anterior pacienti, DAK – m. deltoideus pars anterior kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P- pero, červeně jsou vyznačeny statisticky významné korelace

5 DISKUZE

Přestože se v České republice v posledních letech incidence a prevalence CMP nezvyšuje, jsou čísla stále vysoká. Incidence CMP v České republice, vypočítána z dat hospitalizovaných pacientů pro CMP v roce 2008, dosahuje 4,5-5/1 000 obyvatel. Odhadovaná prevalence CMP v České republice činí 19/1 000 obyvatel (Bruthans, 2010, s. 134). Přičemž následky CMP způsobují disabilitu člověka zvláště pak při postižení horní končetiny (Nowak, 2008, p. 1439; McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 2999; Hunter, Crome, 2002, p. 68; Cirstea, Ptito, Levin, 2003, 476; Seo, Rymer, Kamper, 2009, p. 3108; Stavric, McNair, 2012, p. 67). Proto je nezbytné se otázkou paretické horní končetiny hemiparetiků zabývat a snažit se objektivizovat patologické projevy a následně aplikovat získané poznatky do terapie horní končetiny pacientů po CMP.

Horní končetina oproti dolní končetině vykonává více proměnlivou a komplexní činnost. Není pro ni stanovena standardní aktivita, která by ji charakterizovala jako například pro dolní končetinu chůze, která má jasně omezené hranice a je cyklická (Yang et al., 2002, p. 739). U horní končetiny pacientů po CMP se vědci často zabývají tématem dosahu a úchopu z různých úhlů pohledu, převažují však studie zaměřené na kinematickou analýzu pohybu (Cirstea, Levin, 2000; Michaelsen et al., 2001; Cirstea et al., 2003; Roby-Brami, Jacobs et al., 2003; Michaelsen et al., 2004; Raghavan et al., 2010; Robertson, Roby-Brami, 2011), méně se využívá EMG metody (McCrea, Eng, Hodgson, 2005; Wagner et al., 2007).

My jsme v naší studii využili povrchové elektromyografie k hodnocení svalových synergii u pacientů po CMP během dosahu, úchopu a manipulace s předmětem, přestože většina studií je orientovaná na kinematickou analýzu pohybu. Souhlasíme s názorem Safavyniy a kolektivu, kteří upřednostňují EMG analýzu svalové aktivity s následujícím odůvodněním. CMP je centrální neurální dysfunkcí měnící motorické výstupy, tyto změny jsou výsledkem abnormální neurální aktivity s následně odlišnou koordinací svalstva. Svalová aktivita odráží aktivitu motoneuronů, proto analýza svalové aktivity může nejlépe poskytnout pochopení funkčního neurálního deficitu (Safavynia, Torres-Oviedo, Ting, 2011, p. 16).

Synergie, u pacientů po CMP se ve studiích zkoumají jak z kinematických dat (Micera et al., 2005; Dipietro et al., 2007; Kordelaar, Wegen, Kwakkel, 2012), tak z elektromyografického záznamu (Cheung et al., 2009; Safavynia, Torres-Oviedo, Ting, 2011; Cheung et al., 2012). Elektromyografie umožňuje sledování synergií během různých pohybových aktivit (Rodová, Mayer, Janura, 2001, s. 175). Otázkou však zůstává přesná definice synergií?

V překladu z řečtiny synergie znamená pracující spolu, tato fráze však již byla neurovědami posunuta (Dipietro et al., 2007, p. 757). Vědci se shodují, že pod slovem synergie se skrývá určitá strategie CNS umožňující jakési zjednodušení motorického řízení (Sporn, Edelman, 1993, p. 963; Yang et al., 2002, p. 740; Dipietro et al., 2007, p. 757; Ting, McKay, 2007, p. 626; Cheung et al., 2009, p. 19563). Oproti tomuto názoru Tresch a Jarc uvádí, že by synergie měly být posuzovány spíše v širším kontextu vzájemných interakcí mezi vlastnostmi muskuloskeletárního systému a neurálním řízením, než synergie omezovat na pouhé zjednodušení motorického řízení (Tresch, Jarc, 2009, p. 605).

Vezmeme-li v úvahu svalové synergie u zdravého jedince, jak uvádí Safavynia a kolektiv, jedná se o funkční svalové koordinační vzory použité pro zajištění motorických funkcí v běžném pohybovém chování (Safavynia, Torres-Oviedo, Ting, 2011, p. 17). Koordinace v synergiích hraje důležitou roli. Znakem definující koordinaci je hromadná spolupráce efektorů pro zajištění splnění úkolu. Koordinace se objevuje na několika etážích hierarchie motorického řízení jednak na úrovni svalů, kloubů i mezi končetinami. Základním problémem koordinace je množství účastnících se efektorů, například od ramene po ukazovák se na pohybu účastní více než 40 svalů, což převyšuje rozsah požadavků na úkol. Nervový systém za pomoci synergií omezuje množství výběru a dělá tak koordinační problém řešitelným (Diedrichsen, Shadmehr, Ivry, 2010, p. 31). Na koordinaci jako na způsob řízení DOF nahlížel Bernstein (1967 in Sporns, Edelman, 1993, pp. 961-962). Latash o koordinaci z pohledu abundance uvádí, že množství DOF na všech úrovních motorického systému neznamena pro mozek řídicí problém, právě naopak poskytuje systému sílu. Díky tomu mozek produkuje flexibilní a zároveň stabilní motorické výstupy (Latash, 2008, p. 202).

Neurální léze po CMP mění kortikální aktivační vzory pro svalové synergie, což vede k motorické dysfunkci postižené končetiny (Cheung et al., 2009, p. 19566). Nicméně u pacientů se pojem synergie spíše pojí se stereotypním pohybem, kdy celá

končetina ztrácí nezávislé řízení kloubů a limituje tak jedince v koordinovaných a flexibilních vzorcích (Dipietro et al., 2007, p. 757; Safavynia, Torres-Oviedo, Ting, 2011, p. 19). Ve studiích se autoři často odkazují na rozdělení abnormálních synergií dle Brunnströmové na flekční a extenční synergie, které popisuje predilekce určitému propojení svalstva (Cirstea, Levin, 2000, p. 941; Michaelsen et al., 2001, p. 1882; Reisman, Scholz, 2003, p. 2510; McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3006; Kordelaar, Wegen, Kwakkel, 2012, p. 251). Pacientům po CMP je znemožněno vykonávání funkčních motorických úkolů (Dipietro et al., 2007, p. 757). Analýza svalových synergií nám umožňuje lepší charakteristiku pacientova motorického deficitu zároveň také jeho kompenzace (Safavynia, Torres-Oviedo, Ting, 2011, p. 18).

Měli bychom si uvědomit, že pohyb se skládá se ze dvou částí a to plánování a vykonání pohybu. Mohli bychom si klást otázku, zda u pacientů po CMP deficit vychází z narušeného plánování či z neschopnosti uskutečnit plánovaný pohyb. Tuto otázku si kladli Honeycutt a Perreault, vytvořili experiment na základě „startovací reakční odpovědi“ (startReact response), která spouští brzkou mimovolní iniciaci a vykonání plánovaného pohybu v případě neporušené schopnosti plánování. Výsledky jim přinesly poznání, že u pacientů po CMP byla „startovací reakční odpověď“ intaktní, což naznačuje zachovalou schopnost plánování balistických pohybů (Honeycutt, Perreault, 2012, p. 1, 10). Tyto výsledky je nutno brát s rezervou, jelikož studie byla provedena pouze na pohybu v loketním kloubu u vybraného vzorku pacientů. Nicméně souhlasně se vyjadřuje i Cirstea a Levin (2000, p. 941), uvádějí, že pokud je pacient schopen nějakým způsobem dosáhnout do různých míst v prostoru, je pravděpodobně zachováno plánování pohybu. Tvrzení o zachovalém plánování u pacientů po CMP koreluje s fyziologií řízení pohybu, kdy za plánování zodpovídají parietální asociační oblast, prefrontální korová oblast, doplňková motorická korová oblast, bazální ganglia a mozeček (Králíček, 2011, s. 123). V důsledku nejčastějšího postižení arteria cerebrii media dochází k postižení primární motorické oblasti (Hluštík, Mayer, 2006, p. 37), která se již účastní na provedení vytvořeného plánu (Králíček, 2011, s. 124-125).

Je zřejmé, že hlavní problém u pacientů po CMP vychází z neurologických změn v mozku, tento deficit se však prolíná až na úroveň samotného výkonného orgánu a to svalstva. Co je v podstatě podkladem těchto změn na svalové úrovni? Wagner a kolektiv shrnují současné poznatky. Neuromuskulární mechanismus hemiparézy

zahrnuje tyto změny ztrátu funkčních motorických jednotek, změnu v pořadí náboru motorických jednotek a také změnu frekvence pálení z motorických jednotek. Změny ve fyziologii motorický jednotek mění svalové vzory několika způsoby - sníženou schopností náboru agonistických svalů pro daný úkol, dále pak zpožděním v iniciaci a terminaci svalové aktivity, antagonistickou koaktivací a v neposlední řadě ztrátou selektivní aktivace souboru svalů nutných pro vykonání pohybu (Wagner et al., 2007, p. 165). Stavric a McNair se vyjadřují souhlasně s Wagnerem vzhledem ke změnám fyziologie v rámci motorických jednotek, ale berou tyto změny ve svalech z pohledu ztráty svalové aktivity. Uvádějí, že ztráta plné aktivace existujících motorických jednotek, z důvodu kompromisu mezi nábořem a pálení, ovlivňuje generování svalové síly (Stavric, McNair, 2012, p. 71).

Z výše uvedených důvodů jsme si v naší studii zvolili pozorování svalstva napříč horní končetinou se záměrem objasnění svalových synergií u pacientů po CMP. Jako zkoumanou aktivitu jsme zvolili dosah, úchop a manipulaci s předmětem ve shodě s ostatními studiemi, jak uvádíme výše. Předměty byly zhotoveny ze dřeva z důvodu neklouzavého materiálu a zajištění stejného vjemu z předmětů. Váha malého válce, velkého válce a velké koule odpovídala váze dvou decilitrové sklenice naplněné vodou. Úchop a manipulace s takovouto vahou je běžnou součástí ADL. Pacienty jsme nechali tento pohyb vykonávat přirozeně běžnou rychlostí, limitací byla výchozí pozice a to modifikovaný Brüggerův sed.

Tresch a Jarc uvádějí, že pokud se má úkol mnoho omezení, tak výsledek spíše odráží omezení než neurální řídicí strategii. Možnost vysvětlit pohybové chování díky svalovým synergiím odráží skutečnost, že existuje několik způsobů jak splnit daný úkol. Jakmile je daný úkol striktně limitován, musí se limitace přičíst k výsledku (Tresch, Jarc, 2009, p. 602).

Jak uvádíme výše, dosah a úchop jsou častým vědecky řešeným tématem u pacientů po CMP. U pacientů po CMP vzniká abnormální propojení mezi segmenty nejčastěji mezi loktem a ramen, takovéto propojení či synergie neumožňuje izolovaný pohyb. Patofyziologie abnormálních synergií však není ještě plně objasněna (Kordelaar, Wegen, Kwakkel, 2012, p. 251-252). V rámci dosahu u pacientů po CMP autoři nejčastěji zmiňují spojení abdukce v rameni s flexí v lokti, která výrazně omezuje funkční dosah k předmětu (Cirstea, Ptito, Levi, 2003, p. 485; McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3006; Kordelaar, Wegen, Kwakkel, 2012, p. 256). My jsme však

v rámci dosahu, úchopu a manipulace zvolili objektivizaci propojení mezi svalstvem ramenního pletence a svalstvem předloktí, které by mohlo lépe odrážet aktivitu svalstva vzhledem k požadovanému úkolu.

Zadaný úkol jsme rozdělili do několika fází dosahu, úchopu a oddálení. Již v roce 1981 Jeannerod rozlišil pohyb během úchopování na dvě nezávislé fáze - transportní a úchopovou (Jeannerod, 1981 in Cavina-Pratesi et al., 2010, p. 10323). I po 30 letech zůstává otázka nezávislosti jednotlivých fází stále kontroverzní (Cavina-Pratesi et al., 2010, p. 10323), proto jsme hodnotili jednotlivé fáze pohybu.

5.1 Diskuze k vědecké otázce č. 1

V první vědecké otázce jsme hodnotili rozdíl ve svalové aktivitě mezi experimentálním a kontrolním souborem. Statisticky významné byly zjištěny hodnoty u m. trapezius pars descendens během dosahu na předměty VV, MK a VK, během úchopu u všech předmětů a při oddálení u MV, VV a P. Druhým svalem se statisticky odlišným hodnotami mezi skupinami byl m. pectoralis major, ve fázi dosahu a úchopu byla statistická významnost u všech předmětů, ve fázi oddálení pouze MV a P. U obou svalů během všech fází pohybu a předmětů hodnota statistické významnosti nepřekročila hodnotu 0,1 (viz tab. 1, s. 45; tab. 2, s. 46; tab. 3, s. 48). Tento výsledek můžeme považovat za trend, který vypovídá o rozdílné aktivitě u m. pectoralis major a m. trapezius pars descendens pacientů po CMP vzhledem ke zdravé kontrolní skupině.

U m. pectoralis major hemiparetiků byly zaznamenány nižší hodnoty průměrné aktivity oproti kontrolnímu souboru, zatímco hodnoty průměrné aktivity m. trapezius pars descendens byly vyšší (viz graf. 1, s. 45 graf 2, s. 47; graf. 3, s. 48). Povrchová elektromyografie není metoda zaměřená na hodnocení svalové síly, nicméně je ve studiích používána pro hodnocení schopnosti vyvinout maximální volní kontrakci – viz níže studie Wagnera et al z roku 2007. Nehodnotili jsme svalovou sílu jako takovou, ale průměrnou svalovou aktivitu vypočítanou z plochy pod křivkou vytvořené z násobků aktivačních hodnot. Domníváme se, že hodnocení svalové síly při lézi v CNS není vhodné, jelikož příčina svalové slabosti není v neschopnosti

kontrakce svalu, ale v motorickém řízení. Příkladíme se k názoru B. Bobathové (1977 in Gowald et al., 1992, p. 625), která tvrdila, že u hemiparetiků není hlavní problém svalová síla paretické strany. Nicméně ve studiích se setkáváme s hodnocením svalové síly u hemiparetiků a lze předpokládat, že při nepoužívání paretické končetiny z důvodu poruchy řízení, dojde i ke změnám svalového vlákna, poklesu kontraktility a snížení svalové síly.

Wagner se svými spolupracovníky poskytují náhled na vývoj svalové síly u hemiparetiků měřením maximální volní izometrické kontrakce (MVIC) pomocí EMG. Autoři zaznamenali v akutní fázi, do 28 dnů od vzniku CMP, namáhavé vykonání dosahu vyjádřené 4-20% MVIC oproti kontrolní skupině, která k tomuto úkolu využila pouze 1-2% MVIC. V subakutní fázi, v průměru 109 dnů od vzniku CMP, došlo k zlepšení podílu na 4-10% MVIC pro uskutečnění dosahu paretickou horní končetinou (Wagner et al., 2007, pp. 170-173). Zvýšené úsilí pro vykonání pohybu potvrzuje také McCrea a kolektiv u chronických pacientů (McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3002). Takto zvýšené úsilí během pohybu u hemiparetiků je zdůvodněno náborem přídatných motorických jednotek nebo kompletních synergistických agonistických svalů potřebných pro splnění úkolu (McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3005, Wagner et al., 2007, pp. 170-173).

V pilotním měření studie Rueda a kolektivu hodnotili u hemiparetiků jak kinematickou metodou, tak pomocí povrchové elektromyografie pohyb horní končetiny během dosahu, úchopu a napití se ze sklenice. Data srovnávali se zdravou kontrolní skupinou. Výsledky přinesly mimo jiné rozdíl v aktivitě m. trapezius pars descendens (superior), který se aktivoval zvýšeně oproti kontrolní skupině v iniciální fázi pohybu (Rueda et al., 2012, p. 345-346), obdobně jako m. trapezius pars descendens v našem experimentu.

Z pohledu proximo-distálního deficitu a svalové aktivity bychom u mm. extensores antebrachií a mm. flexores antebrachií mohli očekávat statisticky významně sníženou průměrnou svalovou aktivitu na paretické horní končetině pacientů. V rehabilitaci se často setkáváme s dogmatickým názorem většího postižení ruky oproti proximální části horní končetiny, kdy na ruce se více projevuje deficit v podobě parézy nebo úplné plegie oproti ramennímu pletenci.

Předpokládá se, že pohybový výkon u hemiparetiků vyžadující řízení distálních segmentů, jako u úchopu, je více postižen než pohyb proximálních segmentů, jako například dosahová aktivita. Tato domněnka je založena na rozložení impulsu z kortikospinální dráhy, kdy závažná hemiparéza je více manifestovaná na distálním svalstvu a méně na proximálních svalech horní končetiny (Lang et al., 2005, pp. 126-127).

Důležitým předpokladem pro objasnění problematiky je dobrá znalost fyziologie řízení horní končetiny. Nirikko s kolegy uskutečnili studii zaměřenou na rozlišení aktivity mozku během pohybu distální části a proximální části horní končetiny pomocí funkční magnetické stimulace. Výsledky prokázaly, že při pohybu prstů ruky se neaktivoval ipsilaterální somatomotorický kortex vzhledem ke straně končetiny. Právě naopak byl spíše deaktivován, což naznačuje, že vykonání takovýchto pohybů je čistě v režii kontralaterální hemisféry. Naopak při pohybech proximální části paže byla zaznamenána bilaterální aktivita, ipsilaterální aktivita hemisféry souhlasné se stranou končetiny dosáhla přibližně 30% aktivace vzhledem ke kontralaterální. Tento nálezn odráží funkční rozdíl mezi distálním a proximálním systémem motoriky horní končetiny, kdy manipulační činnosti na rozdíl od posturálního zajištění potřebují nezávislou kontrolu (Nirikko et al., 2001, p. 832). Na základě fyziologie řízení je logické, že distální segment horní končetiny bude více postižen při unilaterální lézi, kdežto proximální segment zůstává částečně funkční díky bilaterálnímu řízení.

Nicméně Lang a kolektiv předpoklad proximo-distálního deficitu podrobili zkoumání u pacientů v akutní fázi CMP. Nenašli však významný rozdíl mezi postižením úchopu, zajištěným distálními segmenty, a dosahem, ovlivněným především proximálními částmi horní končetiny. U chronických pacientů rozdílný deficit v úchopu a dosahu může odrážet jednak ztrátu kortikospinálního inputu a následnou kompenzaci pomocí dalších descendentních drah. Tyto alternativní dráhy mají lepší schopnost řízení motorických jednotek proximálního svalstva než distálního. V akutním stádiu však tato kompenzace není zahrnuta a odráží pouze primární ztrátu kortikospinálního traktu (Lang et al., 2005, pp. 134-135).

Obdobně Beebe a Lang zvažovali možnost, že v akutní fázi CMP je stejné postižení jak proximální, tak distální části horní končetiny. Přestože je větší přispění kortikospinální dráhy k proximálnímu svalstvu, během CPM je srovnatelné poškození inputu jak k distálním segmentům, tak k proximální části paže (Beebe, Lang, 2008,

p. 2075). Výsledná data jim potvrdila prvotní hypotézu, že v časném stádiu CMP neexistuje proximo-distální gradient motorického deficitu. Tento gradient se vytváří až s kompenzačním nábojem další motorických drah jako například retikulospinálního traktu. V akutním stádiu je však schopnost pohybovat jednotlivými segmenty horní končetiny stejnou měrou zasažena, ztráta funkce ruky po CMP není tedy omezena jen na distální deficit (Beebe, Lang, 2008, p. 2081-2082, 2085).

Z těchto výsledků můžeme tedy usuzovat, že není rozdíl v míře postižení mezi proximální a distální částí horní končetiny po CMP v akutním stádiu, jedná se spíše o míru návratu funkcí a míru kompenzačních možností. Měli bychom spíše uvažovat o snadnějším a lepším návratu funkcí proximální části paže než o větším distálním deficitu ruky.

V našem výzkumu se neprojevil statisticky významný rozdíl v průměrné svalové aktivitě na extenzorech ani flexorech antebrachií mezi hodnocenými skupinami. Tento výsledek by mohl potvrzovat výsledek výše uvedených studií, že není větší postižení akra oproti ramennímu pletenci z pohledu průměrné svalové aktivity u námi testovaných hemiparetiků.

5.2 Diskuze k vědecké otázce č. 2

Samotná průměrná svalová aktivita však nemá vypovídající hodnotu o synergiích na horní končetině, proto jsme v druhé vědecké otázce zpracovali korelace mezi jednotlivými svaly předloktí a proximálními svaly ramenního pletence na paretické horní končetině. Nicméně korelace značí pouze lineární vztahy mezi jednotlivými svaly, takže nepřítomnost korelací neznamená, že mezi svaly není vztah. Vztah mezi nimi může být funkční nebo nelineární, takovéto vztahy my však nemůžeme objektivizovat.

Statisticky významné vztahy vyšly pouze pro mm. extensores antebrachií avšak žádné u mm. flexores antebrachií. Mm. extensores antebrachií se nejčastěji pojily s m. pectoralis major v případech dosahu na VV, úchopu na MV, VV, VK a oddálení VV. Pouze v jediném případě byla zaznamenána korelace mezi mm. extensores antebrachií a m. infraspinatus během dosahu na MK.

Pokud bychom dali do souvislosti průměrnou svalovou aktivitu a korelace, pak zde jasně vychází *m. pectoralis major* jako hlavní sval odlišující hemiparetiky od kontrolní skupiny. *M. pectoralis major* jako vnitřní rotátor bychom si mohli pojit s extenční synergii, ve které se pojí elevace a protrakce ramenního pletence současně s addukcí a vnitřní rotací v rameni, jak uvádí Michaelsen a kolektiv (Michaelsen et al., 2001, p. 1882), ale také McCrea a kolektiv, přestože sledovali flekční synergii, popsali, že u pacientů se stereotypně objevovala abdukce s vnitřní rotací, která souvisela s nedostatečně generovanou silou primárních antagonistů v tomto případě *m. deltoideus pars anterior*. Kompenzačně tedy byly nabrány přídatné síly generované *m. deltoideus pars lateralis* a *m. pectoralis major*, aby bylo zajištěno dokončení úkolu (McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3003-3005).

Sukal a kolektiv hodnotili efekt míry abdukce na rozsah pohybu vzhledem k velikosti pracovního pole. Výsledky jim přinesli potvrzení, že čím větší míra aktivní abdukce, tím větší projev flekční synergie tedy současné flexi v lokti a logickém zmenšení pracovního prostoru převážně u hemiparetiků s těžkým deficitem. Důležitým poznatkem bylo, že i u pacientů s mírným postižením docházelo k projevu flekční synergie, pokud měli vykonat stejný úkol se zátěží, přestože během dosahu se tato synergie neprojevovala, nicméně synergistické postižení bylo přítomné (Sukal, Ellis, Dewald, 2007, pp. 220-222). V našem výzkumu se vztah *mm. extensores* spolu s *m. pectoralis major* projevil právě u předmětů s větší hmotností především při úkolu s velkým válcem napříč všemi fází pohybu, což by mohlo souviset s provokací vnitřní rotace kvůli obtížnosti úkolu, obdobně jako zátěž v abdukci vyvolávala flekční synergii. Nehodnotili jsme abdukční složku v ramenním pletenci ve vztahu k flexi v lokti při jednotlivých fázích pohybu z důvodu limitace měřených svalů, tato otázka tak zůstává otevřena pro další výzkum.

Převážně u hemiparetických pacientů po CMP s chronickým a těžkým deficitem horní končetiny se často hovoří o stereotypním pohybu, menší variabilitě a sníženém počtu využívaných synergií z důvodu abnormálních synergií (Levin, 1996, p. 281; McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3005; Latash, Anson, 2006, p. 1155). Nicméně některé kinematické studie popisují trajektorii pohybu horní končetinou hemiparetiků právě naopak více variabilní oproti neparetické horní končetině nebo zdravé kontrolní skupině (Michaelsen et al., 2001, p. 1881; Nowak, 2008, p. 1444).

Je možné, abychom považovali pohyb u hemiparetiků za stereotypní a zároveň trajektorie pohybu byla oproti zdravým probandům variabilnější? Latash uvádí, že nepravidelná trajektorie je důsledkem adaptivní strategie z důvodu ztráty řízení svalstva horní končetiny (Latash, 2008, pp. 345-346). Studie Sethi a kolektivu zpracovávala otázku variability pohybu u chronických hemiparetiků. Zaznamenaná zvýšená variabilita ve studiích se měří pomocí standartní odchylky nebo variačního koeficientu, které však znamenají pohybové chyby nebo velikost odchylky od centrálního bodu. Sethi a kolektiv souhlasí s názorem, že pacienti po CMP mají omezenou možnost izolovaných pohybů, což zapříčiňuje stereotypní pohyby neboli synergie. Provedli jak měření standartní odchylky, tak i variability časové struktury ramenního, loketního kloubu, zápěstí a proximálních interfalangeálních kloubů během dosahu a úchopu. Pacienti měli širší rozmezí standartních odchylek oproti zdravé skupině ale statisticky nevýznamné. Variabilita časové struktury horní končetiny byla u experimentální skupiny snižena jako potvrzení snížené schopnosti adaptability během pohybu - dosahu a úchopu (Sethi et al., 2013, pp. 134, 138). Reisman, Scholtz potvrzují sníženou variabilitu, říkají, že pacienti s rozsáhlým deficitem po CMP využívají méně synergistických kombinací, což se v klinice odráží méně flexibilními vzory kloubního spojení s následnou neschopností izolovaných pohybů (Reisman, Scholz, 2003, pp. 2522-2523).

Na druhou stranu však studie Schaefer a kolektivu hodnotila, jestli typ úchopu a cíl úkolu může ovlivnit dosah a úchop u hemiparetických pacientů s mírným až středním deficitem. Studie přinesla výsledek potvrzující zachovalou schopnost flexibilně měnit strategie během specifických dosahových a úchopových požadavků, tyto strategie se však lišily od intaktní skupiny (Schaefer et al., 2012, pp. 251-252). Otázka variability a flexibility pohybu tedy u hemiparetiků závisí na stupni postižení.

Nutno zvážit zda váha předmětu vyvolala vnitřní rotaci, nebo zda šlo o změnu strategie dosahu, úchopu a manipulace. U naší experimentální skupiny během dosahu byly korelace mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly rozděleny do dvou kategorií. U těžších předmětů (MV, VV) se mm. extensores pojily s m. pectoralis major, kdežto u malých lehkých předmětů (MK a P) byla korelace s m. infraspinatus staticky významná u MK a u P hladina statistické významnosti měla hodnotu $p=0,077$, což bychom mohli považovat za určitý trend. Během úchopu byly prokázány pouze korelace s m. pectoralis major u těžších předmětů (MV, VV, VK),

kdežto u drobných předmětů (MK, P) nebyly zaznamenány žádné statisticky významné korelace. Tyto výsledky bychom mohli považovat za potvrzení výše uvedené studie, kdy pacienti po CMP jsou schopni využití pro dosah a úchop různých strategií pohybu, ale stejně tak se mohlo jednat o projev extenční synergie provokované náročností během úkolu s velkými předměty. Důležitým prvkem při hodnocení hemiparetiků je jednak tíže postižení a také doba od vzniku CMP, jak vyplývá z uvedených studií. Naše experimentální skupina měla široký rozptyl doby od vzniku CMP a stupně postižení probandů, proto uvažujeme nad širšími možnostmi pozorovaných jevů.

Diskutovaným prvkem během dosahu u pacientů po CMP je kompenzační pohyb trupu. U zdravých jedinců během dosahu vymezeného 90% délky horní končetiny nedochází k ovlivnění trupem konečné trajektorie ruky. Při dosahu na tuto vzdálenost se účastní dvě synergie. Dosahová synergie zajišťuje přemístění ruky k objektu a sekundární synergie kompenzuje tento pohyb (Schneiberg et al., 2002, p. 150). Což by souhlasilo s Latashovou abundancí, kdy organismus využívá všechny proměnné, čímž zajišťuje stabilitu během úkolu (Latash, 2012b, p. 5). U pacientů po CMP dochází k náboru trupu jako důsledek kompenzace nedostatečného dosahu zapříčiněného abnormálními synergii (Cirstea, Levin, 2000, p. 950; Michaelsen et al., 2001, p. 1881; Cirstea, Pfito, Levin, 2003, p. 485; Robertson, Roby-Brami, 2011, p. 142; Kordelaar, Wegen, Kwakkel, 2012, p. 257). Pacienti využívají redundanci/abundanci pro dosažení cíle (Robertson, Roby-Brami, 2011, p. 142). Fenomén náboru trupu během dosahu jsme nemohli pomocí EMG záznamu přímo posoudit. Naše klinické pozorování se s tímto názorem však ztotožňuje. Tato otázka tedy zůstává otevřená pro další výzkum.

5.3 Diskuze k vědecké otázce č. 3

V třetí vědecké otázce jsme se zaměřili na porovnání míry korelací mezi experimentálním a kontrolním souborem, jelikož jsme si kladli otázku, zda statisticky významné korelace jsou oproti druhé skupině statisticky významně odlišné. Významné korelace u pacientů jsme zaznamenali převážně ve spojení mm. extensores antebrachii s m. pectoralis majora a ojediněle ve spojení s m. infraspinatus, kdežto statisticky

významné korelace u zdravé kontrolní skupiny byly prokázány mezi mm. extensores antebrachií a m. infraspinatus ale také u m. flexores antebrachií a m. deltoideus anterior (viz příl. 11, s. 109; příl. 13., s. 111). Pokud bychom zaměřili pozornost pouze na mm. extensores antebrachií je zajímavé, že u pacientů se tyto svaly pojily s vnitřními rotátory oproti zdravé skupině, kde vztah mm. extensores antebrachií měl převahu se zevními rotátory. Nicméně jsou skutečně tyto korelace významné rozdílné mezi pacienty a zdravou skupinou?

Během dosahu nebyly korelace významně rozdílné mezi pacienty a zdravou skupinou, přestože vztah mm. extensores antebrachií a m. pectoralis major během dosahu na VV u pacientů byl statisticky významný. Hodnota statistické významnosti při porovnání těchto korelací mezi pacienty a zdravou skupinou se pouze blížila hladině významnosti, měla hodnotu $p=0,1133$. Naopak statisticky významné korelace mm. extensores antebrachií a m. infraspinatus během dosahu na MK u obou skupin, jejichž rozdíl měl hodnotu statistické významnosti $p=0,9245$ blížící se jedné, značí, že mezi těmito korelacemi nebyl žádný rozdíl (viz příl. 12, s. 110). Během dosahu se tedy vztahy mm. extensores antebrachií s proximálními svaly nelišily mezi pacienty a zdravou skupinou, obdobně tomu bylo i u mm. flexores antebrachií.

Cheung a kolektiv získávali synergie paretické horní končetiny pacientů po CMP pomocí speciálního algoritmu z EMG záznamu a srovnávali je s neparetickou horní končetinou, u které předpokládali nezměněné synergie. U mírného a středního deficitu po CMP byly synergie horních končetin srovnatelné, třebaže vzory svalové aktivace byly různé. Nicméně kortikálně řízený postup pro aktivaci synergií po CMP byl oslaben. V případech vážného postižení po CMP byly pozorovány odlišené svalové synergie (Cheung et al., 2012, pp. 14654-14655).

Můžeme se opravdu domnívat, že neparetická horní končetina odpovídá motorickým projevem končetině u osob bez neurologické léze? Pacienti po CMP, vzhledem k výše uvedené fyziologii řízení horní končetiny, mohou mít deficit i na končetině souhlasné se stranou léze, která je běžně považovaná za intaktní, toto tvrzení podporuje například Nowak. Poškození stejnostranné končetiny s lézí mozku se nezdá být nepravděpodobné vzhledem k bilaterální organizaci primárních a dalších motorických oblastí mozku (Nowak, 2008, p. 1446). Kdy převážně proximální část horní končetiny získává bilaterální input (Mayer, Hlušík, 2004, p. 10; Nirkko et al., 2001, p. 832). Postižení ipsilaterální končetiny po CMP může být

zapříčiněno také poškozením transkalozního spojení, kdy CMP pravděpodobně změní inhibiční rovnováhu v motorickém systému kortexu s následným motorickým deficitem (Nowak, 2008, p. 1446).

Sainburg se ve svých studiích intenzivně zabývá tématem hemisféralní specializace (Sainburg, Kalakanis, 2000; Sainburg, 2002; Bagesteiro, Sainburg, 2002; Sainburg, Schaefer, 2004; Zhang et al., 2006; Shabbott, Sainburg, 2008), své výsledky potvrzuje při výzkumu pacientů s unilaterální lézí. Studie u pacientů po CMP demonstrují deficit ipsilaterální horní končetiny, vzhledem k hemisféralní lézi. Pacienti s poškozením pravé hemisféry mají deficit v přesném zaujetí pozice, zatímco při levostranné hemisféralní lézi se u pacientů projevuje zhoršená kontrola trajektorie. Snížení těchto funkcí brání kvalitnímu funkčnímu výkonu. Možný ipsilaterální deficit je ve srovnání s kontralaterálním mírný (Sainburg, Duff, 2006, pp. 311-313) přesto nezanedbatelný. V naší práci jsme nehodnotili neparetickou horní končetinu, proto otázka jejího deficitu zůstává otevřená pro budoucí výzkumy.

V dřívější studii Cheung se svými spolupracovníky hodnotili synergie u obou horních končetin hemiparetiků a také se zdravou kontrolní skupinou. Ani zde nebyl zaznamenán výrazný rozdíl v synergiích paretické a neparetické horní končetiny, přestože EMG záznam ukázal rozdíly mezi horními končetinami. Naopak byla potvrzena stálost synergií jak u končetin hemiparetiků, tak i ve vztahu k zdravé kontrolní skupině (Cheung, 2009, pp. 19565-19566).

Během úchopu se situace v naší studii změnila, staticky významné korelace mezi mm. extensores antebrachii a m. pectoralis major u MV, VV a VK u pacientů se i statisticky lišily mezi skupinami probandů. Na druhou stranu vztah mezi mm. extensores antebrachii a m. infraspinatus v této fázi pohybu u zdravé skupiny nebyl statisticky významně odlišný od hemiparetiků (viz tab. 10, s. 60). V následující fázi oddálení opět významný vztah mezi mm. extensores antebrachii a m. pectoralis major předmětu VV prokázal rozdíl mezi skupinami (viz tab. 10, s. 60). Ačkoliv byly statisticky významné korelace u předmětů MV, VV, VK mezi mm. flexores antebrachii a m. deltoideus pars anterior zdravé skupiny, tyto korelace se statisticky nelišily od pacientů po CMP (viz tab. 11, s. 61).

Můžeme tedy označit jako odlišující prvek hemiparetiků a zdravé skupiny m. pectoralis major ve vztahu k mm. extensores antebrachii zvláště při úchopu velkých předmětů MV, VV, VK a manipulaci s VV. Zatímco probandi ve zdravé skupině

preferovali využití zevní rotace v této situaci, pacienti předvedli patologickou vnitřní rotaci. Nutno ale poznamenat, že při zhodnocení průměrné svalové aktivity byla svalová aktivita m. pectoralis major hemiparetiků nižší oproti zdravé skupině. Tento jev by musel být podroben dalšímu studiu pro jeho zdůvodnění.

Proč právě během úchopu docházelo k patologickému projevu lze odvozovat od fyziologie motorického řízení horní končetiny. Dosah zajišťuje proximální svalstvo ramenního pletence (Lang et al., 2005, p. 134), kde řízení vychází bilaterálně z obou hemisfér (Nirkko et al., 2001, p. 832). Manipulační funkce ruky, tedy i úchop, vyžaduje specifické unilaterální řízení z kontralaterální hemisféry (Mayer, Hlušík, 2004, p. 10). Přestože dle Beebe a Lang není v akutním stádiu rozdíl mezi postižením proximální a distální části paže (Beebe, Lang, 2008, p. 2085), tak je nevyvratitelným faktem zvýšená náročnost fáze úchopu a oddálení oproti dosahu. Sukal, Ellis a Dewald (2007, p. 222) naznačují, že abnormální synergie jsou převážně zaznamenány u těžkých deficitů a u mírného postižení se nemusí projevit až v případě zvětšení náročnosti úkolu.

Dipietro a kolektiv uvádějí, že zvýšení projevu abnormálních synergií se pojí s obnovou vážně postižené funkce horní končetiny, během kompenzace nejsou abnormální synergie potlačeny spíše naopak navýšeny (Dipietro et al., 2007, p. 765). Podkladem tohoto jevu lze nalézt opět na základě motorického řízení, kdy při ztrátě kortikospinálního inputu ke svalstvu horní končetiny dochází k naboru reziduálních kmenových drah například vestibulospinální nebo retikulospinální dráhy. Tyto dráhy se široce větví a inervují více spinálních segmentů oproti pyramidové dráze, dochází tak během pohybu k aktivaci více svalových skupin (Dewald, Beer, 2001, p. 281, Miller Dewald, 2012, p. 1222). Schwerin a kolektiv souhlasí s tímto tvrzením. Jejich studie byla zaměřena na zhodnocení projevu extenční synergie v závislosti na zvýšené ipsilaterální projekci z nepostižené hemisféry k paretické končetině. Prokázali, že u vážného postižení vedla ztráta řízení kontralaterální hemisférou a následný zvýšený inputu z intaktní hemisféry k projevu extenční synergie, tedy k zvýšené aktivitě m. pectoralis major (Schwerin et al., 2008, p. 516, 517).

K projevu abnormálních synergiím a omezení izolovaných pohybů přispívá abnormálně zvýšené překrývání oblastí ramene a lokte v motorickém kortexu (Yao et al., 2009, p. 495). Během obnovy funkcí dochází ke konkurenční interakci, kdy aktivita proximálního svalstva zabírá větší místo v kortexu na úkor ruky

(Murphy, Corbett, 2009, p. 863; Mayer, Hlušík, 2004, p. 10; Hallett, 2005, pp. 18 a 20), co prohlubuje deficit horní končetiny.

5.4 Východiska pro praxi

Uvedené principy motorického řízení a patologie po CMP nás vede k otázce vhodné terapie horní končetiny u hemiparetiků. Na základě neurofyziologických studií Hlušík a Mayer navrhuji poupravit základní modely klinické rehabilitace. Základním kamenem nového přístupu by měl být odklon od zaměření terapie na ramenní pletenec, ale brzký intenzivní komplexní sensorický a motorický trénink ruky všemi dostupnými prostředky. Zdá se pravděpodobné, že vhodná aktivace ruky přispívá k funkční centraci a žádoucí aktivaci svalstva ramenního pletence. Nicméně uvádějí, že toto tvrzení je logické, ale vyžaduje potvrzení klinickými studiemi (Hlušík, Mayer, 2006, p. 38).

Tuto myšlenku by mohla potvrzovat studie Alexandra a Harrisona, kteří sledovali reflexní spojení mezi rukou/předloktím a ramenním pletencem. Pomocí povrchového EMG záznamu m. trapezius a m. serratus anterior, které považovali za důležité stabilizátory lopatky, sledovali reakci na perkutánní elektrostimulaci nervus (n.) ulnaris, n. medianus a n. radialis. Studie odhalila přítomnost facilitačního reflexu pro oba svaly během stimulace všech tří nervů. Nebyl rozdíl mezi tím, zda byl stimulován n. radialis simulující extenzi zápěstí nebo n. medianus suplující flexi zápěstí/prstů. Tento jev značí, že nezáleží na směru pohybu v závislosti na nutnosti stabilizace pletence. Existence tohoto reflexního spojení potvrzuje skutečnost, že aktivace svalstva ruky a předloktí aferentně facilituje aktivitu m. trapezius a m. serratus anterior, což je prospěšné pro zajištění stability pletence během pohybu ruky (Alexander, Harrison, 2003, pp. 280-282).

Hlušík a Mayer uvádějí několik důležitých bodů pro rehabilitaci ruky u pacientů po CMP vycházejících z neurofyziologie plasticity a kortikální reorganizace po CMP:

1. Terapie ruky by měla začít tak brzo, jak je to jen možné.
2. Terapie by měla zahrnovat rozlišování sensorických stimulů z oblasti ruky především z prstů s ohledem jak na pomalou, tak na rychlou adaptaci exteroceptivního a propioceptivního systému.

3. Terapie by měla zahrnovat opakované selektivní a pasivní pohyby, pohyby s dopomocí a aktivní pohyby segmentů ruky zvláště pak prstů.

4. Terapie by měla být zaměřena na komplexní činnosti tak brzo, jak jen je to možné.

5. Pokud zvážíme funkční stav mezi rukou a ramenem, tak by terapie neměla být zaměřena primárně na ramenní pletenec. Zvláště v počáteční fázi rehabilitace by se mělo vyhnout přemíře izolované aktivity ramenního pletence.

6. Brzká, intenzivní terapie ruky může přispět k prevenci spasticity a v některých případech zlepšit neglect nebo zabránit vývoji bolestivého ramene u pacientů po CMP.

7. Terapie by měla být podporovaná ne pouze rehabilitačním pracovníkem ale i ošetřujícím personálem, rodinnými příslušníky a samotným motivovaným, dobře instruovaným pacientem (Hlušík, Mayer, 2006, p. 38).

Přístup Hlušíka a Mayera nás informuje, jak postupovat u pacientů v akutní fázi. Nicméně stejně důležité je, jak pracovat s pacienty, u nichž se již objevila abnormální synergie. Odpověď nám možná poskytuje Michaelsen a kolektiv, kteří ve své studii prokázali, že omezení pohybu trupu vedlo k zvětšení rozsahu v rameni a lokti a zlepšila se jejich interkloubní koordinace. Vysvětlení tohoto jevu by mohlo být přínosné pro praxi. Limitace komponent synergie v tomto případě protrakce a elevace lopatky, které jsou součástí extenční synergie, pravděpodobně podporovalo návrat kombinace flexe v rameni a extenze v lokti. Jinými slovy jsou pacienti s touto limitací nuceni se vymanit z abnormální synergie, což však vyžaduje více zaměřené úsilí. Tento jev naznačuje že „normální“ vzory pohybové koordinace nemusí být zcela ztraceny u pacientů po CMP. Vhodná terapie může odkrýt a maximálně podpořit funkci (Michaelsen et al., 2001, p. 1882).

Nicméně pokud bychom chtěli určit nejefektivnější terapii horní končetiny pro pacienty po CMP, nelze jasně stanovit konkrétní metodiku. Lee a kolektiv ve své review o efektivnosti pohybové terapie na zlepšení funkcí horní končetiny u pacientů po CMP shrnovali randomizované kontrolované studie, jejich kritériím vyhovělo 13 studií. Autoři však nebyli schopni definitivně určit efekt konkrétní terapie z důvodu nedostatku důkazů. Tento výsledek však neznamená, že by rehabilitace neměla účinek. Autoři se shodují na závěru, že intenzivní pohybová terapie může být prospěšná a doporučují každodenní terapii pacientů po CMP (Lee et al., 2001, pp. 20, 28).

Úzce specifikovali review Pelton a kolektiv, kteří zhodnotili různé intervence pro zlepšení koordinace mezi dosahem a úchopem u pacientů po CMP. Hodnotícím kritériím vyhovělo pouze 7 studií. Prvním cíle review bylo poskytnout náhled na možné způsoby intervence pro zlepšení koordinace mezi dosahem a úchopem. Autoři objektivizovali tři základní kategorie možností terapie a to funkční trénink, robotickou terapii/trénink pomocí počítače a biofeedback/elektrostimulaci. Bohužel také zde autoři nemohli prokázat efektivnost různých terapií z důvodu nedostatečné kvality důkazů a nedostatku empirických dat. Nicméně lze potvrdit, že funkční terapie, elektrická stimulace a robotický/počítačový trénink může produkovat pozitivní změny v časoprostorovém propojení mezi rukou a paží (Pelton, Vlient, Hollands, 2011, 1250, 1256, 1259). S ohledem na výsledky těchto dvou review nemůžeme rozhodnout, která metodika má pro pacienty nejefektivnější přínos.

5.5 Limity práce

Hlavní limitem naší práce byl nízký počet probandů obou výzkumných souborů (12) a také nehomogenita experimentálního souboru z pohledu odlišností v typu léze probandů, doby od vzniku CMP a klinického stavu. Ne všichni probandi byli schopni dokončit požadovaný úkol, což ovlivnilo měřené výsledky hlavně ve fázi oddálení.

Druhým limitujícím faktorem byla zvolená výzkumná metoda a to povrchová elektromyografie. Přestože Safavya a kolektiv uvádí tuto metodu, jako nejlepší pro odhalení neurologického deficit, přiklání se k názoru obtížnosti hodnocení EMG signálu z důvodu variability mezi pacienty (Safavynia, Torres-Oviedo, Ting, 2011, p. 16). Kolářová a Krobot se shodují s výše uvedeným názorem o variabilitě pohybu, jako možnost ovlivnění variability předkládají limitaci úkolem. Zároveň však varují, že při hodnocení lidského pohybu není možná absolutní standardizace (Kolářová, Krobot, 2011, s. 48), což se shoduje s názorem Tresh a Jarc, kdy by se v takovém případě nehodnotilo řízení pohybu ale jeho limity (Tresch, Jarc, 2009, p. 605).

Samotná aplikace elektrod povrchové elektromyografie je zatížena chybou z důvodu subjektivního palpačního vjemu bříšek svalů zvláště u hemiparetiků,

přestože jsme dodržovali standardní postup a dle mapy doporučení umístění elektrod firmy Noraxon.

Jelikož pohyb je dynamická aktivita nelze plně zabránit vzniku pohybových artefaktů (Kolářová Krobot, 2011, s. 48). V našem případě vznik artefaktů byl limitován požitím fixačních pásek na předloktí, kde bylo nejrizikovější místo nejčastějšího vzniku artefaktů, i přes toto opatření jsme se tomuto problému plně nevyhnuli.

Synergie jsou součástí funkčního konceptu (Turvey, 2007, p. 659), kdežto statistické zhodnocení vztahů, korelací, mezi jednotlivými svaly zobrazuje pouze lineární vazby. Funkční propojení svalstva tak může zůstat neodhaleno.

ZÁVĚR

Objektivizace svalové aktivity a svalových synergií u pacientů po CMP má význam pro pochopení patologie pohybu ale i možných kompenzačních změn. Tomuto cíli napomáhá srovnání motorického projevu hemiparetiků s kontrolní skupinou.

Sledování průměrné svalové aktivity naznačilo trend, který ukázal rozdíl mezi skupinami u *m. trapezius pars descendens* a *m. pectoralis major* během všech fází pohybu všech pěti předmětů. U *m. pectoralis major* se prokázaly statisticky významné korelace s *mm. extensores antebrachii* během všech fází pohybu s velkým válcem, dále během úchopu malého a velkého válce na paretické horní končetině probandů experimentálního souboru. *M. trapezius* se dále dle statistického hodnocení nelišil. Následné statistické zhodnocení korelací mezi svalstvem předloktí a svaly ramenního pletence přineslo opět statistickou významnost u *m. pectoralis major* mezi výzkumnými soubory. Rozdílná strategie, jakou využívaly subjekty obou souborů, byla zjištěna u vztahu *mm. extensores antebrachii* a *m. pectoralis major* během úchopu velkých předmětů, kdy ve stejném případě zdraví probandi využívali korelace s *m. infraspinatus*.

Nelze však s jistotou tvrdit, zda se u hemiparetiků jednalo o projev abnormální extenční synergie (Michaelson et al., 2001, p. 1882) či zda tento jev byl kompenzační mechanismus dosahu spojující abdukci a vnitřní rotaci (McCrea, Eng, Hodgson, 2005, p. 3003-3005). Jelikož se rozdíl prokázal pouze u velkých předmětů, předpokládáme, že u hemiparetických probandů byla zachovaná schopnost měnit strategii pohybu vzhledem k úchopovému předmětu obdobně jako ve studii Schaefer a kolektivu (Schaefer et al., 2012, pp. 251-252). Důvodem zapojení *m. pectoralis major* u velkých předmětů zřejmě vycházelo z větších nároků kladených na provedení požadovaného úkolu.

REFERENČNÍ SEZNAM

ALEXANDER, C. M. HARRISON, P. J. 2003. Reflex connections from forearm and hand afferents to shoulder girdle muscles in human. *Experimental brain research* [online]. 2003, vol. 148, no. 3, pp. 277-282. [cit. 3. 5. 2013]. ISSN 1432-1106. Dostupné z: <<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00221-002-1256-9.pdf>>.

BAGESTEIRO, L. B. SAINBURG, R. L. 2002. Handedness: Dominant arm advantages in control of limb dynamics. *Journal of neurophysiology* [online]. 2002, vol. 88, no. 5, pp. 2408-2421. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/88/5/2408.full>>.

BEEBE, J. A. LANG, C. E. 2008. Absence of a proximal to distal gradient of motor deficits in the upper extremity early after stroke. *Clinical neurophysiology* [online]. 2008, vol. 119, no. 9, pp. 2074-2085. [cit. 18. 2. 2013]. ISSN 1388-2457. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2584445/>>.

BRUTHANS, J. 2010. Epidemiologie cévních mozkových příhod. *Kapitoly z kardiologie pro praktické lékaře* [online]. 2010, roč. 2, č. 4, ss. 133-136. [cit. 14. 3. 2013]. ISSN 1803-7542. Dostupné z: <http://www.teva.cz/files/pdf/kapitoly_4_2010.pdf#page=15>.

CANNING, C. G. ADA, L. ADAMS, R. O'DWYER, N. J. 2004. Loss of strength contributes more to physical disability after stroke than loss of dexterity. *Clinical rehabilitation* [online]. 2004, vol. 18, no. 3, pp. 300-308. [cit. 18. 2. 2013]. ISSN 02692155. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed?term=15137561>>.

CANNING, C. G. ADA, L. O'DWYER, N. J. 2000. Abnormal muscle activation characteristics associated with loss of dexterity after stroke. *Journal of the neurological sciences* [online]. 2000, vol. 176, no. 1, pp. 45-56. [cit. 18. 2. 2013]. ISSN 0022-510x. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022510X00003051>>.

CAVINA-PRATESI, C. MONACO, S. FATTORI, P. GALLETI, C. MCADAM, T. D. QUINLAN, D. J. GOODALE, M. A. CULHAM, J. C. 2010. Functional magnetic resonance imaging reveals the neural substrates of arm transport and grip formation in

reach-to-grasp action in human. *Journal of Neuroscience* [online]. 2010, vol. 30, no. 31, pp. 10306-10323. [cit. 3. 5. 2013]. ISSN 1529-2401. Dostupné z: <<http://www.jneurosci.org/content/30/31/10306.full>>.

CIRSTEA, M. C. LEVIN, M. F. 2000. Compensatory strategies for reaching in stroke. *Brain* [online]. 2000, vol. 123, no. 5, pp. 940-953. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 1460-2156. Dostupné z: <<http://brain.oxfordjournals.org/content/123/5/940.short>>.

CIRSTEA, M. C. MITNITSKI, A. B. FELDMAN, A. G. LEVIN, M. F. 2003. Interjoint coordination dynamics during reaching in stroke. *Experimental brain research* [online]. 2003, vol. 151, no. 3, pp. 289-300. [cit. 14. 3. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/health/docview/215133153/13C75C3A78B188BB3AE/20?accountid=16730>>.

CIRSTEA, M. C. PTITO, A. LEVIN, M. F. 2003. Arm reaching improvements with short-term practice depend on the severity of the motor deficit in stroke. *Experimental brain research* [online]. 2003, vol. 152, no. 4, pp. 476-488. [cit. 10. 2. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/health/docview/215131803/13A36DD64E26FB28A1/9?accountid=16730>>.

DEWALD, J. P. A. BEER, R. F. 2001. Abnormal joint torque patterns in the paretic upper limb of subjects with hemiparesis. *Muscle & Nerve* [online]. 2001, vol. 24, pp. 273-283. [cit. 10. 2. 2013]. ISSN 1097-4598. Dostupné z: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/1097-4598%28200102%2924:2%3C273::AID-MUS130%3E3.0.CO;2-Z/pdf>>.

DIEDRICHSEN, J. SHADMEHR, R. IVRY, R. B. 2010. The coordination of movement: optimal feedback control and beyond. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2010, vol. 14, no. 1, pp. 31-39. [cit. 16. 3. 2013]. ISSN 1364-6613. Dostupné z: <http://shadmehrlab.org/Reprints/TICS_10.pdf>.

DIPIETRO, L. KREBS, H. I. FASOLI, S. E. VOLPE, B. T. STEIN J. BEVER, C. HOGAN, N. 2007. Changing motor synergies in chronic stroke. *Journal of neurophysiology* [online]. 2007, vol. 98, no. 2, pp. 757-768. [cit. 15. 3. 2013]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/98/2/757.full.pdf+html>>.

FANG, Y. DALY, J. J. SUN, J. HVORAT, K. FREDRICKSON, E. PUNDIK, S. SAHGAL, V. YUE, G. H. 2009. Functional corticomuscular connection during

reaching is weakened following stroke. *Clinical Neurophysiology* [online]. 2009, vol. 120, no. 5, pp. 994-1002. [cit. 29. 4. 2012]. ISSN 1388-2457. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2680928/>>.

FEYDY, A. CARLIER, R. ROBY-BRAMI, A. BUSSEL, B. CAZALIS, F. PIEROT, L. BURNOD, Y. MAIER, M. A. 2002. Longitudinal study of motor recovery after stroke: recruitment and focusing of brain activation. *Stroke* [online]. 2002, vol. 33, no. 6, pp. 1610 – 1617. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 0039-2499. Dostupné z: <<http://stroke.ahajournals.org/content/33/6/1610.full>>.

GERA, G. FREITAS, S. M. S. F. LATASH, M. L. MONAHAN, K. SCHÖNER, G. SCHOLZ, J. P. 2010. Motor abundance contributes to resolving multiple kinematic task constraints. *Motor control* [online]. 2010, vol. 14, no. 1, pp. 83-115. [cit. 16. 3. 2013]. ISSN 1543-2696. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2843002/>>.

GORNIAK, S. L. ZATSIORSKY, V. M. LATASH, M. L. 2007. Hierarchies of synergies: an example of two-hand, multi-finger tasks. *Experimental Brain Research* [online]. 2007, vol. 179, no. 2, pp. 167-180. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1859846/>>.

GOWALD, C. DeBRUIN, H. BASMAJIAN, J. V. PLEWS, N. BURCEA, I. 1992. Agonist and antagonist activity during voluntary upper-limb movement in patients with stroke. *Physical Therapy* [online]. 1992, vol. 72, no. 9, pp. 624-633. [cit. 16. 2. 2013]. ISSN neuvedeno. Dostupné z: <<http://physther.net/content/72/9/624.short>>.

GRINCHTING, B. HEDINGER, V. KALUZNY, P. WIESENDANGER, M. 2000. Impaired proactive and reactive grip force control in chronic hemiparetic patients. *Clinical Neurophysiology* [online]. 2000, vol. 111, no. 9, pp. 1661-1671. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 1388-2457. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245700003552>>.

HALLETT, M. 2005. Neuroplasticity and rehabilitation. *Journal of rehabilitation research and development* [online]. 2005, vol. 42, no. 4, pp. 17-21. [cit. 11. 11. 2012]. ISSN 0748-7711. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/health/docview/215286106/13A36D491BB7559A975/9?accountid=16730>>.

- HEUER, H. SÜLZENBRÜCK, S. 2012. Mind and movement. *Psychological Research* [online]. 2012, vol. 76, no. 2, pp. 159-170. [cit. 25. 4. 2013]. ISSN 0340-0727. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/docview/921320563/13DA55783E9314EBAA4/92?accountid=16730>>.
- HLUŠŤÍK, P. MAYER, M. 2006. Paretic hand in stroke: from motor cortical plasticity research to rehabilitation. *Cognitive and behavioral neurology* [online]. 2006, vol. 19, no. 1, pp. 34 – 40. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 1543-3633. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16633017>>.
- HONEYCUTT, C. F. PERREAULT, E. J. 2012. Planning of ballistic movement following stroke: insights from the startle reflex. *PLoS ONE* [online]. 2012, vol. 7, no. 8, pp. 1-11. [cit. 18. 3. 2013]. ISSN 1932-6203. <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3431358/>>.
- HUNTER, S. M. CROME, P. 2002. Hand function and stroke. *Clinical gerontology* [online]. 2002, vol. 12, no. 1, pp. 68-81. [cit. 11. 2. 2013]. ISSN 0959-2598. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/health/docview/211573168/1398D00F92A43361A1C/145?accountid=16730>>.
- CHEUNG, V. C. K. PIRON, L. AGOSTINI, M. SILVONI, S. TUROLLA, A. BIZZI, E. 2009. Stability of muscle synergies for voluntary actions after cortical stroke in humans. *Proceeding of the national academy of sciences of the United States of America* [online]. 2009, vol. 106, no. 46, pp. 19563-19568. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2780765/?tool=pubmed>>.
- CHEUNG, V. C. K. TUROLLA, A. AGOSTINI, M. SILVONI, S. BENNIS, C. KASI, P. PAGANONI, S. BONATO, P. BIZZI, E. 2012. Muscle synergy patterns as physiological markers of motor cortical damage. *Proceeding of the national academy of sciences of the United States of America* [online]. 2012, vol. 109, no. 36, pp. 14652-14656. [cit. 15. 3. 2013]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: <<http://web.mit.edu/bcs/bizzilab/publications/cheung2012.pdf>>.
- ISSEN, L. A. KNILL, D. C. 2012. Decoupling eye and hand movement control: Visual short-term memory influences reach planning more than saccade planning. *Journal of*

- Vision* [online]. 2012, vol. 12, no. 1, pp. 1-13. [cit. 25. 4. 2013]. ISSN 1534-7362. Dostupné z: <<http://www.journalofvision.org/content/12/1/3.full.pdf+html>>.
- JANG, S. H. 2007. A review of motor recovery mechanismus in patients with stroke. *NeuroRehabilitation* [online]. 2007, vol. 22, no. 4, pp. 253-259. [cit. 29. 4. 2012]. ISSN 1878-6448. Dostupné z: <<http://iospress.metapress.com/content/kh37qr57766256k3/>>.
- KOKOTILO, K. J. ENG, J. J. BOYD, L. A. 2009. Reorganization of brain function during force production after stroke: A systematic review of the literature. *Journal of Neurologic Physical Therapy* [online]. 2009, vol. 33, no. 1, pp. 45-54. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 1557-1584. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3186814/?tool=pubmed>>.
- KOLÁŘOVÁ, B. KROBOT, A. 2011. *Povrchová elektromyografie v klinické rehabilitaci*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-244-2762-1.
- KORDELAAR, J. WEGEN, E. E. H. KWAKKEL, G. 2012. Unraveling the interaction between pathological upper limb synergies and compensatory trunk movements during reach-to-grasp after stroke: a cross-sectional study. *Experimental brain research* [online]. 2012, vol. 221, no. 3, pp. 251-262. [cit. 15. 3. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3412086/>>.
- KRÁLÍČEK, P. *Úvod do speciální neurofyzologie*. Praha: Galén, 2011. ISBN 978-80-7262-618-2.
- LANG, C. E. WAGNER, J. M. BASTIAN, A. J. HU, Q. EDWARDS, D. F. SAHRMANN, S. A. DROMERICK, W. A. 2005. Deficits in graps versus reach during acute hemiparesis. *Experimental brain research* [online]. 2005, vol. 166, no. 1, pp. 126-136. [cit. 18. 2. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/health/docview/215127561/1398D00F92A43361A1C/150?accountid=16730>>.
- LATASH, M. L. 2008. *Neurophysiological basis of movement*. 2nd ed. Champaing: Human Kinematics, 2008. ISBN 978-0-7360-6367-8.
- LATASH, M. L. 2010. Motor synergies and the equilibrium-point hypothesis. *Motor control* [online]. 2010, vol. 14, no. 3, pp. 294-322. [cit. 10. 2. 2013]. ISSN 1543-2696. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2921643/>>.

- LATASH, M. L. 2012a. Movements that are both variable and optimal. *Journal of human kinetics* [online]. 2012, vol. 34, no. 1, pp. 5-13. [cit. 16. 3. 2013]. ISSN 1899-7562. Dostupné z: <<http://www.degruyter.com/view/j/hukin.2012.34.issue-1/v10078-012-0058-9/v10078-012-0058-9.xml>>.
- LATASH, M. L. 2012b. The bliss of motor abundance. *Experimental brain research* [online]. 2012, vol. 217, no. 1, pp. 1-5. [cit. 16. 3. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3532046/pdf/nihms365577.pdf>>.
- LATASH, M. L. ANSON, G. J. 2006. Synergies in health and disease: relations to adaptive changes in motor coordination. *Physical Therapy* [online]. 2006, vol. 86, no. 8, pp. 1151-1160. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN neuvedeno. Dostupné z: <<http://www.phyther.org/content/86/8/1151.short>>.
- LATASH, M. L. KRISHNAMOORTHY, V. SCHOLZ, J. P. ZATSIORSKY, V. M. 2005. Postural synergies and their development. *Neural Plasticity* [online]. 2005, vol. 12, no. 2-3, pp. 119 – 130. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 2090-5904. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2565460/>>.
- LATASH, M. L. SCHOLZ, J. P. SCHÖNER, G. 2007. Toward a new theory of motor synergies. *Motor Control* [online]. 2007, vol. 11, no. 3, pp. 276-308. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 1543-2696. Dostupné z: <<http://www.dsnv.univr.it/documenti/Seminario/documenti/documenti596036.pdf>>.
- LEE, J. H. SNELS, I. A. K. BECKERMAN, H. LANKHORST, G. 2001. Exercise therapy for arm function in stroke patients: a systematic review of randomized controlled trials. *Clinical Rehabilitation* [online]. 2001, vol. 15, no. 1, pp. 20-31. [cit. 29. 3. 2013]. ISSN 0269-2155. Dostupné z: <<http://www.im-able.com/sites/default/files/Exercise%20therapy%20for%20arm%20function%20-%20Paper.pdf>>.
- LEVIN, M. F. 1996. Interjoint coordination during pointing movements is disrupted in spastic hemiparesis. *Brain* [online]. 1996, vol. 119, no. 1, pp. 281-293. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0006-8950. Dostupné z: <<http://brain.oxfordjournals.org/content/119/1/281.short>>.
- MAYER, M. HLUŠTÍK, P. 2004. Ruka u hemiparetického pacienta. Neurofyziolgie, patofyziolgie, rehabilitace. *Rehabilitácia*, 2004, roč. 41, č. 1, ss. 9-13. ISSN 0375-0922.

- MCCREA, P. H. ENG, J. J. HODGSON, A. J. 2002. Biomechanics of reaching: clinical implications for individuals with acquired brain injury. *Disability and rehabilitation* [online]. 2002, vol. 24, no. 10, pp. 534 – 541. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 0963-8288. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12171643>>.
- MCCREA, P. H. ENG, J. J. HODGSON, A. J. 2005. Saturated muscle activation contributes to compensatory reaching strategies after stroke. *Journal of neurophysiology* [online]. 2005, vol. 94, no. 5, pp. 2999-3008. [cit. 10. 2. 2013]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/94/5/2999.full.pdf+html>>.
- MICERA, S. CARPANETO, J. POSTERARO, F. CENCIOTTI, L. POPOVIC, M. DARIO, P. 2005. Characterization of upper arm synergies during reaching task in able-bodied and hemiparetic subject. *Clinical biomechanics* [online]. 2005, vol. 20, no. 9, pp. 939-946. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0268-0033. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16061318>>.
- MICHAELSEN, S. JACOBS, S. ROBY-BRAMI, A. LEVIN, M. F. 2004. Compensation for distal impairments of grasping in adults with hemiparesis. *Experimental brain research* [online]. 2004, vol. 157, no. 2, pp. 162-173. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.springerlink.com/content/673pcggcq389nxyp/>>.
- MICHAELSEN, S. M. LUTA, A. ROBY-BRAMI, A. LEVIN, M. F. 2001. Effect of trunk restraint on the recovery of reaching movements in hemiparetic patients. *Stroke* [online]. 2001, vol. 32, no. 8, pp. 1875-1883. [cit. 11. 2. 2013]. ISSN 0039-2499. Dostupné z: <<http://stroke.ahajournals.org/content/32/8/1875.full.pdf+html>>.
- MICHAELSEN, S. M. MAGDALON, E. C. LEVIN, M. F. 2009. Grip aperture scaling to object size in chronic stroke. *Motor Control* [online]. 2009, vol. 13, no. 2, pp. 197-217. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 1543-2696. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19454780>>.
- MILLER, L. C. DEWALD, J. P. A. 2012. Involuntary paretic wrist/finger flexion forces and EMG increase with shoulder abduction load in individuals with chronic stroke. *Clinical Neurophysiology* [online]. 2012, vol. 123, no. 6, pp. 1216-1225. [cit. 3. 5. 2013]. ISSN 1388-2457. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1388245712000466>>.

- MUELLBACHER, W. RICHARDS, C. ZIEMANN, U. WITTENBERG, G. WELTZ, D. BOROOJERDI, B. COHEN, L. HALLETT, M. 2002. Improving hand function in chronic stroke. *Archives of neurology* [online]. 2002, vol. 59, no. 8. pp. 1278-1282. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0003-9942. Dostupné z: <<http://archneur.ama-assn.org/cgi/reprint/59/8/1278>>.
- MURPHY, T. H. CORBETT, D. 2009. Plasticity during stroke recovery: from synapse to behaviour. *Nature reviews neuroscience* [online]. 2009, vol. 10, no. 12, pp. 861-872. [cit. 10. 10. 2012]. ISSN 1471-003x. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/health/docview/224995152/13A36C3FBA32AF7A8D0/15?accountid=16730>>.
- NIRKKO, A. C. OZDOBA, C. REDMOND, S. M. BÜRKI, M. SCHROTH, G. HESS, C. W. WIESENDANGER, M. 2001. Different ipsilateral representations for distal and proximal movements in the sensorimotor cortex: activation and deactivation patterns. *NeuroImage* [online]. 2001, vol. 13, no. 5, pp. 825 – 835. [cit. 2012-04-10]. ISSN 1053-8119. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11304079>>.
- NOWAK, D. A. 2008. The impact of stroke on performance of grasping: usefulness of kinetic and kinematic motion analysis. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* [online]. 2008, vol. 32, no. 8, pp. 1439-1450. [cit. 29. 4. 2012]. ISSN 0149-7634. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18582943>>.
- NOWAK, D. A. HERMSDÖRFER, J. TOPKA, H. 2003. Deficits of predictive grip force control during object manipulation in acute stroke. *Journal of neurology* [online]. 2003, vol. 250, no. 7, pp. 850-860. [cit. 15. 4. 2013]. ISSN 0340-5354. Dostupné z: <<http://search.proquest.com/health/docview/218131940/13C9A58408CCF5A9B9/24?accountid=16730>>.
- NUDO, R. J. 2003. Adaptive plasticity in motor cortex: implications for rehabilitation after brain injury. *Journal of rehabilitation medicine* [online]. 2003, vol. 35, no. 0, pp. 7-10. [cit. 29. 10. 2012]. ISSN 1650-1977. Dostupné z: <www.medicaljournals.se/jrm/content/download.php?doi=10.1080/16501960310010070>.
- NUDO, R. J. 2006. Plasticity. *NeuroRx: The journal of the American society for experimental neurotherapeutics* [online]. 2006, vol. 3, no. 4, pp. 420-427. [cit. 29. 10. 2012]. ISSN 1545-5343. Dostupné z:

- RODOVÁ, D. MAYER, M. JANURA, M. 2001. Současné možnosti využití povrchové elektromyografie. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2001, roč. 8, č. 4, ss. 173-177. ISSN: 1211-2658.
- ROSSINI, P. M. CALAUTTI, C. PAURI, F. BARON J.-C. 2003. Post-stroke plastic reorganisation in the adult brain. *The Lancet Neurology* [online]. 2003, vol. 2, no. 8, pp. 493-502. [cit. 4. 3. 2013]. ISSN 1474-4422. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S147444220300485X>>.
- RUEDA, F. M. MONTERO, F. M. R. HEREDIA TORRES, M. P. DIEGO, I. M. A. SÁNCHEZ, A. M. PAGE, J. C. M. 2012. Movement analysis of upper extremity hemiparesis in patients with cerebrovascular disease: a pilot study. *Neurología* [online]. 2012, vol. 27, no. 6, pp. 343-347. [cit. 2. 5. 2013]. ISSN neuvedeno. Dostupné z: <<http://www.elsevier.es/en/linksolver/ft/pii/S0213-4853%2812%2900013-8?s=tr&ty=806720>>.
- SAFAVYNIA, S. A. TORRES-OVIEDO, G. TING, L. H. 2011. Muscle synergies: Implications for clinical evaluation and rehabilitation of movement. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation* [online]. 2011, vol. 17, no. 1, pp. 16-24. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 1082-0744. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3143193/>>.
- SAINBURG, R. L. 2002. Evidence for a dynamic-dominance hypothesis of handedness. *Experimental brain research* [online]. 2002, vol. 142, no. 2, pp. 241-258. [cit. 10. 10. 2012]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11807578>>.
- SAINBURG, R. L. DUFF, S. V. 2006. Does motor lateralization have implications for stroke rehabilitation?. *Journal of rehabilitation research and development* [online]. 2006, vol. 43, no. 3, pp. 311-322. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0748-7711. Dostupné z: <<http://www.rehab.research.va.gov/jour/06/43/3/pdf/sainburg.pdf>>.
- SAINBURG, R. L. KALAKANIS, D. 2000. Differences in control of limb dynamics during dominant and nondominant arm reaching. *Journal of neurophysiology* [online]. 2000, vol. 83, no. 5, pp. 2261-2275. [cit. 10. 10. 2012]. ISSN 1522-1598. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/83/5/2661.full>>.
- SAINBURG, R. L. SCHAEFER, S. Y. 2004. Interlimb differences in control of movement extent. *Journal of neurophysiology* [online]. 2004, vol. 92, no. 3,

pp. 1374-1383. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/92/3/1374.full>>.

SANGOLE, A. P. LEVIN, M. F. 2007. A new perspective in the understanding of hand dysfunction following neurological injury. *Topics in stroke rehabilitation* [online]. 2007, vol. 14, no. 3, pp. 80-94. [cit. 29. 4. 2012]. ISSN 1074-9357. Dostupné z: <<http://thomasland.metapress.com/content/rp8341v68433p623/>>.

SCOTT, S. H. 2000. Role of motor cortex in coordinating multi-joint movements: Is it time for a new paradigm?. *Canadian journal of physiology and pharmacology* [online]. 2000, vol. 78, no. 11, pp. 923 – 933. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 0008-4212. Dostupné z: <http://limb.biomed.queensu.ca/publications/role_of_motor_cortex_in_coordinating_multi_joint.pdf>.

SEO, N. J. RYMER, W. Z. KAMPER, D. G. 2009. Delay in grip initiation and termination in persons with stroke: Effects of arm support and active muscle stretch exercise. *Journal of neurophysiology* [online]. 2009, vol. 101, no. 6, pp. 3108-3115. [cit. 29. 4. 2012]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/101/6/3108.full>>.

SETHI, A. PATTERSON, T. MCGUIRK, T. PATTEN, C. RICHARDS, L. G. STERGIOU, N. 2013. Temporal structure of variability decreases in upper extremity movements post stroke. *Clinical biomechanics* [online]. 2013, vol. 28, no. 2, pp. 134-139. [cit. 30. 4. 2013]. ISSN 0268-0033. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268003312002628>>.

SHABBOTT, B. A. SAINBURG, R. L. 2008. Differentiating between two models of motor lateralization. *Journal of neurophysiology* [online]. 2008, vol. 100, no. 2, pp. 565-575. [cit. 2012-10-10]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2525729/>>.

SCHAEFER, S. Y. DeJONG, S. L. CHERRY, K. M. LANG, C. E. 2012. Grip type and task goal modify reach-to-grasp performance in post-stroke hemiparesis. *Motor Control* [online]. 2012, vol. 16, no. 2, pp. 245-264. [cit. 27. 4. 2013]. ISSN 1543-2696. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/pmc3358536/>>.

SCHNEIBERG, S. SVEISTRUP, H. MCFADYEN, B. MCKINLEY, P. LEVIN, M. F. 2002. The development of coordination for reach-to-grasp movement in children.

Experimental brain research [online]. 2002, vol. 146, no. 2, pp. 142-154. [cit. 10. 4. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs00221-002-1156-z.pdf>>.

SCHWERIN, S. DEWALD, J. P. A. HAZTL, M. JOVANOVIČ, S. NICKEAS, M. MACKINNON, C. 2008. Ipsilateral versus contralateral cortical motor projections to a shoulder adductor in chronic hemiparetic stroke: implications for the expression of arm synergies. *Experimental brain research* [online]. 2008, vol. 185, no. 3, pp. 509–519. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2831614/?tool=pubmed>>.

SMALL, S. L. HLUSTIK, P. NOLL, D. C. GENOVESE, C. SOLODKIN, A. 2002. Cerebellar hemispheric activation ipsilateral to the paretic hand correlates with functional recovery after stroke. *Brain* [online]. 2002, vol. 125, no. 7, pp. 1544–1557. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 1460-2156. Dostupné z: <<http://brain.oxfordjournals.org/content/125/7/1544.full>>.

SPORNS, O. EDELMAN, G. M. 1993. Solving Bernstein's problem: A proposal for the development of coordinated movement by selection. *Child Development* [online]. 1993, vol. 64, no. 4, pp. 960-981. [cit. 6. 1. 2013]. ISSN 0009-3920. Dostupné z: <<http://e.guigon.free.fr/rsc/article/SpornsEdelman93.pdf>>.

STAVRIC, V. A. MCNAIR, P. J. 2012 Optimizing muscle power after stroke: a cross-sectional study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* [online]. 2012, vol. 9, no. 1, pp. 67-74. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 1743-0003. Dostupné z: <<http://www.jneuroengrehab.com/content/9/1/67>>.

SUKAL, T. M. ELLIS, M. D. DEWALD, P. A. 2007. Shoulder abduction-induced reductions in reaching work area following hemiparetic stroke: neuroscientific implications. *Experimental brain research* [online]. 2007, vol. 183, no. 2, pp. 215-223. [cit. 27. 4. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2827935/>>.

TAKEUCHI, N. IZUMI S.-I. 2012. Maladaptive plasticity for motor recovery after stroke: mechanisms and approaches. *Neural plasticity* [online]. 2012, vol. 2012, pp. 1-9. [cit. 2012-10-29]. ISSN 2090-5904. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3391905/pdf/NP2012-359728.pdf>>.

TING, L. H. MCKAY, L. J. 2007 Neuromechanics of muscle synergies for posture and movement. *Current opinion in neurobiology* [online]. 2007, vol. 17, no. 6,

pp. 622-628. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0959-4388. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18304801>>.

TRESCH, M. C. JARC, A. 2009. The case for and against muscle synergies. *Current Opinion in Neurobiology* [online]. 2009, vol. 19, no. 6, pp. 601-607. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0959-4388. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2818278/>>.

TURVEY, M. T. 2007. Action and perception at the level of synergies. *Human movement science* [online]. 2007, vol. 26, no. 4, pp. 657-697. [cit. 6. 1. 2013]. ISSN 01679457. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167945707000292>>.

WAGNER, J. M. DROMERICK, A. W. SAHRMANN, S. A. LANG, C. E. 2007. Upper extremity muscle activation during recovery of reaching in subjects with post-stroke hemiparesis. *Clinical neurophysiology* [online]. 2007, vol. 118, no. 1, pp. 164-176. [cit. 14. 3. 2013]. ISSN 1388-2457. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1868433/>>.

WEISENDANGER, M. SERRIEN, D. J. 2001. Toward a physiological understanding of human dexterity. *Physiology* [online]. 2001, vol. 16, no. 5, pp. 228-233. [cit. 6. 1. 2013]. ISSN neuvedeno. Dostupné z: <http://physiologyonline.physiology.org/content/16/5/228.full.pdf+html>>.

YANG, N. ZHANG, M. HUANG, Ch. JIN, D. 2002. Synergic analysis of upper limb target-reaching movements. *Journal of biomechanics* [online]. 2002, vol. 35, no. 6, pp. 739-746. [cit. 6. 1. 2013]. ISSN 0021-9290. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021929002000180#>>.

YAO, J. CHEN, A. CARMONA, C. DEWALD, J. P. A. 2009. Cortical overlap of joint representations contributes to loss of independent joint control following stroke. *NeuroImage* [online]. 2009, vol. 45, no. 2, pp. 490-499. [cit. 3. 5. 2013]. ISSN 1095-9572. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811908012639>>.

ZHANG, W. SAINBURG, R. L. ZATSIORSKY, V. M. LATASH, M. L. 2006. Hand dominance and multi-finger synergies. *Neuroscience letters* [online]. 2006, vol. 409, no. 3, pp. 200-204. [cit. 10. 2. 2012]. ISSN 0304-3940. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1752208/>>.

SEZNAM ZKRATEK

ADL	activity of daily living (běžné každodenní aktivity)
cm	centimetr
CNS	centrální nervový systém
CMP	cévní mozková příhoda
DA	musculus deltoideus pars anterior
DOF	degree of freedom (stupně volnosti)
EA	musculi extensores antebrachií
EEG	elektroencefalografie
EMG	elektromyografie
FA	musculi flexores antebrachií
INF	musculus infraspinatus
kg	kilogram
LD	musculus latissimus dorsi
l. dx.	lateris dextri (pravý)
l. sin.	lateris sinistri (levý)
m.	musculus
mm.	musculi
M1	primární motorická oblast
MK	malá koule
ms	milisekunda
MV	malý válec
MVIC	maximální volní izometrická kontrakce
n.	nervus
p	hladina statistické významnosti
P	pero
PM	musculus pectoralis major
SA	musculus serratus anterior
TD	musculus trapezius pars descendens
VV	velký válec
VK	velká koule

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Zobrazení průměrné svalové aktivity TD a PM během dosahu	45
Graf 2 Zobrazení průměrné svalové aktivity TD a PM během úchopu	47
Graf 3 Zobrazení průměrné svalové aktivity TD a PM během oddálení.....	48
Graf 4 Zobrazení korelací proximálních svalů vůči mm. extensores antebrachii paretické horní končetiny během dosahu.....	51
Graf 5 Zobrazení korelací proximálních svalů vůči mm. extensores antebrachii paretické horní končetiny během úchopu.....	53
Graf 6 Zobrazení korelací proximálních svalů vůči mm. extensores antebrachii paretické horní končetiny během oddálení.....	55

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Hodnoty statistické významnosti z T-testu během dosahu.....	45
Tab. 2	Hodnoty statistické významnosti z T-testu během úchopu.....	46
Tab. 3	Hodnoty statistické významnosti z T-testu během oddálení.....	48
Tab. 4	Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly během dosahu.....	50
Tab. 5	Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly během úchopu.....	52
Tab. 6	Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly během oddálení.....	54
Tab. 7	Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly během dosahu.....	56
Tab. 8	Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly během úchopu.....	57
Tab. 9	Hodnoty korelačních koeficientů a statistické významnosti mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly během oddálení.....	58
Tab. 10	Hodnoty statisticky významných korelačních koeficientů mezi EA a proximálním svalstvem během jednotlivých fází úkolu všech předmětů u obou výzkumných souborů.....	60
Tab. 11	Hodnoty statisticky významných korelačních koeficientů mezi FA a proximálním svalstvem během jednotlivých fází úkolu všech předmětů u obou výzkumných souborů.....	61

SEZNAM PŘÍLOH

Příl. 1	Charakteristika experimentálního souboru.....	98
Příl. 2	Vyšetření spasticity a taktilního čítí.....	99
Příl. 3	Charakteristika kontrolního souboru.....	100
Příl. 4	Informovaný souhlas.....	101-102
Příl. 5	Ashworthova škála spasticity.....	103
Příl. 6	Využité předměty pro výzkum.....	104
Příl. 7	Příklady fáze dosahu u jednotlivých předmětů	105
Příl. 8	Souhrnné zobrazení svalové aktivity všech svalů během dosahu.....	106
Příl. 9	Souhrnné zobrazení svalové aktivity všech svalů během úchopu.....	107
Příl. 10	Souhrnné zobrazení svalové aktivity všech svalů během oddálení.....	108
Příl. 11	Tabulky hodnot statistické významnosti u korelací mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly.....	109
Příl. 12	Tabulka hodnot statistické významnosti rozdílu mezi výzkumnými soubory u statisticky významných korelací mm. extensores antebrachií a proximálních svalů.....	110
Příl. 13	Tabulky hodnot statistické významnosti u korelací mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly.....	111

PŘÍLOHY

Příloha 1 Charakteristika experimentálního souboru

Tabulka: charakteristika experimentálního souboru

Experimentální soubor	pohlaví	věk	výška (cm)	váha (kg)	doba od vzniku po měření (dny)	typ CMP	strana parézy	dominantní HK
proband 1	Ž	44	175	60	15	I - ACI	P	P
proband 2	Ž	31	175	58	15	I - ACP, BG	P	P
proband 3	M	41	177	87	18	H	P	P
proband 4	M	65	172	100	21	I - pontu	P	P
proband 5	M	55	180	70	22	I - ACM	P	P
proband 6	M	51	175	55	23	I - BG	P	P
proband 7	M	63	184	84	25	I - ACM	P	P
proband 8	M	41	173	65	27	I - ACM	P	P
proband 9	M	41	175	85	55	H	P	P
proband 10	M	57	180	98	217 (7 měsíců)	I - ACM	P	P
proband 11	M	52	185	87	246 (8 měsíců)	I - ACM	P	P
proband 12	Ž	76	152	63	307 (10 měsíců)	I - ACM	P	P

Legenda: Ž – žena, M – muž, I – ischemie, H - hemorhagie, ACI – arteria carotis interna, ACP – arteria cerebrii posterior, ACM – arteria cerebrii media, BG – bazální ganglia, P - pravá

Příloha 2 Vyšetření spasticity a taktilního čítí

Tabulka: zhodnocení spasticity a taktilního čítí u experimentální skupiny

Experimentální soubor	spasticita			taktilní čítí (snížení v %)
	PM	BB	FA	
proband 1	0	0	1	25%
proband 2	0	0	0	10%
proband 3	0	0	1	bez deficitu
proband 4	0	0	0	bez deficitu
proband 5	1	0	0	50%
proband 6	0	0	0	bez deficitu
proband 7	1	0	0	bez deficitu
proband 8	1	0	0	60%
proband 9	0	0	0	bez deficitu
proband 10	2	2	3	60%
proband 11	2	2	3	5%
proband 12	2	2	2	bez deficitu

Legenda: PM – m. pectoralis major, BB – m. biceps brachií, FA – mm. flexores antebrachii

Příloha 3 Charakteristika kontrolního souboru

Tabulka: charakteristika kontrolního souboru

Kontrolní skupina	pohlaví	věk	výška (cm)	váha (kg)	dominantní HK
proband 1	M	48	175	63	P
proband 2	Ž	49	170	68	P
proband 3	Ž	49	168	62	P
proband 4	M	50	172	76	P
proband 5	Ž	52	168	84	P
proband 6	Ž	52	172	98	P
proband 7	M	53	188	85	P
proband 8	Ž	53	153	68	P
proband 9	Ž	54	160	85	P
proband 10	Ž	57	164	63	P
proband 11	M	58	182	89	P
proband 12	M	66	168	75	P

Legenda: Ž - žena, M – muž, P -pravá

Informovaný souhlas

**Výzkumný projekt: Objektivizace svalových synergií ideomotorických funkcí
horní končetiny**

**Diplomová práce: SEMG objektivizace disto-proximálních a proximo-distálních
svalových synergií**

Období realizace: březen 2012 – únor 2013

**Řešitelé projektu: Mgr. Petra Bastlová, Ph.D., MUDr. Alois Krobot, Ph.D.,
Bc. Lucia Fábryová, Bc. Ivana Frgalová, Bc. Barbora Frgalová**

Vážená paní, vážený pane,

Obracíme se na Vás se žádostí o spolupráci na výzkumném projektu a diplomové práci, jejichž cílem je zjistit, jakým způsobem jsou zapojovány svaly horní končetiny při uchopování a manipulaci s různými předměty a při psaní. K simulaci různých typů úchopů bude použito koule, válce a tužky a psaní na dotykové obrazovce počítače typu tablet. Pro hodnocení svalové aktivity bude použita povrchová elektromyografie, což je neinvazivní, nebolestivá výzkumná metoda spočívající v nalepení samolepicích elektrod na kůži a snímání elektrického potenciálu svalů pomocí počítače. Z účasti na projektu a diplomové práci pro Vás vyplývají tyto výhody či rizika: zjistíte, jak pracují Vaše svaly horní končetiny ve výše uvedených situacích. Rizikem je zřídka se vyskytující kožní reakce po odlepení elektrody (jako u lékařské náplasti), jejíž výskyt se snažíme maximálně eliminovat důkladným očištěním kůže před nalepením elektrody, aby nedošlo k interakci s potem a dále šetrným odstraňováním elektrod.

Pokud s účastí na projektu a diplomové práci souhlasíte, připojte podpis, kterým vyslovujete souhlas s níže uvedeným prohlášením.

Prohlášení

Prohlašuji, že souhlasím s účastí na výše uvedeném projektu a diplomové práci. Řešitel/ka projektu mne informoval/a o podstatě výzkumu a seznámil/a mne s cíli a metodami a postupy, které budou při výzkumu používány, podobně jako s výhodami a riziky, které pro mne z účasti na projektu a diplomové práci vyplývají. Souhlasím

s tím, že všechny získané údaje budou použity jen pro účely výzkumu a že výsledky výzkumu mohou být anonymně publikovány.

Měl/a jsem možnost vše si řádně, v klidu a v dostatečně poskytnutém čase zvážit, měl/a jsem možnost se řešitele/ky zeptat na vše, co jsem považoval/a za pro mne podstatné a potřebné vědět. Na tyto mé dotazy jsem dostal/a jasnou a srozumitelnou odpověď. Jsem informován/a, že mám možnost kdykoliv od spolupráce na projektu či diplomové práci odstoupit, a to i bez udání důvodu.

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

Jméno, příjmení a podpis řešitele projektu, který podal informaci účastníkovi v projektu:

.....

V..... dne:

Jméno, příjmení a podpis účastníka v projektu (zákonného zástupce):

.....

V..... dne:

Příloha 5 Ashworthova škála spasticity

Tabulka: Ashworthova škála spasticity (upraveno dle Opavský, 2003, s. 40)

Stupeň spasticity	Popis stupně
0	bez zvýšeného svalového tonu
1	mírné zvýšení svalového tonu, s náznakem odporu proti pohybu
2	znatelnější zvýšení svalového tonu, končetinou lze pohybovat celkem snadno
3	zřetelné zvýšení svalového tonu, pasivní pohyb s obtížemi
4	končetina zůstává ztuhle ve flexi nebo extenzi

Příloha 6 Využité předměty pro výzkum

Obrázek: využití předměty během měření



(Foto vlastní)

Příloha 7 Příklady fáze dosahu u jednotlivých předmětů

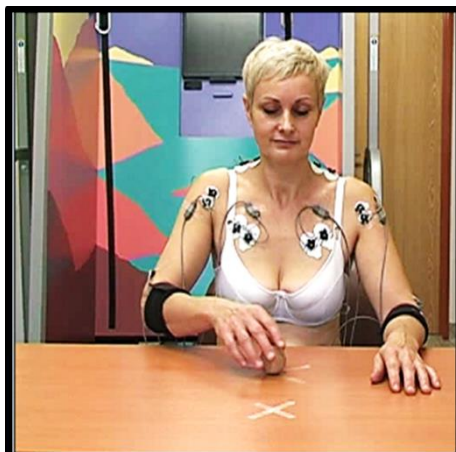
Obr. 1 Dosah MV



Obr. 2 Dosah VV



Obr. 3 Dosah MK



Obr. 4 Dosah VK



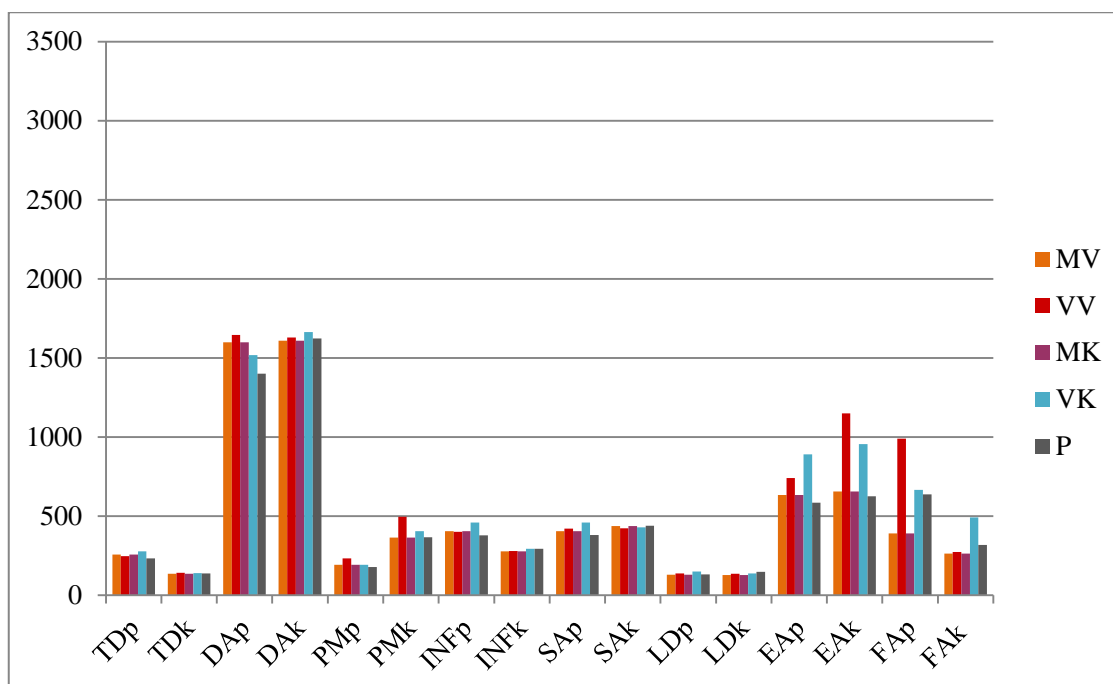
Obr. 5 Dosah P



(Fota vlastní se souhlasem probandky s publikací)

Příloha 8 Souhrnné zobrazení svalové aktivity všech svalů během dosahu

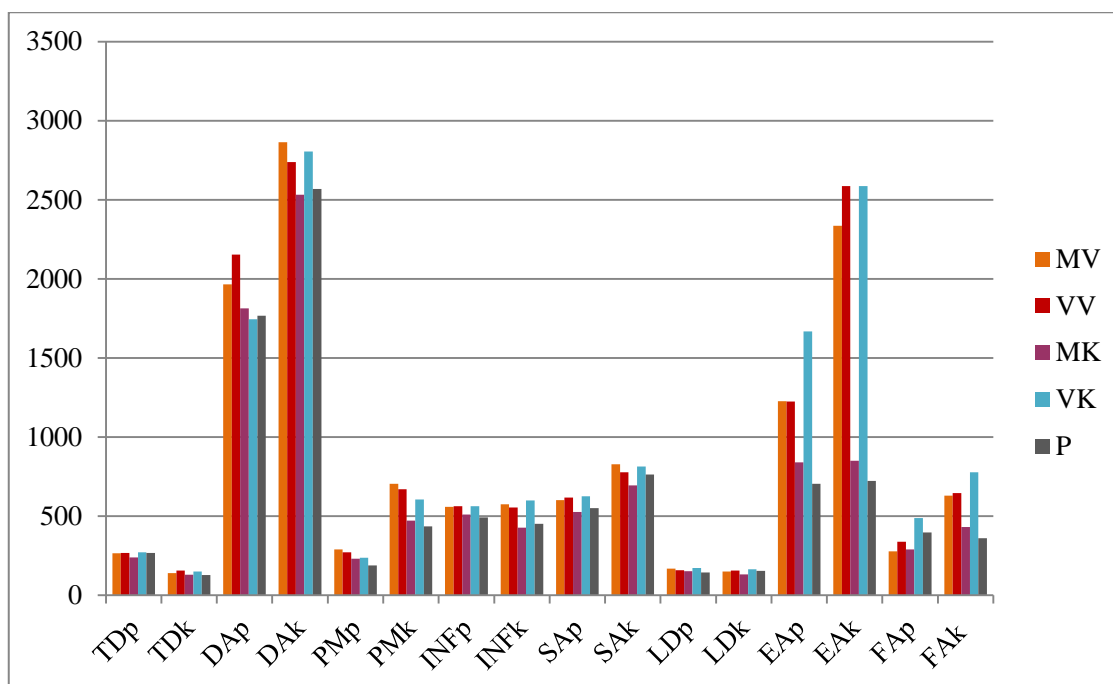
Graf: zobrazení průměrné svalové aktivity všech svalů během dosahu



Legenda: TDp – m. trapezius pars descendens pacienti, TDk – m. trapezius pars descendens kontrolní skupina, DAp – m. deltoideus pars anterior pacienti, DAK – m. deltoideus pars anterior kontrolní skupina, PMp – m. pectoralis major pacienti, PMk – m. pectoralis major kontrolní skupina, INFp – m. infraspinatus pacienti, INFk – m. infraspinatus kontrolní skupina, SAp – m. serratus anterior pacienti, SAK – m. serratus anterior kontrolní skupina, LDp – m. latissimus dorsi pacienti, LDk – m. latissimus dorsi kontrolní skupina, EAp – mm. extensores antebrachii pacienti, EAK – mm. flexores antebrachii kontrolní skupina, FAp – mm. flexores antebrachii pacienti, FAK – mm. flexores antebrachii kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P - pero

Příloha 9 Souhrnné zobrazení svalové aktivity všech svalů během úchopu

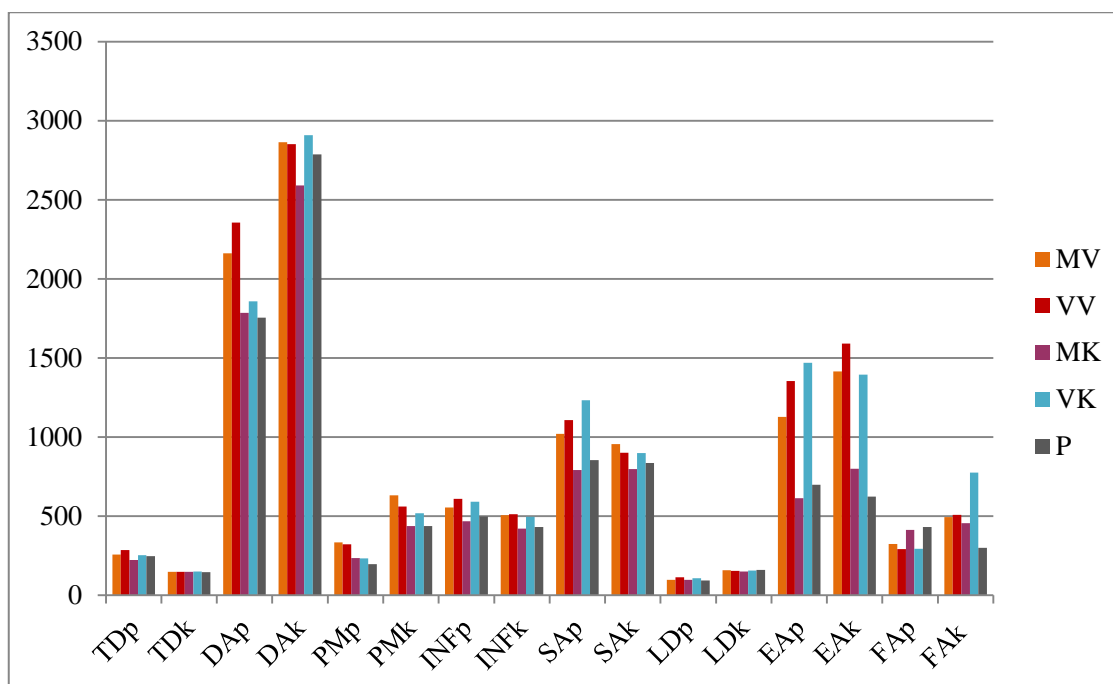
Graf.: zobrazení průměrné svalové aktivity všech svalů během úchopu



Legenda: TDp – m. trapezius pars descendens pacienti, TDk – m. trapezius pars descendens kontrolní skupina, DAp – m. deltoideus pars anterior pacienti, DAK – m. deltoideus pars anterior kontrolní skupina, PMp – m. pectoralis major pacienti, PMk – m. pectoralis major kontrolní skupina, INFp – m. infraspinatus pacienti, INFk – m. infraspinatus kontrolní skupina, SAp – m. serratus anterior pacienti, SAK – m. serratus anterior kontrolní skupina, LDp – m. latissimus dorsi pacienti, LDk – m. latissimus dorsi kontrolní skupina, EAp – mm. extensores antebrachii pacienti, EAK – mm. flexores antebrachii kontrolní skupina, FAp – mm. flexores antebrachii pacienti, FAK – mm. flexores antebrachii kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P - pero

Příloha 10 Souhrnné zobrazení svalové aktivity všech svalů během oddálení

Graf.: zobrazení průměrné svalové aktivity všech svalů během oddálení



Legenda: TDp – m. trapezius pars descendens pacienti, TDk – m. trapezius pars descendens kontrolní skupina, DAp – m. deltoideus pars anterior pacienti, DAK – m. deltoideus pars anterior kontrolní skupina, PMp – m. pectoralis major pacienti, PMk – m. pectoralis major kontrolní skupina, INFp – m. infraspinatus pacienti, INFk – m. infraspinatus kontrolní skupina, SAp – m. serratus anterior pacienti, SAK – m. serratus anterior kontrolní skupina, LDp – m. latissimus dorsi pacienti, LDk – m. latissimus dorsi kontrolní skupina, EAp – mm. extensores antebrachii pacienti, EAK – mm. flexores antebrachii kontrolní skupina, FAp – mm. flexores antebrachii pacienti, FAK – mm. flexores antebrachii kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P - pero

Příloha 11 Tabulky hodnot statistické významnosti u korelací mezi mm. extensores antebrachií a proximálními svaly

Tabulky: hodnoty statistické významnosti mezi EA a proximálními svaly během dosahu, úchopu a oddálení

DOSAH	MV		VV		MK		VK		P	
	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.
EA/TD	0,921	0,502	0,879	0,445	0,990	0,383	0,615	0,477	0,290	0,408
EA/DA	0,932	0,369	0,743	0,365	0,733	0,541	0,654	0,674	0,981	0,498
EA/PM	0,079	0,830	0,019	0,954	0,107	0,996	0,730	0,846	0,337	0,950
EA/INF	0,166	0,170	0,161	0,094	0,034	0,025	0,342	0,331	0,077	0,032
EA/SA	0,062	0,308	0,169	0,334	0,321	0,482	0,609	0,480	0,207	0,580
EA/LD	0,902	0,466	0,741	0,427	0,896	0,561	0,683	0,680	0,620	0,552

ÚCHOP	MV		VV		MK		VK		P	
	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.
EA/TD	0,507	0,490	0,971	0,399	0,776	0,490	0,357	0,318	0,715	0,478
EA/DA	0,246	0,582	0,401	0,507	0,874	0,556	0,836	0,729	0,995	0,158
EA/PM	0,004	0,767	0,002	0,833	0,366	0,893	0,003	0,889	0,164	0,981
EA/INF	0,116	0,055	0,151	0,003	0,220	0,087	0,145	0,011	0,100	0,015
EA/SA	0,163	0,391	0,101	0,400	0,764	0,427	0,075	0,734	0,224	0,910
EA/LD	0,522	0,468	0,561	0,400	0,585	0,426	0,464	0,452	0,487	0,141

ODDÁLENÍ	MV		VV		MK		VK		P	
	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.
EA/TD	0,348	0,476	0,998	0,436	0,610	0,381	0,238	0,419	0,465	0,576
EA/DA	0,264	0,625	0,202	0,578	0,227	0,567	0,821	0,558	0,504	0,518
EA/PM	0,161	0,720	0,003	0,612	0,137	0,673	0,096	0,852	0,369	0,813
EA/INF	0,159	0,111	0,480	0,134	0,072	0,192	0,528	0,063	0,224	0,098
EA/SA	0,858	0,345	0,528	0,332	0,966	0,407	0,834	0,677	0,974	0,619
EA/LD	0,963	0,391	0,760	0,308	0,693	0,529	0,815	0,316	0,672	0,258

Legenda: EA - mm. extensores antebrachií, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, pac. – pacienti, kontr. – kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK- velká koule, P – pero, červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty

Příloha 12 Tabulka hodnot statistické významnosti rozdílu mezi výzkumnými soubory u statisticky významných korelací mm. extensores antebrachií a proximálních svalů

Tabulka: Hodnoty statistické významnosti rozdílu mezi výzkumnými soubory pouze mezi statisticky významnými korelacemi u EA a proximálních svalů

		MV	VV	MK	VK	P
DOSAH	EA/PM	X	0,1133	X	X	X
	EA/INF	X	X	0,9245	X	0,7815
ÚCHOP	EA/PM	0,0322	0,0432	X	0,0503	X
	EA/INF	X	0,2457	X	0,4166	0,5558
ODDÁLENÍ	EA/PM	X	0,0086	X	X	X
	EA/INF	X	X	X	X	X

Legenda: EA – mm. extensores antebrachií, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P- pero, červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty rozdílu korelací
X – zde nebyly zaznamenány statisticky významné korelace

Příloha 13 Tabulky hodnot statistické významnosti u korelací mezi mm. flexores antebrachií a proximálními svaly

Tabulky: hodnoty statistické významnosti mezi FA a proximálními svaly během dosahu, úchopu a oddálení

DOSAH	MV		VV		MK		VK		P	
	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.
FA/TD	0,198	0,688	0,189	0,810	0,443	0,364	0,203	0,949	0,172	0,545
FA/DA	0,897	0,150	0,369	0,169	0,553	0,065	0,457	0,128	0,353	0,063
FA/PM	0,084	0,410	0,343	0,420	0,224	0,303	0,351	0,651	0,269	0,477
FA/INF	0,741	0,946	0,252	0,551	0,520	0,271	0,515	0,438	0,198	0,469
FA/SA	0,104	0,622	0,280	0,556	0,106	0,173	0,082	0,901	0,108	0,094
FA/LD	0,580	0,622	0,599	0,602	0,822	0,331	0,889	0,580	0,903	0,261

ÚCHOP	MV		VV		MK		VK		P	
	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.
FA/TD	0,134	0,729	0,478	0,865	0,324	0,879	0,130	0,970	0,317	0,285
FA/DA	0,387	0,148	0,517	0,062	0,207	0,074	0,590	0,179	0,407	0,183
FA/PM	0,104	0,935	0,700	0,829	0,236	0,548	0,541	0,839	0,311	0,542
FA/INF	0,474	0,737	0,170	0,887	0,970	0,468	0,150	0,985	0,278	0,629
FA/SA	0,056	0,864	0,572	0,488	0,089	0,977	0,079	0,667	0,163	0,069
FA/LD	0,941	0,518	0,622	0,740	0,629	0,301	0,932	0,594	0,610	0,890

ODDÁLENÍ	MV		VV		MK		VK		P	
	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.	pac.	kontr.
FA/TD	0,394	0,557	0,468	0,521	0,379	0,851	0,362	0,855	0,278	0,242
FA/DA	0,561	0,047	0,868	0,046	0,511	0,121	0,756	0,043	0,568	0,458
FA/PM	0,222	0,728	0,597	0,538	0,333	0,578	0,658	0,715	0,847	0,219
FA/INF	0,979	0,202	0,526	0,515	0,333	0,895	0,842	0,438	0,621	0,179
FA/SA	0,151	0,687	0,203	0,275	0,179	0,664	0,152	0,672	0,143	0,745
FA/LD	0,563	0,520	0,524	0,415	0,354	0,461	0,578	0,757	0,594	0,973

Legenda: FA - mm. flexores antebrachií, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, INF – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, pac. – pacienti, kontr. – kontrolní skupina, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK- velká koule, P – pero, červeně jsou vyznačeny statisticky významné hodnoty