

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav fyzioterapie

Bc. Barbora Frgalová

**Zhodnocení svalové aktivity a svalových synergií na pravé
a levé horní končetině pomocí povrchové elektromyografie**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Petra Bastlová, PhD.

Olomouc 2013

ANOTACE

Název práce v ČJ: Zhodnocení svalové aktivity a svalových synergií na pravé a levé horní končetině pomocí povrchové elektromyografie

Název práce v AJ: Evaluation muscle activity and muscle synergy on the right and left upper limb using surface elektromyography

Datum zadání: 2012-01-31

Datum odevzdání: 2013-05-17

Instituce: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav fyzioterapie

Autor práce: Bc. Barbora Frgalová

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Petra Bastlová, PhD.

Oponent práce: MUDr. Petr Kolář

Anotace v ČJ:

Cílem diplomové práce je objasnit rozdíly mezi pravou a levou horní končetinou při srovnání svalové aktivity a svalových synergií. V teoretické části jsou shrnuty poznatky o motorickém řízení, variabilitě pohybu, lateralitě horních končetin a jejich manipulační funkci. Ve výzkumné části je na skupině zdravých probandů (n=31) analyzována svalová aktivita naměřená během cíleného úkolu pomocí povrchové elektromyografie. Snímáno bylo 6 proximálních a 2 skupiny distálních svalů horních končetin. Cílená aktivita se skládala z dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení pěti předmětů (malý válec, velký válec, malá koule, velká koule, pero). Pro statistické vyhodnocení byly vybrány hodnoty násobku aktivačních hodnot a data získaná matematickým zpracováním plochy pod křivkou. Nejvýraznější rozdíl mezi horními končetinami se projevil v aktivitě m. serratus anterior během dosahu a úchopu. U korelačních koeficientů nebyl zjištěn žádný konstantní trend.

Anotace v AJ:

The aim of the diploma thesis is to clarify differences between the right and left upper limb when comparing muscle activity and muscle synergies. The theoretical part summarizes the knowledge of motor control, variability, handedness and manipulations with objects. The research section refers to the group of healthy patients (n=31), who were analyzed by surface electromyography in terms of the muscle activity while performing targeted tasks. Six proximal muscles and two groups of distal muscles of the upper limbs were diagnosed. The motor tasks comprise of reach, grasp, manipulation towards and backwards of five items (small cylinder, big cylinder, small ball, big ball, pen). Statistical analysis evaluated muscle activity and their mathematical integral under the curve. The most significant differences within upper limbs were during the reach and grasp activity of m. serratus anterior. There was not found any constant tendency within correlation coefficients.

Klíčová slova v ČJ: horní končetina, lateralita, motorické řízení, synergie, variabilita, dosah, úchop

Klíčová slova v AJ: upper limb, handedness, motor control, synergy, variability, reach, grasp

Rozsah: 84 s. čistého textu, 112 s. včetně seznamů a příloh

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci vypracovala samostatně pod odborným vedením Mgr. et Mgr. Petry Bastlové, PhD. a uvedla jsem všechny použité literární a odborné zdroje.

V Olomouci dne 17. května 2013

.....

Děkuji Mgr. et Mgr. Petře Bastlové za odborné vedení, cenné rady a připomínky k diplomové práci. Děkuji také PhDr. Milanu Elfmarkovi za pomoc při statistickém zpracování dat. V neposlední řadě bych ráda poděkovala celému kolektivu kineziologické laboratoře Fakultní nemocnice Olomouc za vstřícný přístup při realizaci měření a všem probandům, kteří se našeho měření zúčastnili.

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.....	8
1	PŘEHLED POZNATKŮ.....	10
1.1	Motorické řízení	10
1.1.1	Historie vědění o motorickém řízení	11
1.2	Úvod k teoriím motorického vývoje.....	12
1.2.1	Teorie neurálního zrání.....	13
1.2.2	Teorie dynamických systémů	14
1.2.3	Teorie selekce neurálních skupin	15
1.3	Variabilita	16
1.3.1	Redundance	16
1.3.2	Abundance	18
1.3.2.1	Equilibrium-point hypotéza.....	19
1.3.2.2	Uncontrolled manifold hypotéza	19
1.4	Synergie	20
1.4.1	Analýza synergií	22
1.4.2	Synergie a řízení	23
1.5	Lateralita	24
1.5.1	Morfologické hledisko.....	26
1.5.2	Funkční provedení	28
1.5.2.1	Open/closed loop hypotéza.....	28
1.5.2.2	Hypotéza dynamické dominance.....	29
1.6	Horní kočetina	31
2	CÍL PRÁCE.....	34
2.1	Otázky a hypotézy	34
2.1.1	Vědecká otázka 1	34
2.1.2	Vědecká otázka 2	35
2.1.3	Vědecká otázka 3	35

3	METODIKA	36
3.1	Charakteristika souboru	36
3.2	Výzkumná metoda	36
3.3	Výběr probandů	36
3.4	Příprava na měření	37
3.5	Průběh měření	38
3.6	Zpracování a vyhodnocení EMG záznamu	39
3.7	Statistické zpracování	40
4	VÝSLEDKY	41
4.1	Výsledky k vědecké otázce 1	41
4.2	Výsledky k vědecké otázce 2	51
4.3	Výsledky k vědecké otázce 3	69
5	DISKUZE	76
5.1	Diskuze k metodice	76
5.2	Diskuze k teoretickým poznatkům	78
5.2.1	Diskuze k poznatkům o motorickém řízení	78
5.2.2	Diskuze k poznatkům o synergiích	80
5.2.3	Diskuze k poznatkům o lateralitě	81
5.3	Diskuze k vědecké otázce 1	82
5.4	Diskuze k vědecké otázce 2	84
5.5	Diskuze k vědecké otázce 3	88
	ZÁVĚR	90
	REFERENČNÍ SEZNAM	92
	SEZNAM ZKRATEK	102
	SEZNAM GRAFŮ	103
	SEZNAM OBRÁZKŮ	104
	SEZNAM TABULEK	105
	SEZNAM PŘÍLOH	107
	PŘÍLOHY	108

ÚVOD

Horní končetiny jsou pro sebeobsluhu v rámci běžných denní činností nezbytné. Jejich dosahová a manipulační schopnost se rozvíjí v prvním roce a slouží nám po celý život. Souběžně se zdokonalováním motoriky horních končetin se ozřejmuje jejich rozdílnost neboli lateralizace. Dominantní horní končetina se stává zručnější a výkonnější v dynamických funkcích a nedominantní horní končetina se specializuje spíše na statickou motoriku, především v rámci bimanuálních činností. Tento lateralizační proces se utvrzuje s nástupem grafomotorických dovedností, jako je psaní a kreslení, a přetrvává do konce života.

Cílem této práce bylo objektivizovat, zda je svalová aktivita během dosahu, úchopu a přesunu různých předmětů srovnatelná na pravé a levé horní končetině. Dále jsme se pokusili ozřejmit vzájemné korelace mezi distálními a proximálními svaly při tomto cíleného úkolu a zhodnotit jejich rozdíl mezi pravou a levou horní končetinou.

Teoretický základ pro výzkum byl vytvořen z odborných vědeckých článků, které byly vyhledávány v databázích PubMed, ProQuest, SpringerLink a EBSCO podle jednotlivých klíčových slov. Dostupné informace byly získávány od ledna 2012 do května 2013. Zpracováno bylo asi 60 článků českých i cizojazyčných autorů.

Pomocí povrchové elektromyografie jsme naměřili svalovou aktivitu, kterou jsme dále matematicky a statisticky zpracovávali. V našem výzkumu jsme se zaměřili na 6 svalů v oblasti ramenního pletence (m. trapezius pars descendens, m. deltoideus pars anterior, m. pectoralis major, m. infraspinatus, m. serratus anterior, m. latissimus dorsi) a 2 skupiny svalů předloktí (mm. extensores antebrachii, mm. flexores antebrachii) obou horních končetin. Cílený úkol spočíval v dosahu, úchopu a následném přesunu pěti předmětů (malý válec, velký válec, malá koule, velká koule a pero). Obě horní končetiny prováděly úkol za stejných podmínek. Pohyb probíhal běžnou rychlostí, bez výrazných vnějších omezení, aby se na horních končetinách mohla projevit jejich přirozená odlišnost.

Námi zvolená problematika byla zpracovávána na skupině zdravých probandů. Fyziologický rozdíl v hodnotách svalové aktivity a svalových korelací mezi horními

končetinami může poskytnout důležité informace využitelné především při rehabilitaci neurologických a traumatologických pacientů.

1 PŘEHLED POZNATKŮ

1.1 Motorické řízení

Motorické řízení lze definovat jako oblast přírodní vědy, která zkoumá, jak nervový systém produkuje smysluplný a koordinovaný pohyb společně s dalšími částmi těla a v interakci s prostředím (Latash, 2012a, p. 1).

Neuronální procesy, které tvoří podklad úmyslné motoriky, dělí Králíček (2011, s. 123) do několika hypotetických fází. Tyto fáze popisuje na relativně jednoduchém pohybu, jakým je uchopení sklenice s vodou.

Primární impuls k uvedenému volnému pohybu vychází patrně z motivačního ústředí centrálního nervového systému (CNS), které má vztah k limbickému systému. V další fázi proběhne senzorká analýza okolního prostředí a identifikace sklenice s vodou. Následuje vypracování plánu pohybu. Prostorové uspořádání a souřadnice uchopovaného předmětu, podle nichž je určena strategie dosažení cíle, jsou převedeny ze senzorkého do motorického systému, konkrétně směr pohledu, postavení hlavy a trupu a způsob uchopení. Podle vybrané strategie je zpracován program pohybu. Například sekvence, doba trvání a intenzita svalových kontrakcí nutná k provedení cíleného pohybu, k pohybu hlavy a očí a k zajištění posturální stability. Celý proces končí zahájením a provedením pohybu (Králíček, 2011, s. 123).

Na přípravě a provedení cíleného pohybu se podílí následující nervové struktury. Zadní parietální (asociační) korová oblast, prefrontální korová oblast, doplňková (suplementární) motorická korová oblast, premotorická korová oblast, bazální ganglia, cerebrální mozeček a primární motorická korová oblast. Motorické oblasti v kortexu řídí činnost spinálních motoneuronů buď přímo laterálním a ventrálním kortikospinálním traktem, nebo nepřímo prostřednictvím kortikonukleárních drah, které se napojují na descendentní kmenové cesty (Králíček, 2011, s. 123).

Barber et al. řadí mezi regiony konstantně zapojené do základního motorického řízení primární motorickou oblast (M1), suplementární motorickou oblast (SMO) a více rostrálně pre-SMO, talamus, putamen a přední část mozečku. Ačkoli tyto části

formují vnitřní propojené sítě, existují důkazy, že jednotlivé oblasti obstarávají různé motorické funkce. Putamen definuje směr, amplitudu a rychlost pohybu. SMO je spoluodpovědná za selekci a posloupnost pohybu. Mozeček hraje roli v korekci hladké trajektorie. Interhemisferální propojení je důležité pro primární selekci pohybu. Zatímco tyto regiony mají na starost různé aspekty motorického chování, společně provádí komplexní pohyb (Barber et al., 2012, p. 51).

1.1.1 Historie vědění o motorickém řízení

Zdroj volního pohybu a vztah mezi pohybem a CNS fascinoval vědce již od dob velkých řeckých filozofů (Latash, 2008, p. 3). Platón rozdělval lidskou duši na tři části, racionální a dvě iracionální. Racionální, nesmrtelná duše byla spojena s hlavou a tělo jí bylo dáno jako služebník (in Crivellato, Ribatti, 2007, pp. 330-331). Platón pohlížel na volní pohyb jako na projev nesmrtelné duše, která je nedílnou součástí všech pohybujících se živočichů. Nedefinoval „volní pohyb“, ale pravděpodobně nepřímo popsal všechny pohyby živých bytostí, které by nemohly být očekávané od neživých objektů. Pokud by tyto neživé objekty měly stejné mechanické vlastnosti jako živé bytosti a byly umístěny do prostředí, které by na ně působilo silami, jaké na tělo působí z prostředí, nepohybovali by se, protože nemají duši. Tato myšlenka je podobná pohledu současných vědců, kteří se zabývají motorickými programy (in Latash, 2008, p. 3). Aristoteles se zaměřil na koordinaci pohybu, což byl první krok směrem k dynamickému modelu pohybu. Zabýval se také pitvou mozku, a přestože popsal jeho strukturu, části a obaly, nepřisuzoval mu zvláštní důležitost. Považoval mozek za podřadný orgán (in Crivellato, Ribatti, 2006, pp. 331-332).

Zda je pohyb produkován aktivní či reaktivní cestou je velmi diskutovaná otázka a od dob řeckých filozofů se neustále střídavě přiklání ze strany aktivní na stranu reaktivní teorie. K rozvoji aktivní teorie založené na reflexech přispěli dva velcí vědci Ivan Pavlov a Sir Charles Sherrington. Oba za svou práci obdrželi Nobelovu cenu (Latash, 2008, p. 3).

Ivan Pavlov se zabýval teorií vrozených a podmíněných reflexů. Podle něj je pohyb kombinací obou skupin reflexů. Sir Charles Sherrington, zakladatel současné neurofyziologie, se přikláněl k teorii, že pohyb je produkován modulací reflexů. Obě

teorie kritizovali v té době mladí vědci Graham Brown a Nikolai Bernstein. Brown se věnoval pozorování zvířat bez reflexů a nastartoval linii výzkumů vedoucích k vytvoření pojmu centrálních motorických generátorů (CMG). Ve vývoji motorického řízení se dále velmi zasadili vynikající vědci von Holst a Gelfand, kteří rozvíjeli CMG a motorické programy a Eccles a Lundberg, kteří se věnovali reflexům (in Latash, 2008, pp. 3-4).

Bernstein se zabýval oblastí motorických programů, které nazval „engramy“. Na engramy pohlížel jako na časové funkce abstraktních proměnných, které kódují charakteristické rysy pohybu (in Latash, 2008, p. 4). Motorické vzory neboli engramy, měly být uloženy někde v mozku tak, že pokud by došlo k jejich aktivaci, rozvinuli by se ve kvalifikovaný motorický projev (Summers, Anson, 2009, pp. 574-575). Myšlenka těchto engramů se postupně vyvinula ve formu generalizovaných motorických programů (Latash, 2008, p. 4).

Reflexní část historie motorického vývoje vyzrála v přístup k pohybu jako k dynamickému systému. Tento posun byl inspirován dvěma hlavními zdroji, které jsou v rozporu s teorií generalizovaných motorických programů. Prvním byl vývoj dynamického systému v matematice a jeho aplikace na fyzikální zákony. Ukázalo se, že komplexní vzory objevující se v motorickém systému mohou být pod jednoduchou kontrolou. Horní končetiny se mohou například při chůzi pohupovat přirozenou frekvencí bez cyklického vstupu CNS, pouze pod vlivem gravitace a fyzikálních zákonů. Druhým zdrojem byla myšlenka přímé percepce. Význam senzorní zpětné vazby byl akceptován všemi teoriemi motorického řízení. Nicméně, teorie pohlížející na pohyb jako na soustavu reflexů považuje zpětnou vazbu za nezbytnou pro smysluplný pohyb, zatímco teorie motorických programů očekává schopnost produkovat pohyb i bez něj (Latash, 2008, pp. 4-5).

1.2 Úvod k teoriím motorického vývoje

Motorický vývoj může poskytnout teoretické podklady vedoucí k pochopení lidského rozvoje obecně. Thelen uvádí jako průkopníky motorického vývoje Arnolda Gesella a Myrtle McGraw, kteří pracovali asi ve 40. letech 20. století. Oba se zabývali pozorováním rozvoje motoriky u dětí a teoreticky zpracovali otázku dětských

motorických milníků. Usoudili, že pravidelnost s jakou se objevují nabyté dovednosti je odrazem pravidelnosti ve vyzrávání CNS (Thelen, 1995, pp. 79-80). Jak uvádí Hadders-Algra v 19. století se za motorický vývoj obecně považovalo postupné rozvíjení předem daných vzorů z CNS na podkladě zvyšování kortikální kontroly nad nižšími subkortikálními reflexy (Hadders-Algra, 2000, p. 566).

Dalton se zabývá prací Gesella a uvádí, že Gesellův pokus poskytnout ze své pozice lékaře autoritativní vysvětlení vývoje, vedlo k výrokům o dědičnosti a interakci s prostředím, které vyústily v řadu zmatků a špatných interpretací (Dalton, 2005, p. 183). Gesell například přiřadil prioritní roli autonomním změnám v nervovém systému a zkušenosti měly podle něj pouze druhotnou, podpůrnou roli (in Thelen, 1995, p. 79). Dalton informuje, že McGraw se snažila odstranit tyto chyby experimentálními pracemi (Dalton, 2005, p. 183).

Hadders-Algra (2000, p. 567) popisuje experiment McGraw, který provedla na dvojčatech, aby si ověřila, zda je motorický vývoj zcela pod kontrolou endogenních pravidel. Experiment McGraw spočíval v intenzivním motorickém tréninku jednoho dítěte z dvojčat, zatímco druhé bylo ponecháno přirozenému vývoji. Postupně došla k závěru, že stimulace měla pozitivní efekt u prvního dítěte pouze v rámci vývoje stanoveného genetikou. Své poznatky shrnula do tvrzení, že před nabytím určité funkce se musí uskutečnit určitá míra zrání CNS. Motorický vývoj je podle ní výsledkem genetického podkladu a interakce s prostředím (in Hadders-Algra, 2000, p. 567). Dalton uvádí, že Gesell viděl vliv prostředí pouze v negativním světle, nepohlížel na něj jako na pozitivum (Dalton, 2005, p. 188).

1.2.1 Teorie neurálního zrání

Počátky vědeckého zkoumání motorického vývoje na podkladě prací Gesella a McGraw shrnula Hadders-Algra pod „Teorii neurálního zrání“. Tato teorie považuje motorický vývoj za součet efektů genů, které pracují v jednotlivých časově limitovaných cyklech. Myšlenka, že vzorce motorického chování se objevují v uspořádaných genetických sekvencích, vedla k uznání všeobecných vývojových pravidel, jako je kranio-kaudální a centrálně-periferní směr vývoje. (Hadders-Algra, 2000, p. 566).

S novými teoretickými a koncepčními nástroji z oblasti biomechaniky a neurologie, které smetly staré způsoby myšlení, se v 70 letech 20. století objevil příslib vysvětlení motorického vývoje v reálnějším světle. Ruský vědec Bernstein jako první otevřeně definoval pohyb v termínech koordinace, neboli společné interakce mnoha tělesných částí a procesů, které produkují jednotný motorický výsledek (in Thelen, 1995, p. 80).

Bernstein předpokládal, že motorický projev musí být plánovaný na velmi abstraktní úrovni, protože je pro CNS nemožné naprogramovat všechna místa, vztahy, síly a časový sled pohybu. Samozřejmě nejméně k jednomu rozhodnutí v CNS musí dojít. Subsystem a komponenty, které aktuálně produkují trajektorii končetin, musí být jemně sestaveny z toho co je k dispozici a nejlépe odpovídá podmínkám úkolu (in Thelen, 1995, p. 81). Bernstein se snažil pochopit jak CNS řeší problém motorické koordinace. Uvědomil si, že produkce koordinovaných pohybů těla, které se skládá ze stovek svalů a kloubů, vyžaduje specifický výpočetní program CNS (in Hadders-Algra, 2000, p. 567).

Z Bernsteinova pohledu je nepřijatelný obrázek prostého vyčkávání dítěte na vyzrání mozku, a posléze plnění jeho příkazů jako marioneta. U dětí, stejně jako u dospělých, je pohyb vždy produkován nejen CNS, ale také biomechanickými vlastnosti těla, vlivem prostředí a také specifickými podmínkami prováděného úkolu. Každý pohyb je unikátní, každé řešení je fluidní a flexibilní, a proto je těžké uvěřit, že jsou všechny tyto informace geneticky zakódované v mozku (in Thelen, 1995, p. 81).

1.2.2 Teorie dynamických systémů

Myšlenky vycházející z prací Bernsteina a jeho následovníků uvádí Hadders-Algra pod společnou teorií – „Teorií dynamických systémů“, která se zabývá hlavní Bernsteinovou otázkou: „Jak může být harmonogram motorického řešení zakódován v mozku nebo v genech?“ Podle Teorie dynamických systémů působí typické vzory chování jako atraktory (s.c.s konečný stav, do kterého dynamický systém v čase směřuje). To znamená, že určité motorické provedení, jako je například hladká a přímá trajektorie pohybu při dosahu u dospělých, přijímá konkrétní organizaci, která vyplývá z účinků jednotlivých komponent pohybu. Komponentami

pohybu jsou myšleny svalová síla, hmotnost, postura, vliv prostředí, nebo požadavky úkolu (Hadders-Algra, 2000, p. 567).

Teorie dynamických systémů a Teorie neurálního zrání, tak jak je uvádí Hadders-Algra, se od sebe liší názorem na úlohu nerovnovážného systému v motorickém vývoji. Teorie neurálního zrání považuje vyzrálou nervovou soustavu za hlavní omezení vývojového progresu, zatímco podle Teorie dynamických systémů hraje neuronální podklad podřadnou roli (Hadders-Algra, 2000, p. 567).

1.2.3 Teorie selekce neurálních skupin

Třetí teorie motorického vývoje je již autory shodně uváděna jako samostatná teorie. Tato teorie definuje variabilitu jako jednu z hlavních vlastností motorického vývoje. V souladu s Teorií selekce neurální skupin (TSNS) je mozek, nebo přesněji souhra kortikálních a subkortikálních systémů, dynamicky organizovaná do variabilních sítí vybraných vývojem a nabytím motorických zkušeností. Jednotky výběru jsou kolekce stovek až tisíců silně propojených neuronů nazývané neuronální skupiny. Buňky a hrubé propojení neuronálních skupin determinované evolučním vývojem se nazývá primární repertoár a motorickým projevem je primární variabilita (Thelen, 1995, p. 90; Hadders-Algra, 2000, pp. 567-568).

Na základě aferentních informací produkovaných chováním a zkušenostmi vzniká sekundární repertoár (Thelen, 1995, p. 90; Hadders-Algra, 2000, pp. 567-568). Dochází ke změnám v síle synaptických spojů uvnitř a mezi neuronálními skupinami. Sekundární repertoár a příslušné mechanismy výběru tvoří základ zralé proměnné motoriky, neboli sekundární variability, která lze přizpůsobit podmínkám životního prostředí (Hadders-Algra, 2000, pp. 567-568). Motorický projev lze považovat za naučený, pokud je zdařilý, i když se změní vnější podmínky (Schneiberg et al., 2002, p. 142). TSNS zdůrazňuje myšlenku, že motorický vývoj je výsledkem složitého propojování informací z genů a zevního prostředí. (Hadders-Algra, 2000, p. 568).

1.3 Variabilita

Fetters přichází s myšlenkou, že lidé jsou vytvořeni nejen s variabilitou, ale i pro variabilitu. Variabilita může být definovaná na mnoha úrovních například variabilita vývojová, fyziologická nebo variabilita provedení. Variabilita je spjata s lidským chováním, je nutná k rozvoji dovedností, ale může se stát také přítěží, pokud překročí typické limity. Náš nervový a muskuloskeletální systém poskytuje plasticitu tkáním a procesům, které nám umožňují růst, uzdravovat se a adaptovat se na různé podmínky po celý život. Mnoho systémů zůstává plastických i v dospělosti, protože jsou připraveny kompenzovat metrické a dynamické změny v biomechanice motorických orgánů, dokonce i ztrátu celé končetiny. Variabilita musí být spjata s naší motorickou kapacitou, jinak bychom byli funkčně maladaptivní (Fetters, 2010, p. 1861).

Latash, Scholz a Schöner uvádí, že jeden z nejčastěji viditelných prvků lidského pohybu je motorická variabilita. Řada pokusů provést ten samý úkol vždy vede k poněkud odlišným provedením z pohledu kinetiky, kinematiky i pohybové aktivace (Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 26). Variabilita pravděpodobně představuje mezičlánek, ve kterém nervový systém zpracovává proces organizace pro koordinované řízení velkého počtu stupňů volnosti (Schneiberg et al., 2002, p. 142). Motorická variabilita byla od dob Bernsteina velmi zkoumaná a nyní podle autorů Latash, Scholz a Schöner převažuje názor, že variabilita není zátěží, která nutí vědce zaznamenávat velké množství pokusů každého motorického úkolu, ale je spíše oknem do systému centrální organizace pohybu (Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 26).

1.3.1 Redundance

Problém koordinace motorické variability, kdy je CNS konfrontován s nutností volby, byl dlouho znám jako problém motorické redundance (s.c.s nadbytečnosti) nebo Bernsteinův problém (Latash, Anson, 2006, p. 1152). Na každé úrovni analýzy systému pro produkci volního pohybu je více elementárních proměnných, než je nezbytně nutné k provedení úkolu. Jinými slovy motorický úkol nemá konkrétní

motorický vzor, proto je CNS konfrontován s problémem, jak vybrat konkrétní cestu při řešení každého úkolu (Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 26).

V závislosti na formulaci redundance byla eliminace stupňů volnosti považovaná za problém (Latash et al., 2002, p. 419). Bernstein pohlížel na tento problém „eliminace nadbytečných stupňů volnosti“ jako na centrální otázku řízení (in Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 26). Tradiční způsob řešení motorické redundance předpokládá, že CNS využívá řadu kritérií, díky kterým hledá jedno řešení pro optimální provedení úkolu (Latash, Gorniak, Zatsiorsky, 2008, p. 29).

Mnoho výzkumů je stále zaměřeno na problém motorické redundance v jeho originálním znění (Latash, 2012a, p. 1). Řada studií následovala a následuje Bernsteinovu myšlenku o odstranění nadbytečných stupňů volnosti a snaží se odhalit výpočetní principy, které by umožnili objevit jedno unikátní řešení (Latash, Anson, 2006, p. 1152; Latash, 2012a, p. 2).

Termín problém poukazuje na potřebu najít řešení a termín redundance naznačuje, že nadbytečnost je nutné eliminovat. Termín abundance přináší alternativu, která nepohlíží na konstrukci lidského těla jako na problém motorické redundance, ale jako na výhodu motorické abundance (Latash, Gorniak, Zatsiorsky, 2008, p. 30; Latash, 2012b, p. 6). Podle tohoto principu vytváří CNS celou řadu možností schopných vyřešit daný úkol (Latash, Gorniak, Zatsiorsky, 2008, p. 30; Latash, 2012a, p. 3). Výsledná skupina řešení je vždy menší, než je absolutní množství možných způsobů provedení, takže k určité selekci pravděpodobně dochází (Latash, Gorniak, Zatsiorsky, 2008, p. 30).

Jedny z prvních klasických studií Bernsteina přinesly výsledky, které už samy o sobě byly dostatečným důkazem, že žádné unikátní řešení definované motorickou redundancí nelze nalézt. Jeho pokusy s kovářem ukázaly, že ani profesionál nedokáže provést opakovaný pohyb jediným způsobem. Na základě tohoto zjištění Bernstein definoval pojmem „opakování bez opakování“ (in Latash, 2012a, p. 3).

1.3.2 Abundance

Podle principu abundance CNS stupně volnosti (degrees of freedom = DOF) neeliminuje. Všechny DOF se účastní všech úkolů a zajišťují stabilitu a flexibilitu provedení (Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 27). Je jim umožněno pohybovat se s relativně vysokou variabilitou a zároveň vysokou stabilitou (Latash et al., 2002, p. 419; Latash, 2010b, p. 296). Jednotlivé elementy se pokouší minimalizovat svou interakci s ostatními elementy a s prostředím (Latash, Gorniak, Zatsiorsky, 2008, p. 30). Princip abundance činí problém redundance nepodstatným, protože žádný DOF není z pohybu vyloučený nebo zmrazený (Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 27). CNS upřednostňuje využití motorického bohatství spíše než boj proti němu (Latash, Anson, 2006, p. 1152).

Latash se zamýšlí nad prací CNS s velkým množstvím variabilních proměnných z pohledu fyzikálních principů. Akční potenciál je na plazmatické membráně generován obrovským množstvím sodíkových iontů, které se pohybují přes membránu. V tom samém místě ale leží mnohem více iontů, které se na vzniku akčního potenciálu podílí. Pokud by měl CNS rozhodnout, které ionty přes membránu projdou, řeší problém zilionu neznámých. CNS se ale naštěstí v tomto případě nijak nerozhoduje, celý proces podléhá zákonům fyziky, které zajistí, že membránou projde správný počet iontů. Převědeme-li tento model na nábor motorických jednotek při svalové aktivaci, je otázkou, zda CNS skutečně rozhoduje o specifických vzorcích náboru, nebo je možné, že celý proces podléhá fyzikálním zákonům. V tomto kontextu zahrnuje Latash pod fyzikální zákony klasickou fyziku, chemii a fyziologii, nicméně bez jakýchkoli výpočtů. Tento pohled na motorické řízení je považován za kontroverzní (Latash, 2012a, p. 3).

V současnosti existují dvě hlavní hypotézy, které pohlíží na motorické řízení dle fyzikálních zákonů živých systémů. Equilibrium-point (EP) hypotéza, která je založená na Galileově principu relativity a faktu, že neurony jsou prahové prvky. Uncontrolled manifold (UCM) hypotéza, která v kombinaci s principem abundance navrhuje nový přístup k problému motorické redundance (Latash et al., 2010, p. 383)

1.3.2.1 Equilibrium-point hypotéza

Jedná se o teorii motorického řízení založenou na fyzikálním přístupu k produkci pohybu v souladu s fyziologií neuromotorického systému (Latash, 2012a, p. 4). EP hypotéza byla vypracovaná a upravená z teorie popisující řízení systému jednoho kloubu na teorii zabývající se produkcí komplexního pohybu jako je např. lokomoce (Latash et al., 2010, pp. 383-384; Latash, 2012a, p. 4). Základem EP teorie je představa, že podkladem úmyslné motoriky je prahové poziční řízení. Při provádění pohybu sestupuje elektrochemický impulz z mozku za přítomnosti proprioceptivní zpětné vazby k motoneuronům, kde je transformován do změn v prahové délce svalu nebo kloubním úhlu. Díky tomu jsou nastaveny prostorové aktivační škály s ohledem na tělesné proporce, délky a úhly. Takto je umožněno řídicí úrovni CNS specifikovat kde jsou v koordinovaném prostoru svaly aktivovány bez obav ohledně přesných detailů aktivace. Modernější formulace EP teorie říká, že aktivita každého svalu vzniká bez programování na základě změny mezi aktuální konfigurací těla a jeho prahovou konfigurací. Stejně tak jsou svaly závislé na tempu těchto změn (Latash et al., 2010, pp. 383-384).

1.3.2.2 Uncontrolled manifold hypotéza

V souladu s myšlenkou abundance se ubírá směr výzkumů spojených s Uncontrolled manifold (Latash, 2012a, pp. 3-4). UCM hypotéza slouží jako rámeček experimentálního přístupu k úkolům využívajícím mnoha proměnných. Předpokládá existenci řídicích pravidel, která spojují koordinaci motorických komponent tak, že dochází ke stabilizaci proměnných pro úkol důležitých nebo přímo spojených s cílem úkolu. Selektivně omezena jsou taková koordináční řešení, která by vedla ke změně provedení. Abundance je využita k vytvoření celé řady vhodných řešení, z nichž je konkretizováno jedno, závislé na momentální pohybové dynamice a vnějších limitech (Tseng, Scholz, Schöner, 2002, pp. 184-185).

Latash, Scholz a Schöner uvádí, že pokud chce řízení při konkrétním úkolu stabilizovat hodnotu jedné proměnné, vybere subprostor z celého prostoru elementů jako takových. V rámci tohoto subprostoru je požadovaná proměnná konstantní. Tento subprostor byl pojmenovaný „uncontrolled manifold“. Takto řízení umožňuje

elementům uvnitř UCM projevit vysokou variabilitu, pokud neovlivní požadovanou hodnotu proměnné. Termín „uncontrolled manifold“ se týká skutečnosti, že elementy jsou málo řízené, pokud zůstávají uvnitř UCM (Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 27)

Latash rozlišuje variability souhlasné s UCM, které neovlivní provedení a jsou brány jako dobré, a variability nesouhlasné s UCM označovány jako špatné (Latash, 2012a, pp. 3-4). Podle Zhang et al. neurální řízení omezuje variability špatné, které mají na výkon vliv, více než ty dobré, které na něj vliv nemají (Zhang et al., 2006, p. 200-201). Množství dobrých variabilit umožňuje řízení provádět současně sekundární úkoly, aniž by byl narušen ten primární. Dále umožňuje provést sekundární úkol v rámci primárního, např. otevření dveří loktem za současného úchopu kelímku s kávou. Dobré variability také zajišťují stabilitu provedení při jeho narušení z vnitřního nebo zevního prostředí (Latash, 2012b, p. 9).

1.4 Synergie

Slovo synergie pochází z řečtiny a znamená „spolupracovat“. Jakákoli sada dvou a více koordinovaných jednotek, jako jsou klouby nebo svaly, může být považována za synergii. Uvnitř různých vědeckých komunit nicméně toto slovo převzalo různé významy. V neurovědě je motorická synergie prezentovaná jako potenciální strategie použitá CNS ke zjednodušení výpočetní zátěže při koordinaci mnoha DOF muskuloskeletálního systému (Dipietro et al., 2007, p. 757).

Synergie jsou v oblasti zkoumání pohybu používány celá století. První zmínka o synergii měla negativní význam, označovala stereotypní svalový vzorec, který se lišil od pozorování u zdravých lidí. Tato definice byla založena na předpokladu motorické redundance (Latash, 2010a, p. 46). Dipietro et al. tento negativní význam potvrzuje. V klinické neurorehabilitaci může být motorická synergie definovaná jako stereotypní pohyb celé končetiny, což odráží ztrátu nezávislosti kloubní kontroly a limitaci v osobní schopnosti koordinovat klouby ve flexibilních a adaptabilních vzorech, čímž je znemožněno provedení mnoha funkčních motorických úkolů. Schopnost ovlivnit synergistický pohyb je podle Dipietra et al. považováno za cíl terapie (Dipietro et al., 2007, p. 757).

Koordinace motorických elementů je často vysvětlována jejich kombinací do menšího počtu, tedy vznikem funkčních svalových synergií (Tseng, Scholz, 2006, p. 383). Tresch a Jarc shrnují, že CNS pravděpodobně produkuje pohyb pomocí kombinace malých svalových skupin - synergií, čímž řeší problém stupňů volnosti. Chování jedince by pak mělo být výsledkem jednoduché kombinace těchto synergií. Místo ovládní tisíců motorických jednotek nebo desítek svalů, může CNS využít svalových synergií a produkovat tak pohyb s řízením menšího počtu proměnných (Tresch, Jarc, 2009, p. 1-2), přestože se typická motorická jednotka účastní více svalových synergií (Weiss, Flenders, 2004, p. 533).

Svalové synergie patrně poskytují cestu jak zavést při řízení komplexních úkolů optimální kontrolu a minimalizovat možné problémy (Tresch, Jarc, 2009, p. 1-2). Trénink synergií nevede ke snížení DOF, ale ve dvou fázích dochází ke koordinaci a stabilizaci proměnných důležitých pro úkol. Špatné variability dosáhnou minima, dobré variability se také snižují, ale pomaleji, patrně se snahou dosáhnout optimálního řešení. Synergie mohou být patrně trénovány vhodným úkolem, což je slibný směr pro využití v klinické rehabilitaci (Latash, 2012b, p. 10-11).

Gelfand a Tsetlin formulovali soubor axiomů (s.c.s tvrzení, které se předem pokládá za platné, tudíž se neprokazuje) pro organizaci skupin elementů se společným cílem, do strukturálních jednotek. Domnívali se, že pohyb je řízen hierarchicky. Řízení organizuje vztahy mezi elementy na hierarchicky nižších úrovních a tyto vztahy pak zajišťují stabilitu motorického výkonu. Strukturální jednotky jsou specificky organizovány pro každý úkol tak, že pokud jeden element způsobí chybu ve společném provedení, ostatní elementy změní svou konfiguraci tak, aby došlo k minimalizaci bez nutnosti korekce z CNS. Pouze systém, který funguje podle těchto principů a prokazuje elementární kompenzaci chyb, může být nazýván svalová synergie (in Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 26-27).

Tresch a Jarc rozdělují synergie do dvou verzí. Synchronizované synergie spojují různé svaly, které se aktivují bez časové prodlevy. U časově proměnných synergií hraje roli kombinace prostorové a časové složky jednotlivých svalů. Každý sval této synergie má svůj fixní časový profil, který umožní zpožděné zapojování jednotlivých svalů v rámci jedné synergie (Tresch, Jarc, 2009, p. 1)

1.4.1 Analýza synergií

Tresch a Jarc ve své review shrnují, že studie zaměřené na hypotézy týkající se svalových synergií jsou často založeny na statistických analýzách elektromyografické (EMG) aktivity svalů během různých činností. Základem je získání EMG záznamu z co největšího počtu svalů a použití výpočetní analýzy k identifikaci svalových synergií ze záznamu. Dále dojde k posouzení, zda lze získaný EMG záznam popsat jako kombinaci synergií a zda lze identifikovat svalové synergie variabilní v rámci daného úkolu (Tresch, Jarc, 2009, p. 2).

D'Avella et al. zaznamenávali EMG signály ze svalů ramene a paže při pohybu z bodu do bodu, přičemž jeden bod byl stanoven jako centrální a osm bylo periferních. Předpokládali, že CNS má nepřímé a přesto efektivní znalosti o dynamickém chování muskuloskeletárního systému, nutné pro generování vzorů svalových synergií. Svalové synergie pak podle nich představují koordinovanou aktivaci skupin svalů se specifickým časovým profilem. V této studii prokázali, že kombinace malého počtu časově odlišných svalových synergií zachycuje organizaci svalů, zjištěnou během rychlých pohybů různým směrem. Pro každou osobu charakterizovali 4-5 synergií, jejichž kombinace vysvětlila velkou část variací pohybů z bodu do bodu (D'Avella et al., 2006, p. 7791-7792).

Tresch a Jarc zmiňují i další práce, které využívají přímé vyšetření svalové aktivity k identifikaci a analýze svalových synergií, čímž se snaží vyhnout nepřímým statistickým analýzám. Klíčem k tomuto přístupu je zkoumání EMG záznamu získaného při velké škále různých činností. Autoři těchto studií kritizují zjišťování synergií z jednoduchých úkolů, protože taková synergie, je spíše odrazem omezené činnosti než strategií neurální kontroly. (Tresch, Jarc, 2009, p. 2).

Latash a Anson uvádí, že pokud chceme sledovat určitý fenomén, musíme být schopni ho nejen definovat ale mít i nástroje, které ho umožní identifikovat, nebo ještě lépe určit jeho kvalitu. V oblasti řízení a koordinace atypického pohybu pacientů, kteří hledají pomoc u fyzioterapeutů, jsou často tyto definice a nástroje chybné (Latash, Anson, 2006, p. 1152).

Svalová aktivita odráží aktivitu motoneuronů a vytváří síly, které produkují pohyb. Analýza svalové aktivity může poskytnout lepší pochopení funkčních nedostatků při poruchách nervového systému. Bohužel elektromyografické soubory dat mohou být velké, vysoce variabilní a obtížně interpretovatelné, což brání jejich klinické prospěšnosti, přesto výpočetní analýzy těchto dat mohou být použity k léčbě svalových synergií. Data, která odhalují základní vzory, mohou ozřejmit různé úrovně svalové dysfunkce. Analýzy svalových synergií mohou nabídnout lékařům lepší pohled na nervové struktury podkladné motorickému chování a na jejich změnu při motorickém deficitu nebo rehabilitaci (Safavynia aj., 2011, p. 16).

Autoři Latash a Anson (2006, p. 1151) zdůrazňují, že je pro praktiky v oblasti motorických poruch a rehabilitace důležité, aby si byli vědomi nejnovějšího pokroku ve výzkumu motorického řízení a koordinace.

1.4.2 Synergie a řízení

U svalových synergií se často řeší jejich vztah k efektivnosti řízení. Ting a McKay se domnívají, že nervový systém řídí svalovou aktivaci skrz flexibilní kombinaci svalových synergií. Uvádí, že každá činnost musí být převedena do komplexního svalového vzorce, který vyvolá pohyb. CNS využívá svalových synergií jako souboru řešení, do nichž přepisuje zamýšlený úkon s detailním časoprostorovým svalovým upořádáním. Svalové synergie lze považovat za stavební kameny pohybu. Jsou definovány jako charakteristické vzory aktivovaných svalů, které jsou pro každého unikátní, ale vykonávají stejnou funkci. Autoři předpokládají, že svalové synergie reprezentují nejnížší úroveň hierarchie neurální kontroly. Existence svalových synergií potvrzuje, že z množství motorických řešení je vybrán pouze jeden konkrétní limitovaný soubor (Ting, McKay, 2007, p. 622).

Tresch a Jarc se domnívají, že nejlepšího výkonu CNS dosáhne, pokud řídí přímo jednotlivé svaly. Je zřejmé, že i pohyb, který využívá svalových synergií, je sestaven pomocí jednotlivých svalů. Použití svalových synergií může potenciálně omezit účinnost řízení z CNS, protože užití svalových synergií omezuje škálu svalových aktivačních vzorů. Otázka, zda případné zjednodušení kontroly není na její úkor, zůstává otevřená (Tresch, Jarc, 2009, p. 4).

Neptun, Clark a Kautz provedli studii, ve které se snažili zjistit, zda vytvořené synergistické modely budou schopny vyprodukovat koordinovaný lokomoční pohyb. Simulační analýzou zjistili, že by mohla existovat jednoduchá neurální řídicí strategie. Tuto strategii rozložili do pěti modulů, které byly odpovědné za základní charakteristiky chůze, jako je odraz, zhoupnutí chodidla atd. Potvrdili, že těchto pět modulů bylo schopno generovat specifické biomechanické funkce chůze (Neptun, Clark, Kautz, 2009, p. 1282).

Dalo by se uvažovat, že kortikální systém bude mít zakódováno velké množství synergií a k aktivaci bude vybírat pouze ty, které jsou vhodné pro daný úkol. Následkem by ale byl velmi nízký signál neurální aktivity CNS (Tresch, Jarc, 2009, p. 4). Otázkou také zůstává jak CNS vybírá konkrétní řešení z nesčetných možností, které nabízí motorické efekторы (Latash, Anson, 2006, p. 1152).

1.5 Lateralita

Schopnost provést kvalifikovaný pohyb horními končetinami je definující znak moderního člověka. Asymetrická funkce ve výkonu horních končetin je základním aspektem jejich motorického chování. Tento fenomén, známý jako lateralita, inspiroval řadu vědců v celé řadě oblastí (Goble, Brown, 2007, p. 598).

Lidské mozkové funkce jsou víceméně asymetricky rozděleny mezi mozkové hemisféry. Jedním z nejlepších příkladů této asymetrie je lateralita rukou (Labak et al., 2011, p. 65). Shabbott a Sainburg uvádí, že lateralita je odrazem neurální lateralizace v motorickém projevu (Shabbott, Sainburg, 2008, p. 565). Obecně platí, že lateralita se nejvíce projevuje u jemné motoriky, jako je psaní nebo kreslení. Lateralizované motorické chování se začíná objevovat již mezi 9. - 10. týdnem těhotenství s pohybem jedné paže v dosahu a je na vrcholu mezi 15. - 18. týdnem těhotenství. Lateralita je předurčena geneticky, ale závěrečná funkční asymetrie závisí na celé řadě zevních vlivů (Labak et al., 2011, p. 65).

Vzhledem k velké anatomické symetrii horních končetin je až překvapivé, že se paže nevyvíjí se stejnou obratností, se stejnou kvalitou senzomotorických schopností. Autoři této myšlenky shrnují výzkumy lateralit horních končetin a uvádí, že většina studií je zaměřena na osoby s pravostrannou preferencí. Důvodem může být

skutečnost, že lidé s levostrannou preferencí vykazují menší lateralizaci a větší variabilitu pohybu. Nejsou pouze jednoduše geneticky, nebo motoricky převrácení (Goble, Brown, 2007, p. 599).

Funkční a strukturální asymetrie mezi hemisférami byla nalezena napříč celým mozkiem. Ačkoli existují důkazy, že funkční lateralizace je přítomna uvnitř motorických sítí, jejich vztah k motorickým dovednostem není jasný. Přestože průměrné propojení v levé a pravé hemisféře nebylo signifikantně odlišné, stupeň lateralizace uvnitř motorických sítí byl silně spojený s individuálními rozdíly v motorickém provedení. Lidé s větší levostrannou konektivitou napříč motorickými sítěmi měli tendenci k lepšímu motorickému provedení pravou horní končetinou. Vztah mezi dominancí levé hemisféry a motorickým provedením může být zapříčiněn několika potenciálními faktory. První možností je, že praváci mají pravostranný pohyb lépe trénovaný než levostranný, protože pravá strana je více preferovaná. Z tohoto důvodu pak může docházet k silnějšímu propojení uvnitř kontralaterálních, tedy levostranných obvodů. Také je ale možné, že síla propojení v dominantní hemisféře je podmíněna vývojem motorického řízení, ne získáváním motorických zkušeností (Barber et al., 2012, p. 56).

Končetinová asymetrie motorického chování je evidentní u mnoha živočišných druhů, lidé jsou specifictí tím, že velká část populace preferuje použití pravé horní končetiny. Pozoruhodné je, že podíl praváků je stabilní napříč geografickými lokacemi a kulturami. Tento trend přetrvává dokonce i v čase, což dokazují archeologické nálezy kamenných nástrojů a četná výtvarná vyobrazení praváků napříč staletími (Goble, Brown, 2007, p. 599).

Názor na původ praváctví stále není jednotný. Existuje kontroverzní tvrzení, které označuje praváctví za geneticky fixovaný znak a leváctví za projev patologie, nebo nemoci. Zajímavé je, že tato hypotéza má řadu korelačních zjištění ukazujících na vztah mezi porodním traumatem a vyšším výskytem leváctví. Kromě toho panuje i názor, že leváctví souvisí s kognitivními poruchami jako je schizofrenie a autismus (Goble, Brown, 2007, p. 599). Perelle a Ehrman (2005, p. 348) tato tvrzení popírají.

Další teorie laterality je zakotvena v Mendlovské dědičnosti. „Right shift teorie“ představuje slibnější způsob vysvětlení preference pravé paže. Tento model předpokládá existenci alely RS+, která vede k rozvoji jazykových schopností

a výkonnosti ruky v levé hemisféře. Alela RS- umožňuje rozmístit tento potenciál náhodně v obou hemisférách. Genetické modely jsou často kritizovány pro dvě zdánlivě fatální chyby. Za prvé nedošlo k izolaci genu zodpovědného za laterality a za druhé, studie na jednovaječných dvojčatech tuto teorii nepotvrdily. Dokud nebudou tyto problémy vyřešeny, argumenty genetického základu laterality budou i nadále velmi diskutabilní (Annett, 1998, p. 461-463; Goble, Brown, 2007, p. 599).

Kromě genetického vlivu na laterality byly prozkoumány i vlivy sociokulturní. Zajímavým poznatkem je zjištění, že vyšší procento praváků se vyskytuje u starších lidí. Tato skutečnost může být způsobena nutností vrozených leváků přijmout preferenci pravé končetiny a přizpůsobit se tak životu ve světě praváků, popřípadě vyhnout se náboženskému a sociálnímu stigmatu spojeném s leváctvím. Sociokulturní vliv jako důvod pro praváctví ovšem zůstává nepřesvědčivý, protože i přes silné environmentální tlaky je těžké laterality změnit. S největší pravděpodobností se vliv genetického podkladu a prostředí při tvorbě laterality doplňují (Goble, Brown, 2007, pp. 599-600).

Od dob Liepmanna, který označil levou hemisféru za dominantní pro motorické řízení u praváků, velké množství důkazů podpořilo domněnku, že dominantní hemisféra hraje důležitou roli při pohybu obou rukou. Motorická a premotorická area v dominantní hemisféře je více aktivní než její protějšek během ipsilaterálního, kontralaterálního a bilaterálního pohybu paží. Tato zjištění jsou více konzistentní u praváků, než u leváků (Sainburg, 2002, p. 241).

Jednostranný pohyb vyžaduje kontralaterální řízení, zatímco komplexní pohyb závisí na oboustranné aktivaci (Barber et al., 2012, p. 51). Řízení muskulatury paže pro dosah a úchop vychází z primárního kontralaterálního kortexu, zatímco trup a pletencové svaly jsou řízeny bilaterální projekcí. Aktivace levé a pravé hemisféry během unilaterálního pohybu horní končetinou není symetrická při pohybu dominantní a nedominantní paže (Sainburg, Kalakanis, 2000, p. 2673).

1.5.1 Morfologické hledisko

Snaha o vysvětlení laterality vedla k probádání potenciálního anatomického substrátu jak na makroskopické, tak i na mikroskopické úrovni (Goble, Brown, 2007,

p. 600). U praváků byly nalezeny strukturální rozdíly, které zahrnovaly větší hloubku levého centrálního sulku, větší objem M1 vlevo a větší objem globulus palidum (Barber et al., 2012, p. 51). Planum temporale je delší a větší v levé mozkové hemisféře (Goble, Brown, 2007, p. 600). Sainburg a Kalakanis uvádí, že lateralita byla spojena s morfologickou asymetrií v motorickém kortexu, bazálních gangliích a cerebellu (Sainburg, Kalakanis, 2000, p. 2673).

Vzhledem k hemisferálním rozdílům je motorická kůra asi neprostudovanější oblastí mozku. Měření posmrtného rozsahu kortikálního povrchu v dorsolaterální porci centrálního sulku, jenž je anatomickým markrem velikosti primární senzomotorické kůry, ukázalo větší plochu povrchu v levé hemisféře. Dále se u praváků jeví hlubší precentrální sulcus v levé hemisféře než v pravé a mikroskopicky to potvrzují změny v objemu (Goble, Brown, 2007, p. 601).

Otisky na vnitřním povrchu lebky nazvané „petalia“ poskytují negativ mozkové povrchové topologie a odhalují regionální asymetrie v hemisferálním tvaru a velikosti. Ačkoli petalia v pravém frontálním a levém okcipitálním laloku jsou viditelné téměř u všech jedinců, jsou více prominentní u praváků. Konkrétně u lidí s preferencí pravé horní končetiny je týlní lalok značně širší v levé hemisféře, zatímco frontální lalok je širší v pravé hemisféře. Oba tyto laloky více vyčnívají, což způsobuje anatomickou konfiguraci známou jako „Yakovlevian torque“ a vytváří tak iluzi, že je mozek pootočen proti směru hodinových ručiček (viz obr 1) (Goble, Brown, 2007, p. 601).

Obrázek 1. Transverzální anatomický řez magnetickou rezonancí (Goble, Brown, 2007, p. 601)



1.5.2 Funkční provedení

Kromě zhodnocení funkčně anatomických rozdílů mozku se při studiu laterality hodnotí především generace motoriky paží. Preference končetin se hodnotí na několika typech úkolů. Známa ukázka takového úkolu je již v klasických studiích Woodworta, který posuzoval schopnost subjektů přesně kreslit čáry stejné délky preferovanou a nepreferovanou paží. Při tomto úkolu bylo zjištěno, že pohyb preferované paže byl podstatně přesnější než u nepreferované. Dalším charakteristickým úkolem hodnocení laterality je srovnávání maximální úchopové síly. V tomto úkolu dokáže preferovaná paže vyprodukovat větší úchopovou sílu. Experimenty s rychlým klepáním prstů také prokázaly výhodu preferované horní končetiny především v rychlosti a důslednosti. V neposlední řadě se asymetrie paží v motorickém provedení hodnotí při provádění různých cílených dosahových experimentů (Goble, Brown, 2007, p. 602).

1.5.2.1 Open/closed loop hypotéza

Nejrozšířenější teorií motorické lateralizace je „open/closed loop“ hypotéza. Navrhuje, že predikce a zpětná vazba jsou řízeny každou hemisférou jinak (Sainburg, Schaefer, 2004, p. 1374). Bagesteiro a Sainburg uvádí, že lateralita je nejčastěji zkoumaná podle reakčního času a přesnosti finální pozice rychlého cíleného pohybu. Měření tohoto typu předpokládá rozlišení „open loop“ mechanismů, které jsou nedotčené zpětnou vazbou od „closed loop“ mechanismů, které jsou definované zprostředkováním zpětné vazby (Bagesteiro, Sainburg, 2002, p. 2408).

„Open/closed“ hypotéza byla vyvinuta ze studií srovnávajících motoriku dominantní a nedominantní paže u zdravých dospělých osob. Podpořena byla studiemi zkoumajícími stejnostrannou končetinu pacientů s unilaterální lézí mozku. Termín „closed loop“ označuje mechanismy řízení, které využívají zpětnou vazbu, zatímco „open loop“ mechanismy s ní nejsou pro daný moment spojené. Nicméně „open loop“ jsou pravděpodobně ovlivněny predikcí s využitím sensorických informací získaných během předchozích pohybů (Bagesteiro, Sainburg, 2003, p. 1503, Sainburg, Schaefer, 2004, p. 1374).

Pokusy rozdělit dominantní a nedominantní řízení podle „open a closed loop“ mechanismů přinesly rozporuplné výsledky. Část výsledků podpořila výhodu

dominantní hemisféry v plánování, iniciaci a posloupnosti pohybu a část navrhla výhodu nedominantní hemisféry při přípravě pohybu na základě reakčního času (Sainburg, 2002, p. 241).

Sainburg a Schaefer zvažovali rozdíly mezi horními končetinami v řízení rozsahu pohybu. Testovaní jedinci prováděli opakovaný extenční pohyb v loktu na 4 cíle v rozsahu 10°, 20°, 35° a 45°. Obě paže vykonávaly úkol stejně dobře, nicméně mechanismus odpovědný za rozsah pohybu byl odlišný. Mezi jejich rychlostí a přesností nebyl žádný signifikantní rozdíl (Sainburg, Schaefer, 2004, p. 1379).

U nedominantní paže se vrchol zrychlení měnil v cílové vzdálenosti a jako takový byl tedy chabým ukazatelem rozsahu pohybu. Naopak u dominantní paže se vrchol zrychlení měnil s rozsahem pohybu, zatímco iniciální akcelerace zůstala konstantní. Tyto dva procesy představují nezávislost neurálních mechanismů pro řízení rozsahu pohybu (Sainburg, Schaefer, 2004, p. 1379).

Podle zrychlení rozlišují Sainburg a Schaefer řízení dominantní paže jako „pulse-height“ a nedominantní paže jako „pulse-width“ řízení. Dominantní paže závislá na „pulse-height“ řízení se shoduje s hypotézou, že dominantní řídicí systém je specializován pro „open-loop“ mechanismy plánování pohybu (Sainburg, Schaefer, 2004, p. 1379). „Pulse-width“ řízení je také částečně zprostředkované „open-loop“ mechanismy. „Pulse-height“ je závislé na predikci, zatímco „pulse-width“ řízení může být částečně ovlivněné senzoricou zpětnou vazbou. „Pulse-width“ řízení může sloužit jako mechanismus pro úpravu chyb v „pulse-height“ řízení (Sainburg, Schaefer, 2004, p. 1379, 1381).

„Pulse-height a -width“ řízení patrně odráží vliv „open- a closed-loop“ mechanismů na řízení vzdálenosti pohybu. Zjištění Sainburga a Schaefera poskytují podporu pro tento model, který odráží odlišnost závislosti paží na jednom nebo druhém procesu. Také navrhuje specializaci dominantního systému paže/hemisféra pro „pulse-height“ řízení a nedominantního systému pro „pulse-width“ řízení (Sainburg, Schaefer, 2004, p. 1381).

1.5.2.2 Hypotéza dynamické dominance

Alternativní hypotéza motorické laterality byla navržena Sainburgem. Hypotéza dynamické dominance říká, že systém dominantní hemisféry/končetiny je

specializován pro řízení dynamiky, zatímco nedominantní systém se jeví být specializovaný na řízení pozice nebo postury končetiny. Hypotéza dynamické dominance vyplynula ze studií zkoumajících intersegmentální organizaci během dosahových úkolů, které vyžadovaly pohyb ve více kloubech (Bagesteiro, Sainburg, 2003, p. 1503-1504; Sainburg, Schaefer, 2004, p. 1374).

Zdá se, že řízení dominantní paže lépe využívá interakčních točivých sil daného segmentu, které získá pohybem sousedních segmentů. Trajektorie pohybu dominantní končetiny je na těchto interakčních silách nezávislá. Naopak, křivka pohybu nedominantní horní končetiny se zdá být interakčním silám podřízená, pravděpodobně kvůli nedostatečné predikci interakce segmentů během pohybu. Překvapivě nedominantní paže důsledně vykazuje nepatrně lepší přesnost finální pozice, což naznačuje převahu nedominantní paže při zpracování zpětné vazby. Nicméně role predikce a zpětné vazby při koordinaci horních končetin zůstává málo pochopená (Bagesteiro, Sainburg, 2003, p. 1503-1504).

Scheidt a Ghez například uvádí, že predikce přizpůsobuje provedení za účelem udržení přímočarosti dráhy ruky a přesnosti konečné polohy v odezvě na okolní prostředí a zkrácení vizuální zpětnou vazbou (Scheidt, Ghez, 2007, p. 3600).

Studie Zang et al. testující aktivitu paží poskytla podporu pro dynamický model laterality, který navrhuje, že každá hemisféra a končetina je specializovaná pro ovládání nějakého prvku výkonu. Dominantní systém kontroluje trajektorii a nedominantní stabilitu konečné polohy. Tento model testovali pomocí kmitavého a silového pohybu prstů. Laterality se projevila až při nárůstu síly. Autoři předpokládají, že dominantní ruka je schopna zabránit velké destabilizaci typické pro rychlé úkoly, zatímco nedominantní ruka vykazuje lepší stabilitu v konečné pozici (Zhang et al., 2006, p. 200).

Teorie dynamické dominance a „open/closed loop“ hypotéza motorické lateralizace se mohou do určité míry zdát shodné. Dříve bylo naznačováno, že řízení intersegmentální dynamiky je převážně závislé na anticipačních řídicích mechanismech, které jsou zprostředkované „open loop“ mechanismy. Také byla odhalena možná nadřazenost nedominantní paže při řízení přesnosti finální pozice, pokud není během pohybu dostupná vizuální kontrola. Přesnost ve finální pozici je převážně spojená s událostmi v druhé fázi pohybu, kdy je již zpětná vazba dostupná,

což může být výhodou pro somatosenzoricky založené „closed loop“ řídicí mechanismy (Bagesteiro, Sainburg, 2003, p. 1503).

1.6 Horní kočeta

Moderní lidský mozek se rozvinul až po hominidizaci ruky, tudíž abychom pochopili inteligenci člověka, měli bychom nejdříve pochopit detaily senzomotoriky naší ruky (Bicchi, Gabbicini, Santello, 2011, pp. 3153-3154). Ruka je vysoce komplexní struktura s 27 kostmi, 18 klouby, 39 svaly a 20 stupni volnosti. Tato biomechanická komplexnost opět otevírá otázku motorického řízení CNS (Mason, Gomez, Ebner, 2001, p. 2896). Ruka představuje vynikající model, na kterém lze studovat jednu z nejzajímavějších otázek motorického řízení a to současné ovládání velkého počtu mechanických stupňů volnosti (Schieber, Santello, 2004, p. 2293). Lidská ruka je komplexní struktura a do dnešního dne není plně pochopena neurální architektura, která ji řídí (Castellini, Smagt, 2013, p. 1).

Vývoj dosahu a manipulačních dovedností paže začíná během útlého dětství a dětského věku. Některé aspekty dosahu jsou považovány za vrozené. Schopnost lokalizovat objekt v prostoru a přesunout k němu paži, je například přítomna v nejzákladnější formě už od narození. První pokusy o dosah nejsou ani přesné ani ladné. Postupem času se pohyb stává preciznější, ale stále je segmentovaný. S věkem a zkušenostmi segmentace ubývá a pohyb je precizní a elegantní. Dosahová dynamika zůstává odlišná od dětství až do dospělosti (Schneiberg et al., 2002, p. 143).

U dospělých lidí může být do dosahové strategie přibrán i trup, pokud vzdálenost cíle přesáhne 90% délky paže. Pokud ale dojde k pohybu trupu, přestože vzdálenost předmětu je v anatomickém rozsahu paže, neovlivní to trajektorii pohybu horní končetiny. Z toho vyplývá, že pohyb paže a trupu je řízen různými neuromotorickými synergii. Tyto synergie můžeme rozlišit na dosahovou a sekundární. Dosahová zajišťuje pohyb kloubů směrem k objektu a sekundární vyvolává kompenzační rotaci kloubů paže tak, aby pohyb trupu neovlivnil konečnou trajektorii (Schneiberg et al., 2002, p. 143).

Úchop zakončující dosah, se vyvíjí později v prvním roku života (Schneiberg et al., 2002, p. 143). Proces úchopu vyžaduje vysoce koordinované řízení kontaktních sil. Jedny z prvních vědeckých prací zkoumaly příspěvní senzomotorických informací k jemné úpravě kontaktních sil (Santello, Soechting, 2000, p. 457)

Složité aparát lidské ruky je používán jak při úchopu objektů různých tvarů a velikostí díky společné akci prstů, tak i při individuálním pohybu prstů. V evolučním vývoji nezávislost prstů v centrálním řízení probíhá paralelně se změnami v periferním neuromuskulárním aparátu. Nicméně ani v nejnáročnějších situacích se prsty nepohybují nezávisle. Tato omezení v centrálním i periferním aparátu zaručují efektivnost řízení velkého počtu stupňů volnosti (Shieber, Santello, 2004, p. 2293).

Ačkoli primáti vyvinuli schopnost použít individuální pohyb jednoho prstu, nejpoužívanější je společný pohyb všech prstů za účelem uchopení. Konečná postura ruky je tvarovaná podle kritérií předmětu, ale přesto tento pohyb, uzavírající prsty kolem předmětu, začíná již dlouho před kontaktem (Shieber, Santello, 2004, p. 2294). Úchop objektu může být ovlivněn vlastnostmi cíleného objektu jako je jeho viditelnost, prostorové překážky a úmysl, co s ním hodláme dělat. Křehčí objekty, nebo objekty částečně skryté jsou uchopovány pomaleji, opatrněji a s větším rozevřením dlaně (Voudouris et al., 2012, p. 1).

Existují dva názory na řízení motoriky ruky. První strategie předpokládá, že jsou řízeny jednotlivé svaly a klouby. Druhá zdůrazňuje potřebu zjednodušit řízení. Tuto strategii podporují koncepty synergií, tedy že prsty pracují ve spolupráci s ostatními prsty, zápěstím a paží. Naše prsty se nehýbou izolovaně od ostatních prstů, ani když je cílem pohyb jednoho prstu. Ruka se také nehýbe izolovaně od paže (Mason, Gomez, Ebner, 2001, p. 2897). Aktivní tvarování ruky vyžaduje aktivaci svalů, která ovlivní nejen klouby, které přímo mechanicky souvisí s těmito svaly (Weiss, Flanders, 2004, p. 532). Pohyb paže a příprava úchopu během dosahu jsou vysoce koordinované. Tyto souhry naznačují, že je pravděpodobně zapotřebí globální řídicí strategie horní končetiny (Mason, Gomez, Ebner, 2001, p. 2897).

Některé výsledky naznačují, že existuje společná strategie, která řídí přípravu úchopu během dosahu (Mason, Gomez, Ebner, 2001, p. 2897). Tvarování ruky pro úchop se připravuje během celého dosahu. Začíná extenzí prstů a palce a pokračuje flexí v očekávaném kontaktu s objektem. Tento průběh se zdá být konzistentní bez ohledu na tvar objektu, úchop a probanda (Mason, Gomez, Ebner, 2001, p. 2908).

Konečná statická postura ruky může být popsána malým počtem posturálních synergií. Tyto synergie mohou být definované jako primitivní prostorová konfigurace úchopu, která je běžná napříč různými úkoly. Přítomnost dynamických posturálních synergií, které by přispívaly k vytvoření úchopu, nebyla dosud rozpoznána (Mason, Gomez, Ebner, 2001, p. 2897). Bicci, Gabiccini a Santello se pokusili vymodelovat proces aktivního doteku a uchopení. Začali pozorováním lidské ruky, vypočítali korelaci stupňů volnosti ve vzorech nejčastějšího použití a tak vytvořili posturální synergie. Tyto výpočty aplikovali na geometrický model a výsledky naznačily, že ty samé synergie, které se účastní před-úchopové fáze, jsou nezbytné i pro správné rozložení sil. Poznatky o synergistických modelech se pak snažili aplikovat při vytváření umělé ruky a taktilních senzorů (Bicchi, Gabiccini, Santello, 2011, pp. 3153-3154). Mason, Gomez a Ebner na základě svých poznatků předpokládají, že pro finální pozici ruky, pokud je závislá na funkci, existuje jeden pohybový vzor (Mason, Gomez, Ebner, 2001, 2907).

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je objektivizovat rozdíly mezi pravou a levou horní končetinou na základě hodnocení svalové aktivity proximálních a distálních svalů a jejich vzájemných korelací během cíleného úkolu prováděném horními končetinami.

2.1 Otázky a hypotézy

S ohledem na stanovený cíl práce jsme definovali následující vědecké otázky a nulové hypotézy (H_0).

2.1.1 Vědecká otázka 1

Jaký je rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení malého válce (MV), velkého válce (VV), malé koule (MK), velké koule (VK) a pera (P).

H_{01} : *Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při dosahu MV, VV, MK, VK a P.*

H_{02} : *Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při úchopu MV, VV, MK, VK a P.*

H_{03} : *Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při oddálení MV, VV, MK, VK a P.*

H_{04} : *Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při přiblížení MV, VV, MK, VK a P.*

H_{05} : *Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny napříč jednotlivými fázemi cílené aktivity přesunu MV, VV, MK, VK a P.*

2.1.2 Vědecká otázka 2

Jaký je vzájemný vztah mezi distálními a proximálními svaly při dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK a P.

H₀₆: Mezi aktivitou mm. extensores antebrachii a aktivitou proximálních svalů při jednotlivých fázích cílené aktivity (dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK a P) neexistuje vzájemná korelace na pravé ani na levé horní končetině.

H₀₇: Mezi aktivitou mm. flexores antebrachii a aktivitou proximálních svalů při jednotlivých fázích cílené aktivity (dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK a P) neexistuje vzájemná korelace na pravé ani na levé horní končetině.

2.1.3 Vědecká otázka 3

Jaký je rozdíl v korelačních koeficientech mezi pravou a levou horní končetinou u statisticky významných korelací mezi distálními a proximálními svaly během dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK a P, jednotlivých končetin.

H₀₈: Není rozdíl v korelačních koeficientech mezi pravou a levou horní končetinou při srovnání statisticky významných korelací mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly během jednotlivých fází cílené aktivity (dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK, P).

H₀₉: Není rozdíl v korelačních koeficientech mezi pravou a levou horní končetinou při srovnání statisticky významných korelací mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly během jednotlivých fází cílené aktivity (dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK, P).

3 METODIKA

3.1 Charakteristika souboru

Výzkumu se zúčastnilo 31 zdravých probandů. První část skupiny tvořilo 19 mladších žen o průměrném věku 24,89 (\pm 1,02) let, průměrné výšce 169,63 (\pm 3,63) centimetrů (cm) a průměrné hmotnosti 64,21 (\pm 5,83) kilogramů (kg). Druhou část skupiny tvořilo 7 žen a 5 mužů průměrného věku 53,42 (\pm 4,8) let, průměrné výšky 170 (\pm 8,84) cm a váhy 76,33 (\pm 11,33) kg.

V celku se měření zúčastnilo 26 žen a 5 mužů a celá skupina probandů měla průměrný věk 35,94 (\pm 14,23) let, průměrnou výšku 169,77 (\pm 6,19) cm a váhu 68,9 (\pm 10,27) kg. Podrobná statistická tabulka je umístěna v příloze (viz příl 1, s. 108). Všichni probandi byli po neurologické i interní stránce zdraví a na horních končetinách nebyla anamnesticky zjištěna žádná akutní ani chronická traumata. Dominantní končetina všech zúčastněných byla pravá. Kožní kryt v místech lepení snímacích elektrod byl neporušený. Všichni probandi podepsali informovaný souhlas schválený etickou komisí Fakulty zdravotnických věd (viz příl 2, s. 109).

3.2 Výzkumná metoda

Pro měření byl využit 16 kanálový povrchový elektromyograf Myosystém od firmy Noraxon, který snímal svalovou aktivitu na obou horních končetinách.

3.3 Výběr probandů

Probandy jsme zařazovaly do studie na základě jejich dobrého zdravotního stavu a dominance pravé horní končetiny. Všichni probandi podstoupili test psaní a test

přesného hodu pro ozřejmení dominance horní končetiny. Všichni uváděli jako dominantní končetinu pravou a u všech se tato dominance oběma testy potvrdila.

3.4 Příprava na měření

Muži měli svlečenou horní polovinu těla, ženy až na spodní prádlo, aby byla zajištěna dobrá přístupnost k měřeným svalům. Probandům byla ve stoje při izometrické kontrakci vypalovaná bříška měřených svalů. Střed těchto bříšek byl očištěn abrazivní pastou, omyt dočista vodou a vytřen dosucha bavlněným ručníkem. Na očištěný střed, kolmo na průběh svalových vláken, byly nalepeny 2 snímací elektrody. Zemnicí elektroda byla umístěna na processus spinosus obratle C7, který byl vypalován v předklonu hlavy a očištěn. Kontrola umístění elektrod byla provedena porovnáním izometrické kontrakce příslušného svalu s jeho elektromyografickým záznamem. Po kontrole byly zajištěny zesilovače signálu lepicí páskou tak, aby byl umožněn volný pohyb horních končetin, nedocházelo k jejich odlepení ani tvorbě rušivých signálů. Svalová aktivita byla během měření snímána 16 svodových povrchovým elektromyografem Myosystem od firmy Noraxon. Všechny 16 kanálů bylo využito pro snímání svalů, liché kanály pro svaly levé a sudé kanály pro svaly pravé horní končetiny.

- 1 kanál musculus (m.) trapezius pars descendens l. sin
- 2 kanál m. trapezius pars descendens l. dx
- 3 kanál m. deltoideus, pars anterior l. sin
- 4 kanál m. deltoideus, pars anterior l. dx
- 5 kanál m. pectoralis major l. sin
- 6 kanál m. pectoralis major l. dx
- 7 kanál m. infraspinatus l. sin
- 8 kanál m. infraspinatus l. dx
- 9 kanál m. serratus anterior l. sin
- 10 kanál m. serratus anterior l. dx
- 11 kanál m. latissimus dorsi l. sin
- 12 kanál m. latissimus dorsi l. dx

13 kanál mm. extensores antebrechii l. sin

14 kanál mm. extensores antebrechii l. dx

15 kanál mm. flexores antebrechii l. sin

16 kanál mm. flexores antebrechii l. dx

3.5 Průběh měření

Měření probíhalo v Kineziologické laboratoři Oddělení rehabilitace Fakultní nemocnice Olomouc v pracovních dnech od 7:00 do 15:30. V laboratoři bylo zajištěno klidné a příjemné prostředí.

Na začátku měření byli probandi seznámeni s jeho průběhem a podepsali informovaný souhlas. Poté proběhla příprava na měření, kdy byly nalepeny elektrody a připojen povrchový elektromyograf.

Takto připravení probandi se posadili na židli v modifikovaném standardizovaném sedu dle Brügera čelem ke stolu. Židle měla konstantní výšku 45 cm. Dolní končetiny byly opřené o plošky, kolena flectovaná a v mírném abdukčním postavení. Pánev byla ve středním postavení. Horní končetiny se opíraly polovinou předloktí o stůl. Ruce byly položeny dlaní dolů. Na stole byla křížkem z lepicí pásky vyznačena vzdálenost 20 cm od kraje stolu, vedle které si pacient položil dlaně. Další značka byla umístěna do vzdálenosti probandovy natažené paže extendované v lokti bez rotace a předklonu trupu.

Dále byl přesně vysvětlen vlastní úkol měření. Ten spočíval v cíleném přemisťování dřevěných předmětů kulovitého a válcovitého tvaru. Těchto předmětů bylo 5. Malý válec, velký válec, malá koule, velká koule a pero (viz příl 3, s. 111). Úkolem bylo uchopit předmět ve vzdálenosti 20 cm, přemístit jej na značku natažené paže, položit, pustit a opět uchopit, vrátit zpět na značku 20 cm, položit, pustit a položit paži na stůl dlaní dolů. Pohyb začínal na startovací povel „ted“. Tento průběh byl totožný pro pravou i levou končetinu a proband měl možnost si jej před začátkem měření vyzkoušet.

Nejprve byla změřena klidová aktivita svalů po dobu 20 sekund (s) a poté probíhalo měření cíleného přesunu předmětu z výchozí pozice na konečnou a zpět ve 3 opakováních nejprve pro levou a poté pro pravou horní končetinu. Uchopované

předměty měly stálé pořadí u všech probandů a to malý válec, velký válec, malá koule, velká koule a pero.

3.6 Zpracování a vyhodnocení EMG záznamu

Ke zpracování a vyhodnocení EMG záznamu byl využit program Myoresearch Master XP. Pro vyhodnocení byl naměřený záznam rozdělen na 4 fáze - dosah, úchop, oddálení a přiblížení. Dosah začínal startovacím povelům a končil dosahem k předmětu. Za fázi úchopu byl považován úsek od ukončení dosahu po sevření předmětu dlaní a prsty. Oddálení vymezovalo nadzvednutí předmětu a jeho položení na značku natažené paže. Přiblížení pak opět začínalo nadzvednutím předmětu a končilo jeho vrácením zpět a odložení na značku 20 cm. Celkem byla provedena 3 opakování pro každou končetinu a předmět, tedy 30 úkolů.

Elektromyografický záznam měření byl standardně upravený elektrokardiografickou (EKG) redukcí, dále byl rektifikovaný a vyhlazený 50 RMS. Číselné hodnoty všech 3 pokusů byly při tvorbě reportu zprůměrovány.

Data získaná pomocí funkce Standart report byla dále zpracována v programu Microsoft (MS) Excel 2007. Ze záznamu klidové aktivity bylo vybráno pět sekund, pro všechny probandy stejný úsek od 5. po 10. sekundu. Z tohoto úseku byl vytvořen report a získaná průměrná klidová aktivita pro jednotlivé svaly nám umožnila vypočítat aktivační hodnotu všech měřených svalů pravé a levé horní končetiny. Aktivační hodnota byla vypočítána v programu MS Excel 2007 jako průměrná klidová svalová aktivita plus dvě její směrodatné odchylky.

Průběh svalové aktivity v každé jednotlivé fázi cílené aktivity byl v reportu rozdělen na 100 částí. Všechny těchto 100 hodnot bylo v programu MS Excel 2007 vyděleno aktivační hodnotou. Takto vypočítaná data jsme nazvali násobky aktivační hodnoty a ty byly dále statisticky zpracovány.

3.7 Statistické zpracování

Naměřená data byla statisticky zpracovaná programem Matlab, softwarem Statistika CZ verze 10 a pro finální úpravy byl částečně použit i software Excel 2007.

Z násobků aktivačních hodnot jednotlivých svalů byly v programu Matlab vypočítány integrály plochy pod křivkou a jejich statistické charakteristiky, se kterými se dále pracovalo ve vybraných statistických testech. Pro výpočet statistického rozdílu svalové aktivity jednotlivých svalů mezi pravou a levou horní končetinou byl použit Pearsonův T-test pro závislé vzorky, který slouží k porovnání středních hodnot uspořádaných dvojic, u nás tedy hodnot svalové aktivity pravé a levé horní končetiny. Vyhodnocení statistického rozdílu svalové aktivity mezi pravou a levou horní končetinou napříč fázemi bylo vypočítáno v dvojrozměrné analýze ANOVA s interakcemi pro opakovaná měření. Dva rozměry byly v našem případě pravá a levá horní končetina a opakovaná měření jednotlivé fáze cílené aktivity.

Vztah mezi distálními a proximálními svaly na pravé a na levé horní končetině byl objektivizován výpočtem korelačních koeficientů předem určených dvojic svalů. Dvojice byly pro pravou i levou horní končetinu stejné. První sadu dvojic tvořili mm. extensores antebrachii a postupně všechny proximální svaly a druhou sadu dvojic mm. flexores antebrachii a opět všechny proximální svaly. U statisticky významných korelací bylo na závěr zjišťováno, zda se jejich hodnota liší mezi pravou a levou horní končetinou.

4 VÝSLEDKY

4.1 Výsledky k vědecké otázce 1

Vědecká otázka 1 zní: „*Jaký je rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení malého válce (MV), velkého válce (VV), malé koule (MK), velké koule (VK) a pera (P).*“

H₀1: Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při dosahu MV, VV, MK, VK a P.

- **zamítáme pro** m. serratus anterior v dosahu MV, VV, P

Na základě statistického zpracování naměřených dat pravé a levé horní končetiny pomocí T-testu pro závislé vzorky zamítáme hypotézu H₀ na hladině statistické významnosti $p=0,05$. Statisticky významný rozdíl mezi pravou a levou horní končetinou byl zjištěn u m. serratus anterior během dosahu malého válce, velkého válce a pera při vyšší aktivitě na pravé horní končetině (viz tab. 1, s. 42).

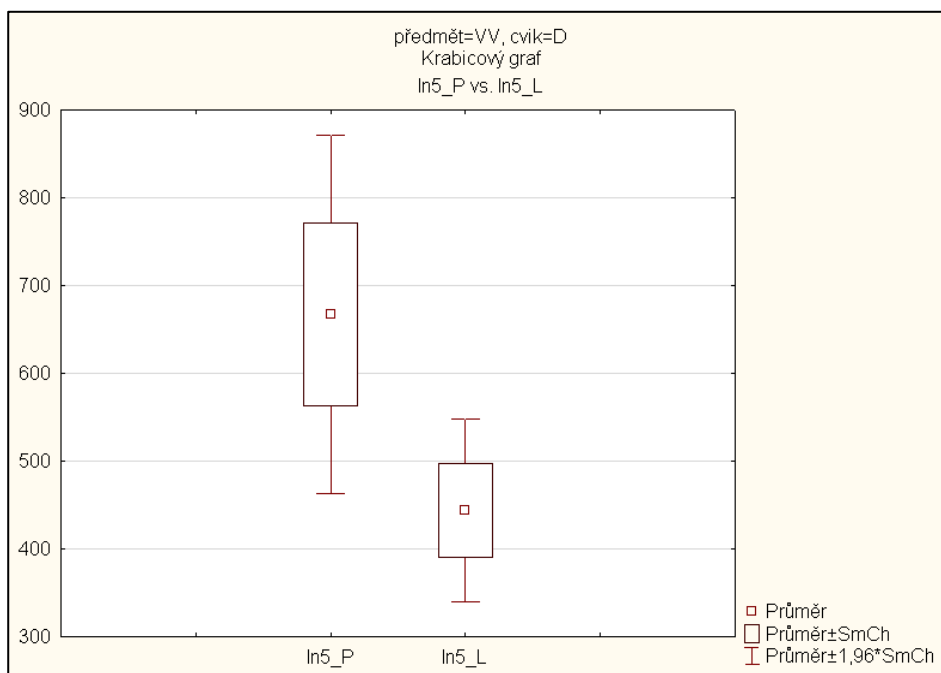
Z tabulky statistické významnosti (viz tab 1, s. 42) vyplývá, že nejnižší hladiny významnosti dosáhl m. serratus anterior při dosahu velkého válce. Srovnání hodnot průměrných integrálů pravé a levé horní končetiny v této situaci je znázorněno v boxovém grafu (viz graf 1, s. 42). Všechny průměrné hodnoty m. serratus anterior obou horních končetin při dosahu jsou shrnuty v tabulce (viz tab 2, s. 43) a graficky (viz graf 2, s. 43).

Tab 1. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L při dosahu

DOSAHI	MV	VV	MK	VK	P
TD	0,387649	0,345952	0,32795	0,331713	0,451437
DA	0,987882	0,927781	0,945833	0,933435	0,901736
PM	0,677794	0,561897	0,958195	0,720218	0,968938
IS	0,823356	0,520434	0,533735	0,709793	0,303121
SA	0,049577	0,036591	0,057368	0,129532	0,039223
LD	0,111266	0,155461	0,126053	0,056126	0,084515
EA	0,93967	0,940475	0,901607	0,66576	0,844651
FA	0,372121	0,383522	0,148354	0,130638	0,722062

Legenda: MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, IS – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, EA – mm. extensores antebrachii, FA – mm. flexores antebrachii, červeně je zvýrazněná statisticky významná hodnota

Graf 1. Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při dosahu velkého válce

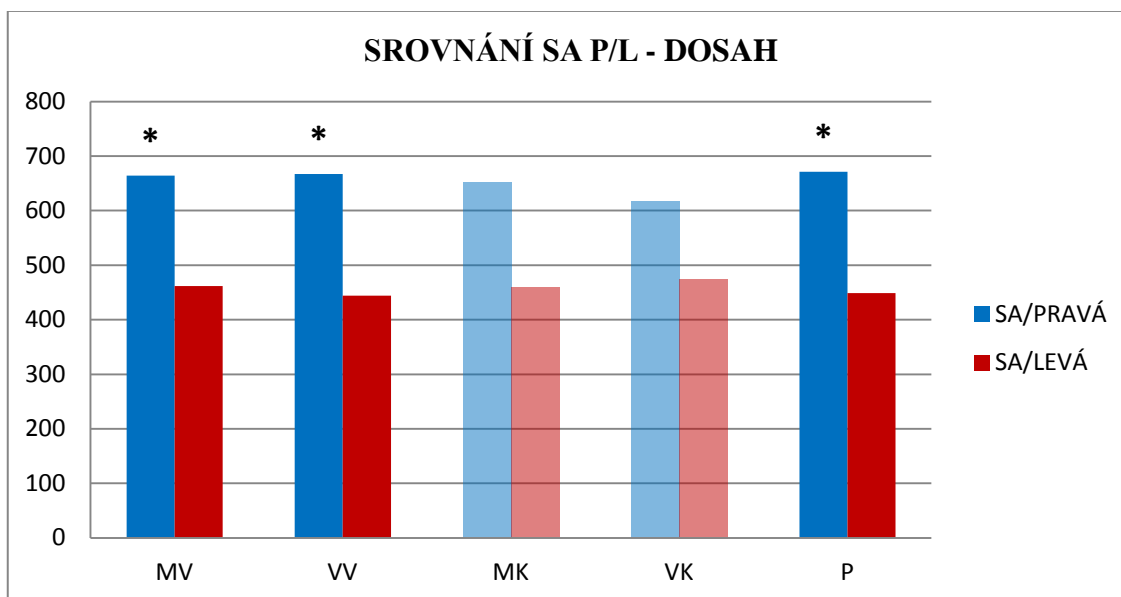


Tab 2. Průměrná hodnota integrálů při dosahu

DOSAĤ	MV	VV	MK	VK	P
SA/PRAVÁ	664,0843	667,1307	651,3202	616,6236	671,254
SA/LEVÁ	461,7305	443,8741	459,2038	474,9673	448,8424

Legenda: MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, SA – m. serratus anterior, tučně jsou zvýrazněné vyšší hodnoty svalové aktivity

Graf 2. Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při dosahu



Legenda: SA – m. serratus anterior, P – pravá, L – levá, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, hvězdička označuje statisticky významnou hodnotu

H₀2: Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při úchopu MV, VV, MK, VK a P.

- **zamítáme pro m. serratus anterior v úchopu MV**

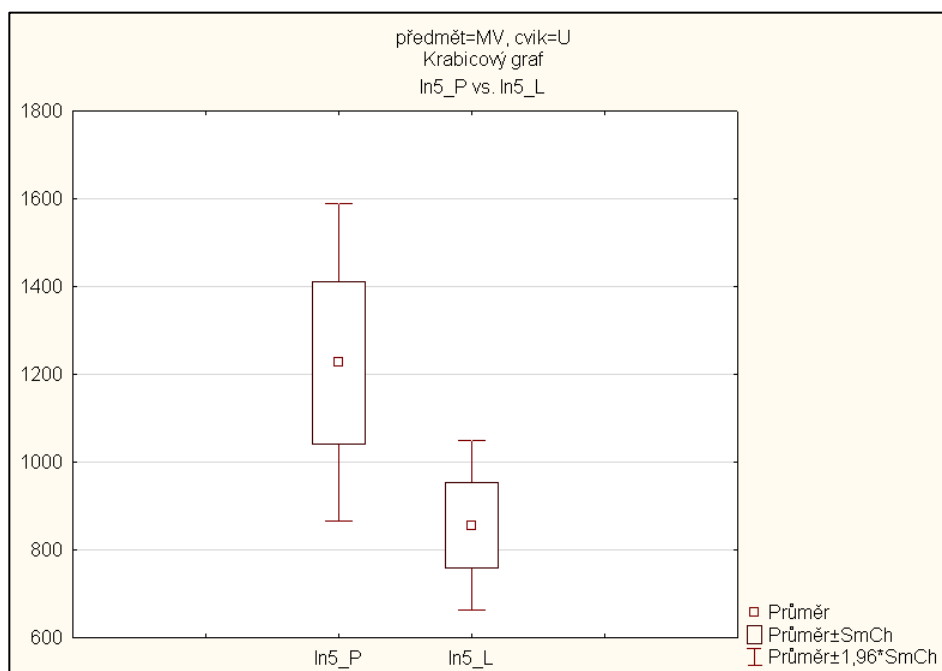
Na základě statistického zpracování naměřených dat pravé a levé horní končetiny pomocí T-testu pro závislé vzorky zamítáme hypotézu H₀ na hladině statistické významnosti p=0,05. Statisticky významný rozdíl mezi pravou a levou horní končetinou byl zjištěn u m. serratus anterior během úchopu malého válce při vyšší aktivitě na pravé horní končetině (viz tab 3, s. 44). Průměrné hodnoty integrálů m. serratus anterior pravé a levé horní končetiny při úchopu malého válce lze vidět v boxovém grafu (viz graf 3, s. 44). V tabulce (viz tab 4, s. 45) a grafu (viz graf 4, 45) jsou srovnané průměrné hodnoty integrálů m. serratus anterior při úchopu.

Tab 3. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L při úchopu

UCHOP	MV	VV	MK	VK	P
TD	0,235829	0,094901	0,114461	0,316858	0,614122
DA	0,781439	0,918236	0,626886	0,894309	0,876914
PM	0,783905	0,608941	0,74284	0,6392	0,839785
IS	0,971105	0,661438	0,714293	0,568171	0,540742
SA	0,042687	0,065322	0,279727	0,316793	0,116556
LD	0,207896	0,196449	0,315594	0,084943	0,218484
EA	0,911144	0,742183	0,925295	0,306306	0,529019
FA	0,071913	0,174998	0,166437	0,069788	0,776521

Legenda: MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, IS – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, EA – mm. extensores antebrachii, FA – mm. flexores antebrachii, červeně je zvýrazněná statisticky významná hodnota

Graf 3. Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při úchopu malého válce



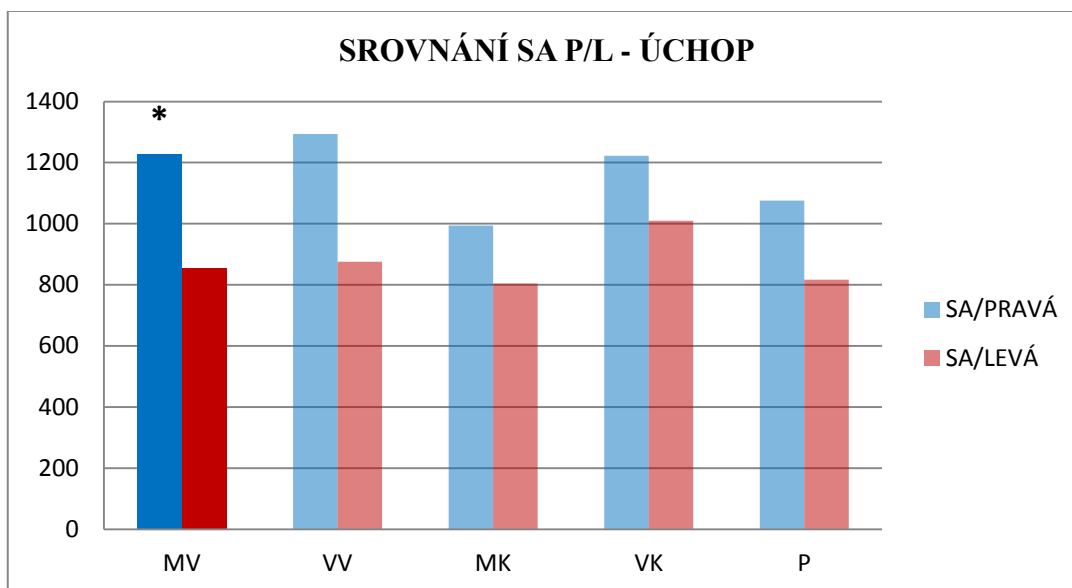
Legenda: In5_P – m. serratus anterior vpravo, In5_L – m. serratus anterior vlevo

Tab 4. Průměrná hodnota integrálů při úchopu

ÚCHOP	MV	VV	MK	VK	P
SA/PRAVÁ	1226,645	1293,42	994,1511	1222,345	1075,81
SA/LEVÁ	856,123	875,41	804,047	1009,914	816,519

Legenda: MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, SA – m. serratus anterior, tučně jsou zvýrazněné vyšší hodnoty svalové aktivity

Graf 4. Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při úchopu



Legenda: SA – m. serratus anterior, P – pravá, L – levá, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, hvězdička označuje statisticky významnou hodnotu

H₀3: Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při oddálení MV, VV, MK, VK a P.

- **zamítáme pro** mm. flexores antebrachii v oddálení P

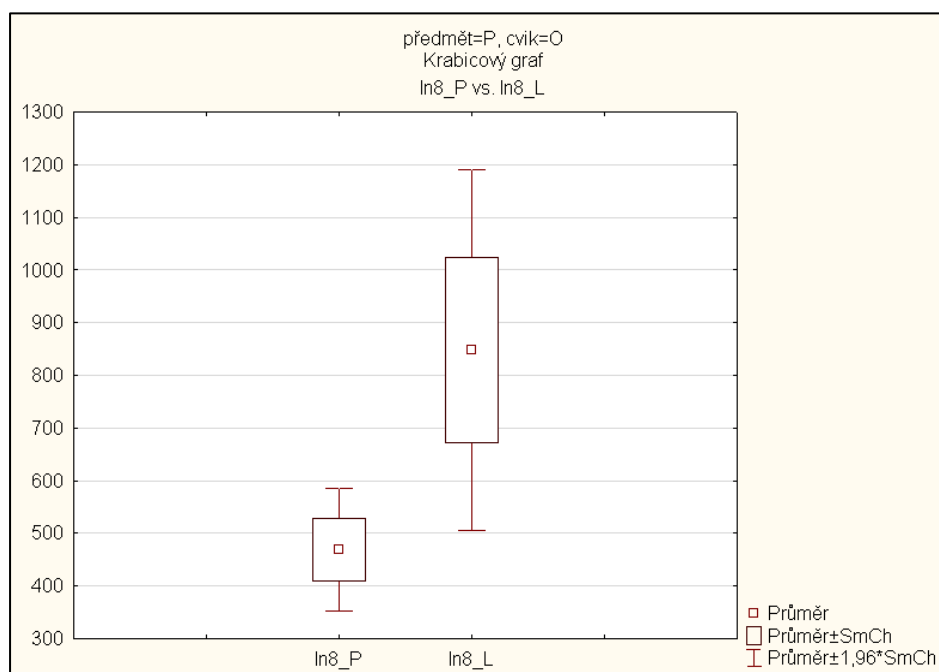
Na základě statistického zpracování naměřených dat pravé a levé horní končetiny pomocí T-testu pro závislé vzorky zamítáme hypotézu H₀ na hladině statistické významnosti p=0,05. Statisticky významný rozdíl mezi pravou a levou horní končetinou byl zjištěn u mm. flexores antebrachii během oddálení pera při vyšší aktivitě na PHK (viz tab 5, s. 46). Rozdílné hodnoty průměrných integrálů pravé a levé horní končetiny jsou graficky znázorněny (viz graf 5, s. 46). Tabulka (viz tab 6, s. 47) a graf (viz graf 6, s. 47) pak ukazují průměrné hodnoty integrálů mm. flexores antebrachii pro oddálení.

Tab 5. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L při oddálení

ODDÁLENÍ	MV	VV	MK	VK	P
TD	0,23298	0,182203	0,586217	0,988931	0,589177
DA	0,963281	0,960066	0,773512	0,840344	0,810228
PM	0,914337	0,855115	0,881778	0,998846	0,558446
IS	0,914003	0,287505	0,979497	0,609271	0,894377
SA	0,09354	0,106403	0,12787	0,159	0,103978
LD	0,346466	0,198527	0,195272	0,137575	0,129798
EA	0,655856	0,595769	0,936501	0,429405	0,824421
FA	0,186093	0,508186	0,150234	0,3517	0,030059

Legenda: MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, IS – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, EA – mm. extensores antebrachii, FA – mm. flexores antebrachii, červeně je zvýrazněná statistická významná hodnota

Graf 5. Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při oddálení pera



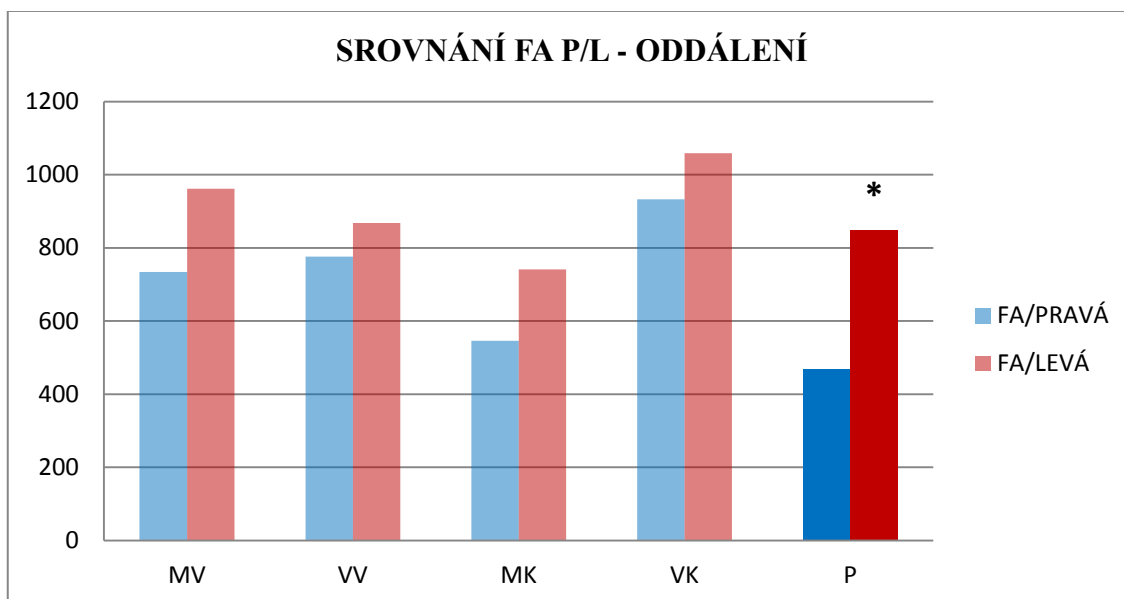
Legenda: In8_P – mm. flexores antebrachii vpravo, In8_L – mm. flexores antebrachii vlevo

Tab 6. Průměrná hodnota integrálů při oddálení

ODDÁLENÍ	MV	VV	MK	VK	P
FA/PRAVÁ	733,6636	775,9483	545,9277	932,329	468,724
FA/LEVÁ	961,5909	867,7917	741,2539	1059,068	848,0529

Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, FA – mm. flexores antebrachii, tučně jsou zvýrazněné vyšší hodnoty svalové aktivity

Graf 6. Průměrná hodnota integrálů mm. flexores antebrachii P/L při oddálení



Legenda: FA – mm. flexores antebrachii, P – pravá, L – levá, MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, hvězdička označuje statisticky významnou hodnotu

H₀₄: Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny při přiblížení MV, VV, MK, VK a P.

- **nelze zamítnout**

Na základě statistického zpracování naměřených dat pravé a levé horní končetiny pomocí T-testu pro závislé vzorky nelze zamítnout hypotézu H₀ na hladině statistické významnosti p=0,05. Statisticky významný rozdíl mezi pravou a levou horní končetinou nebyl nalezen při přiblížení u žádného svalu ani předmětu (viz tab 7, s. 48).

Tab 7. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L při přiblížení

PŘIBLÍŽENÍ	MV	VV	MK	VK	P
TD	0,671579	0,422341	0,310206	0,330936	0,467061
DA	0,953389	0,746133	0,917229	0,726821	0,599325
PM	0,998825	0,834485	0,802749	0,988072	0,575138
IS	0,813571	0,455556	0,643034	0,458612	0,943378
SA	0,065506	0,070099	0,085448	0,117793	0,183492
LD	0,142772	0,156969	0,142421	0,125955	0,095385
EA	0,824779	0,582076	0,932249	0,326733	0,899453
FA	0,147953	0,182991	0,079961	0,535473	0,186601

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

H₀5: Není statisticky významný rozdíl v aktivitě svalů pravé a levé horní končetiny napříč jednotlivými fázemi cílené aktivity přesunu MV, VV, MK, VK a P.

- **nelze zamítnout**

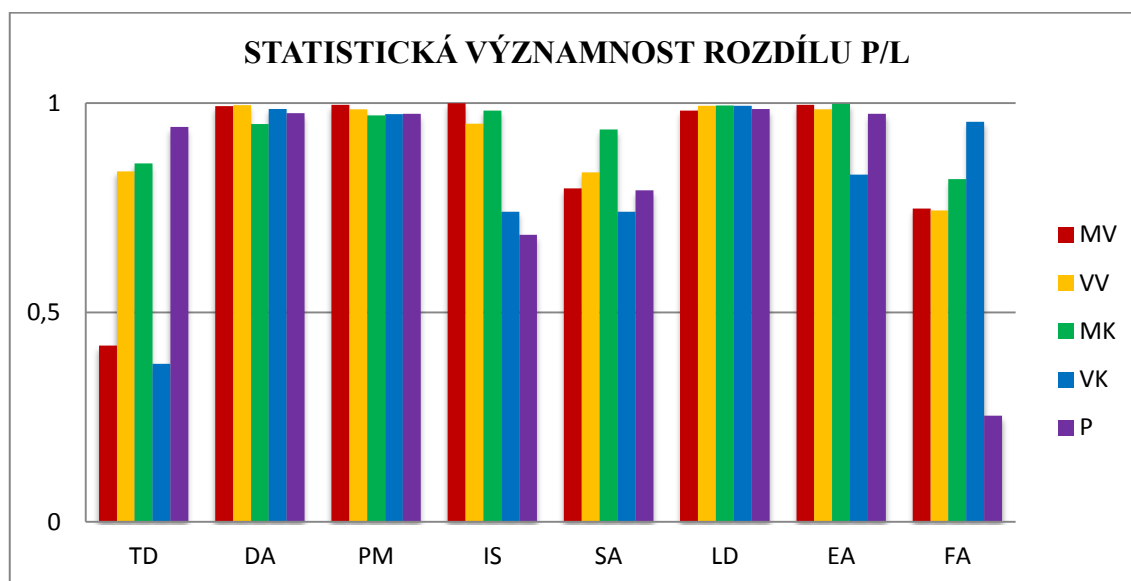
Pomocí dvourozměrné analýzy opakovaných měření ANOVA jsme zjišťovali, zda se liší svalová aktivita u pravé a levé horní končetiny napříč jednotlivými fázemi cílené aktivity. Výsledné hodnoty nedosáhly hladiny statistické významnosti $p=0,05$ a proto H_0 nezamítáme. Hodnoty statistické významnosti jsou uvedeny v tabulce (viz tab 8, s. 49) a znázorněny graficky (viz graf 7, s. 49). Srovnání průměrných hodnot integrálů pravé a levé paže s nejnižší (viz graf 8, s. 50) a nejvyšší (viz graf 9, s. 50) hladinou statistickou významností je uvedeno v grafech.

Tab 8. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L napříč fázemi

FÁZE	MV	VV	MK	VK	P
TD	0,421281	0,837162	0,855644	0,377314	0,942745
DA	0,992687	0,995127	0,949856	0,985716	0,975675
PM	0,995584	0,985212	0,970432	0,973539	0,97446
IS	0,999452	0,95092	0,982079	0,74085	0,685696
SA	0,796572	0,83443	0,937148	0,74085	0,791619
LD	0,982055	0,993422	0,994653	0,993362	0,985665
EA	0,995932	0,985452	0,998231	0,82927	0,97456
FA	0,748291	0,74355	0,818274	0,955043	0,2541

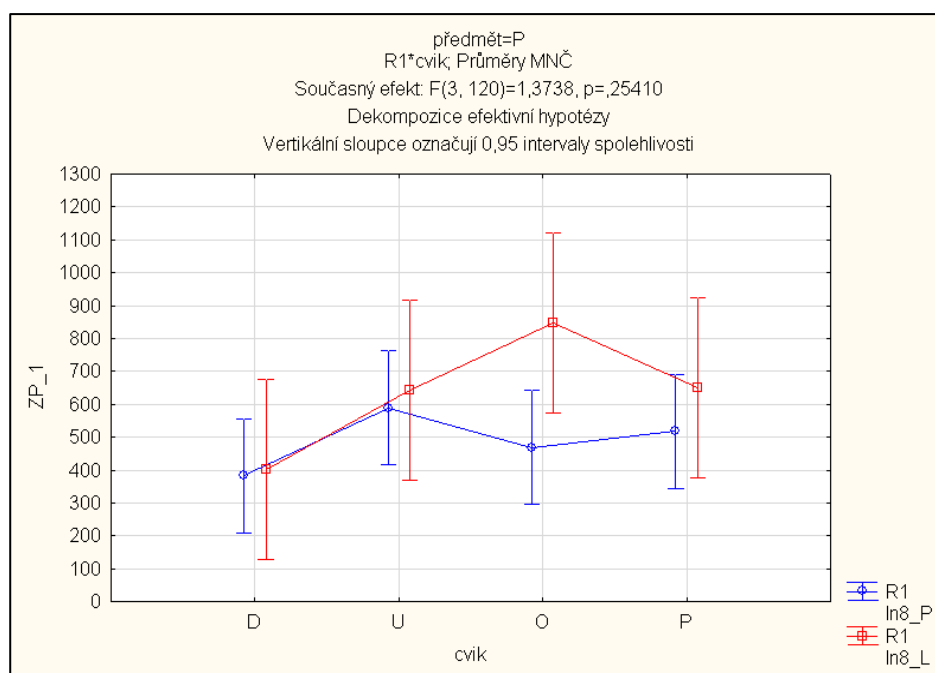
Legenda: MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, IS – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, EA – mm. extensores antebrachii, FA – mm. flexores antebrachii, tučně je zvýrazněná nejvyšší a nejnižší hodnota statistické významnosti

Graf 7. Statistická významnost rozdílu mezi P/L napříč fázemi cílené aktivity



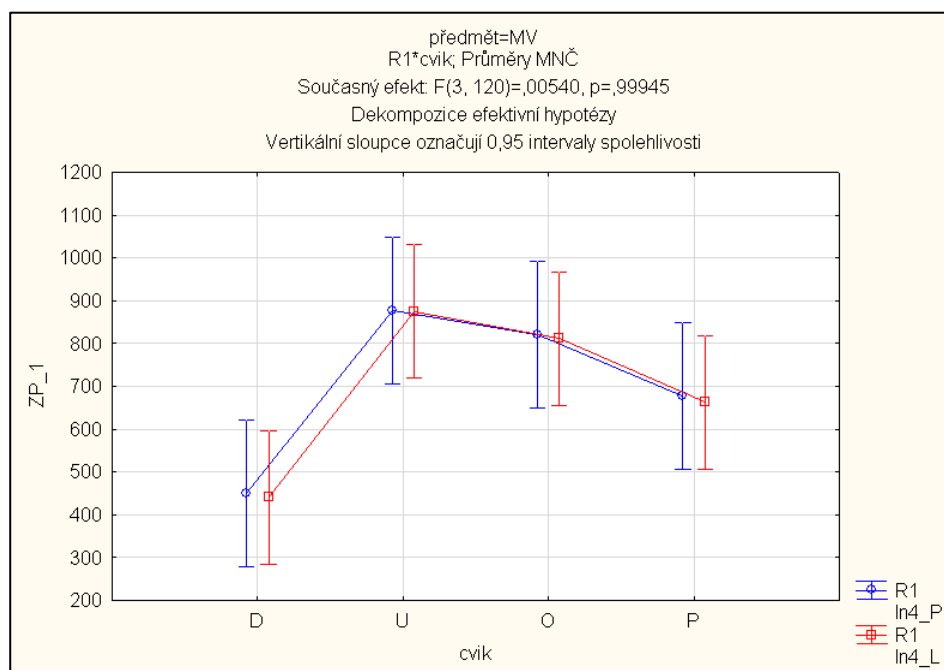
Legenda: MV – malá koule, VV – velká koule, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD – m. trapezius pars descendens, DA – m. deltoideus pars anterior, PM – m. pectoralis major, IS – m. infraspinatus, SA – m. serratus anterior, LD – m. latissimus dorsi, EA – mm. extensores antebrachii, FA – mm.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

Graf 8. Průměrná hodnota integrálů mm. flexores antebrachii P/L napříč fázemi



Legenda: In8_P – mm. flexores antebrachii vpravo, In8_L – mm. flexores antebrachii vlevo

Graf 9. Průměrná hodnota integrálů m. infraspinatus P/L napříč fázemi



Legenda: In4_P – m. infraspinatus vpravo, In4_L – m. infraspinatus vlevo

4.2 Výsledky k vědecké otázce 2

Vědecká otázka 2 zní: „*Jaký je vzájemný vztah mezi distálními a proximálními svaly při dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK a P.*“

H₀6: Mezi aktivitou mm. extensores antebrachii a aktivitou proximálních svalů při jednotlivých fázích cílené aktivity (dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK a P) neexistuje vzájemná korelace na pravé ani na levé horní končetině.

Dosah

PHK - nelze zamítnout pro všechny proximální svaly

LHK - nelze zamítnout pro všechny proximální svaly

Úchop

PHK - nelze zamítnout pro všechny proximální svaly

LHK - **zamítáme** pro **m. trapezius pars descendens** během úchopu **MK**

Oddálení

PHK - nelze zamítnout pro všechny proximální svaly

LHK - nelze zamítnout pro všechny proximální svaly

Přiblížení

PHK - nelze zamítnout pro všechny proximální svaly

LHK - **zamítáme** pro **m. pectoralis major** během **přiblížení MK**

Dosah

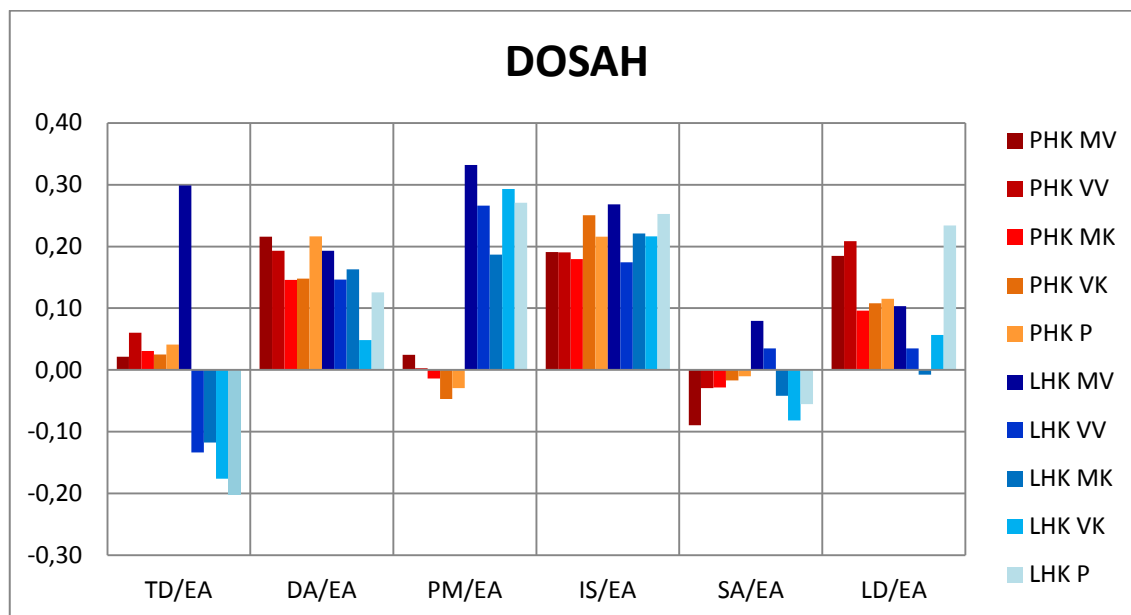
Na základě statistického zpracování korelačních koeficientů (viz tab 9, s. 52) mezi mm. extensores antebrachii a jednotlivými proximálními svaly během dosahu můžeme říct, že žádná z nich nedosáhla hladiny statistické významnosti $p=0,05$, a proto nulovou hypotézu H_0 nelze zamítnout pro pravou ani levou horní končetinu. Hodnoty korelačních koeficientů jsou uvedeny v grafu (viz graf 10, s. 53).

Tab 9. Korelační koeficienty mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly při dosahu

	DOSAH PHK					DOSAH LHK				
	MV	VV	MK	VK	P	MV	VV	MK	VK	P
TD/EA	0,02	0,06	0,03	0,02	0,04	0,299	-0,134	-0,118	-0,176	-0,201
DA/EA	0,216	0,193	0,146	0,148	0,216	0,193	0,146	0,163	0,048	0,126
PM/EA	0,024	0,003	-0,014	-0,047	-0,029	0,332	0,266	0,187	0,293	0,271
IS/EA	0,191	0,191	0,179	0,250	0,216	0,268	0,174	0,221	0,216	0,253
SA/EA	-0,089	-0,029	-0,028	-0,017	-0,010	0,080	0,035	-0,042	-0,082	-0,055
LD/EA	0,185	0,208	0,096	0,108	0,115	0,103	0,035	-0,007	0,057	0,234

Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. extensores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. extensores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. extensores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. extensores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. extensores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. extensores antebrachii

Graf 10. Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při dosahu



Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. extensores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. extensores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. extensores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. extensores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. extensores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. extensores antebrachii

Úchop

Statistické zpracování korelačních koeficientů, pravé horní končetiny mezi mm. extensores antebrachii a jednotlivými proximálními svaly během přiblížení, neprokázalo žádnou korelaci, která by dosáhla hladiny statistické významnosti $p=0,05$, a proto nulovou hypotézu H_0 nelze zamítnout.

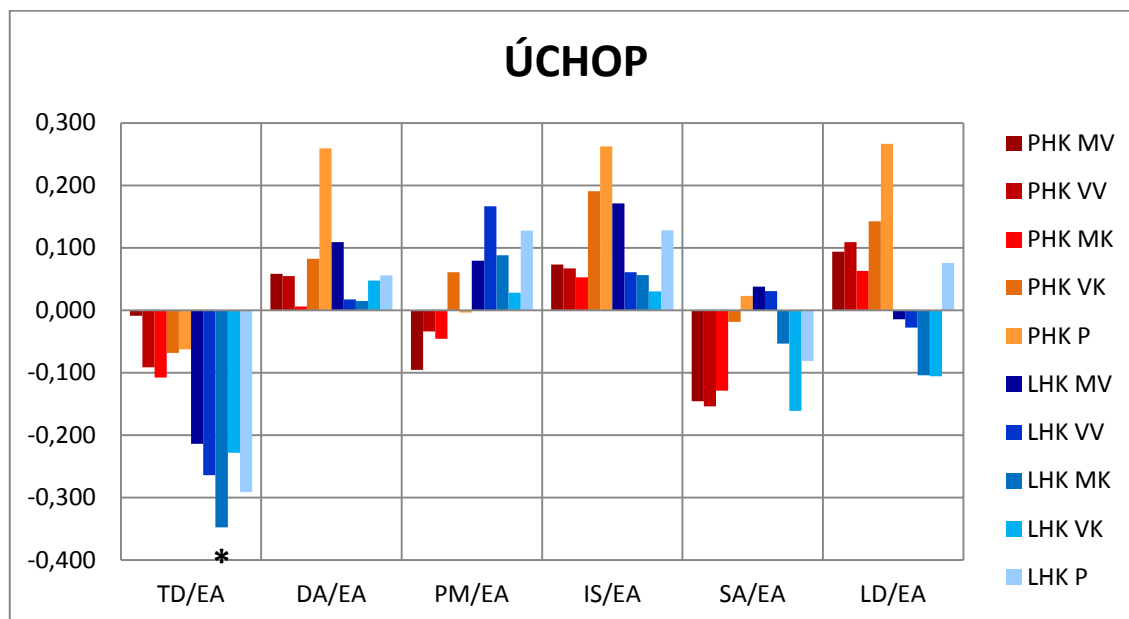
Na levé horní končetině se projevila statisticky významná korelace mezi mm. extensores antebrachii a m. trapezius pars descendens při úchopu malé koule. Korelační koeficient dosáhl hladiny statistické významnosti $p=0,05$. V tomto případě můžeme nulovou hypotézu zamítnout. Hodnoty korelačních koeficientů horních končetin jsou uvedeny v tabulce (viz tab 10, s. 54) a grafu (viz graf 11, s. 55).

Tab 10. Korelační koeficienty mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly při úchopu

	UCHOP PHK					UCHOP LHK				
	MV	VV	MK	VK	P	MV	VV	MK	VK	P
TD/EA	-0,009	-0,091	-0,108	-0,068	-0,063	-0,214	-0,264	-0,348	-0,228	-0,291
DA/EA	0,059	0,055	0,006	0,082	0,259	0,109	0,017	0,015	0,048	0,056
PM/EA	-0,096	-0,034	-0,045	0,061	-0,004	0,079	0,167	0,088	0,028	0,128
IS/EA	0,073	0,067	0,053	0,191	0,262	0,171	0,061	0,057	0,030	0,128
SA/EA	-0,146	-0,154	-0,129	-0,018	0,023	0,038	0,031	-0,053	-0,161	-0,081
LD/EA	0,094	0,109	0,063	0,143	0,267	-0,014	-0,027	-0,104	-0,106	0,076

Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. extensores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. extensores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. extensores antebrachii, IS/EA – korelace m. infrapinatus a mm. extensores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. extensores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. extensores antebrachii, červeně je zvýrazněná statisticky významná korelace

Graf 11. Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při úchopu



Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. extensores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. extensores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. extensores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. extensores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. extensores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. extensores antebrachii, hvězdička označuje statisticky významnou korelaci

Oddálení

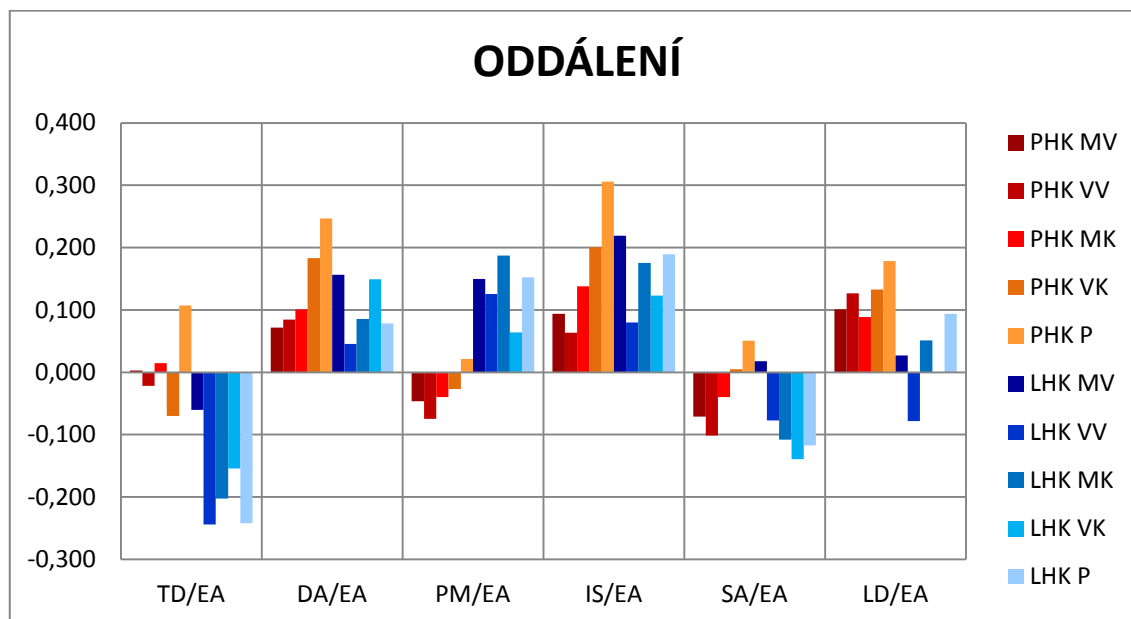
Na základě statistického zpracování korelací (viz tab 11, s. 56) mezi mm. extensores antebrachii a jednotlivými proximálními svaly během oddálení můžeme říct, že žádná z nich nedosáhla hladiny statistické významnosti $p=0,05$, a proto nulovou hypotézu H_0 nelze zamítnout pro pravou ani levou horní končetinu. Hodnoty korelačních koeficientů jsou uvedeny v grafu (viz graf 12, s. 57).

Tab 11. Korelační koeficienty mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly při oddálení

	ODDÁLENÍ PHK					ODDÁLENÍ LHK				
	MV	VV	MK	VK	P	MV	VV	MK	VK	P
TD/EA	0,003	-0,022	0,015	-0,070	0,107	-0,060	-0,244	-0,202	-0,154	-0,242
DA/EA	0,072	0,085	0,101	0,183	0,247	0,156	0,046	0,085	0,149	0,079
PM/EA	-0,046	-0,075	-0,040	-0,027	0,021	0,150	0,126	0,187	0,064	0,152
IS/EA	0,094	0,063	0,138	0,201	0,306	0,219	0,080	0,175	0,123	0,189
SA/EA	-0,071	-0,101	-0,040	0,005	0,051	0,018	-0,077	-0,108	-0,139	-0,117
LD/EA	0,101	0,127	0,089	0,133	0,178	0,027	-0,078	0,051	-0,001	0,094

Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. extensores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. extensores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. extensores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. extensores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. extensores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. extensores antebrachii

Graf 12. Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při oddálení



Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. extensores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. extensores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. extensores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. extensores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. extensores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. extensores antebrachii

Přiblížení

Statistické zpracování korelací, pravé horní končetiny mezi mm. extensores antebrachii a jednotlivými proximálními svaly během přiblížení, neprokázalo žádnou korelaci, která by dosáhla hladiny statistické významnosti $p=0,05$, a proto nulovou hypotézu H_0 nelze zamítnout.

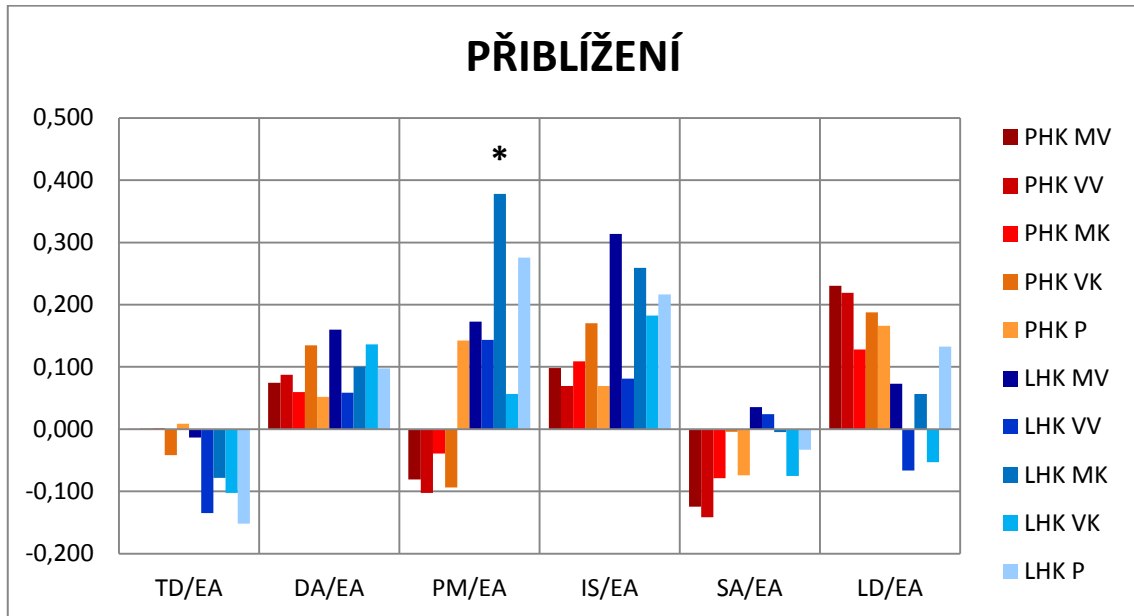
Na levé horní končetině se projevila statisticky významná korelace mezi mm. extensores antebrachii a m. pectoralis major při přiblížení malé koule. Korelační koeficient dosáhl hladiny statistické významnosti $p=0,05$. V tomto případě můžeme nulovou hypotézu zamítnout. Hodnoty korelačních koeficientů horních končetin jsou uvedeny v tabulce (viz tab 12, s. 58) a grafu (viz graf 13, s. 59).

Tab 12. Korelační koeficienty mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly při přiblížení

	PŘIBLÍŽENÍ PHK					PŘIBLÍŽENÍ LHK				
	MV	VV	MK	VK	P	MV	VV	MK	VK	P
TD/EA	0,000	0,001	0,001	-0,042	0,009	-0,013	-0,135	-0,078	-0,102	-0,152
DA/EA	0,075	0,088	0,060	0,135	0,052	0,160	0,059	0,100	0,136	0,098
PM/EA	-0,081	-0,102	-0,039	-0,094	0,142	0,173	0,143	0,378	0,057	0,275
IS/EA	0,098	0,070	0,109	0,170	0,069	0,313	0,081	0,259	0,183	0,216
SA/EA	-0,124	-0,141	-0,078	-0,004	-0,074	0,036	0,024	-0,005	-0,075	-0,033
LD/EA	0,230	0,219	0,128	0,188	0,166	0,073	-0,067	0,056	-0,053	0,133

Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. extensores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. extensores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. extensores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. extensores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. extensores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. extensores antebrachii, červeně je zvýrazněná statisticky významná korelace

Graf 13. Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při přiblížení



Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. extensores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. extensores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. extensores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. extensores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. extensores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. extensores antebrachii, hvězdička označuje statisticky významnou korelaci

H₀7: Mezi aktivitou mm. flexores antebrachii a aktivitou proximálních svalů při jednotlivých fázích cílené aktivity (dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK a P) neexistuje vzájemná korelace na pravé ani na levé horní končetině.

Dosah

PHK - **zamítáme** pro **m. deltoideus pars anterior** během dosahu VK, P

LHK - **zamítáme** pro **m. trapezius pars descendens** během dosahu MV

m. infraspinatus během dosahu MV

m. serratus anterior během dosahu MV

Úchop

PHK - **zamítáme** pro **m. latissimus dorsi** během úchopu MK

LHK - nelze zamítnout pro všechny proximální svaly

Oddálení

PHK - **zamítáme** pro **m. deltoideus pars anterior** během oddálení MV

m. infraspinatus během oddálení MV

m. latissimus dorsi během oddálení MK, P

LHK - **zamítáme** pro **m. infraspinatus** během oddálení MV, VV

Přiblížení

PHK - **zamítáme** pro **m. latissimus dorsi** během přiblížení MK

LHK - **zamítáme** pro **m. infraspinatus** během přiblížení MV

m. pectoralis major během přiblížení MK

Dosah

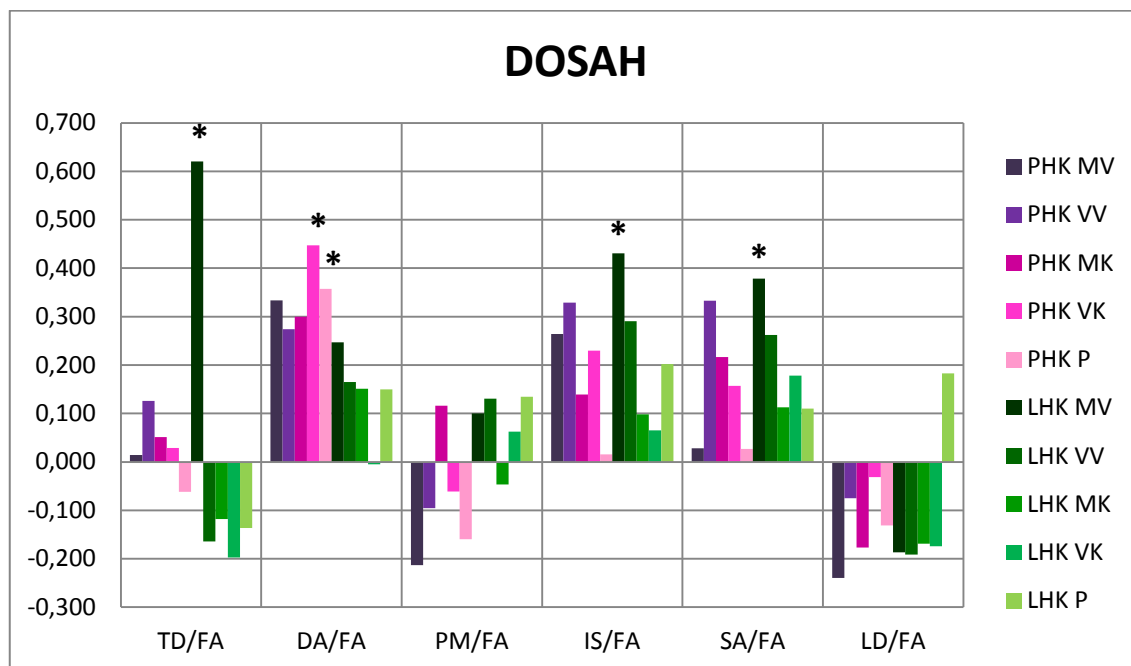
Statisticky významná korelace (viz tab 13, s. 61) nastává na pravé horní končetině mezi mm. flexores antebrachii a m. deltoideus pars anterior při dosahu velké koule a pera. Na levé horní končetině se korelace projevila mezi mm. flexores antebrachii a třemi proximálními svaly a to m. trapezius pars descendens, m. infraspinatus a m. serratus anterior při dosahu malého válce. H_0 můžeme na hladině statistické významnosti $p=0,05$ zamítnout pro pravou i levou horní končetinu. Hodnoty korelačních koeficientů jsou uvedeny v grafu (viz graf 14, s. 62).

Tab 13. Korelační koeficienty mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly při dosahu

	DOSAH PHK					DOSAH LHK				
	MV	VV	MK	VK	P	MV	VV	MK	VK	P
TD/FA	0,014	0,126	0,051	0,029	-0,062	0,621	-0,164	-0,118	-0,198	-0,137
DA/FA	0,334	0,274	0,300	0,447	0,358	0,247	0,165	0,151	-0,005	0,149
PM/FA	-0,213	-0,096	0,116	-0,061	-0,159	0,100	0,131	-0,047	0,063	0,134
IS/FA	0,264	0,329	0,139	0,229	0,015	0,431	0,291	0,098	0,065	0,202
SA/FA	0,028	0,333	0,216	0,157	0,027	0,378	0,262	0,112	0,178	0,110
LD/FA	-0,240	-0,075	-0,177	-0,031	-0,131	-0,187	-0,191	-0,169	-0,174	0,183

Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. flexores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, červeně je zvýrazněna statisticky významná korelace

Graf 14. Hodnoty korelačního koeficientu mm. flexores antebrachii a proximálních svalů při dosahu



Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. flexores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, hvězdička označuje statisticky významnou korelaci

Úchop

Na pravé horní končetině se projevila statisticky významná korelace mezi mm. flexores antebrachii a m. latissimus dorsi při úchopu malé koule. Korelační koeficient dosáhl hladiny statistické významnosti $p=0,05$. V tomto případě můžeme nulovou hypotézu zamítnout.

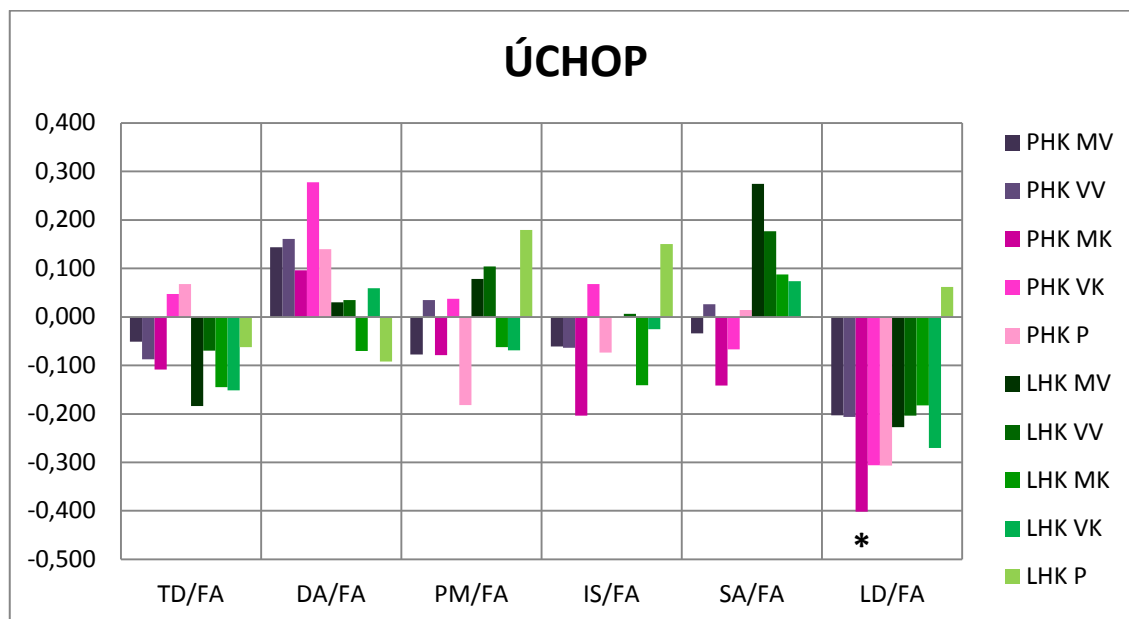
Statistické zpracování korelací, levé horní končetiny mezi mm. flexores antebrachii a jednotlivými proximálními svaly během úchopu, neprokázalo žádnou korelaci, která by dosáhla hladiny statistické významnosti $p=0,05$, a proto nulovou hypotézu nelze zamítnout. Hodnoty korelačních koeficientů horních končetin jsou uvedeny v tabulce (viz tab 14, s. 63) a grafu (viz graf 15, s. 64).

Tab 14. Korelační koeficienty mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly při úchopu

	UCHOP PHK					UCHOP LHK				
	MV	VV	MK	VK	P	MV	VV	MK	VK	P
TD/FA	-0,051	-0,088	-0,109	0,047	0,068	-0,184	-0,070	-0,145	-0,151	-0,062
DA/FA	0,143	0,161	0,096	0,278	0,139	0,030	0,035	-0,070	0,059	-0,092
PM/FA	-0,078	0,035	-0,079	0,037	-0,182	0,079	0,104	-0,062	-0,069	0,179
IS/FA	-0,061	-0,064	-0,204	0,068	-0,073	-0,003	0,006	-0,141	-0,025	0,150
SA/FA	-0,034	0,026	-0,142	-0,067	0,014	0,274	0,177	0,088	0,073	0,001
LD/FA	-0,203	-0,206	-0,401	-0,306	-0,307	-0,227	-0,203	-0,182	-0,270	0,062

Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. flexores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, červeně je zvýrazněna statisticky významná korelace

Graf 15. Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při úchopu



Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. flexores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, hvězdička označuje statisticky významnou korelaci

Oddálení

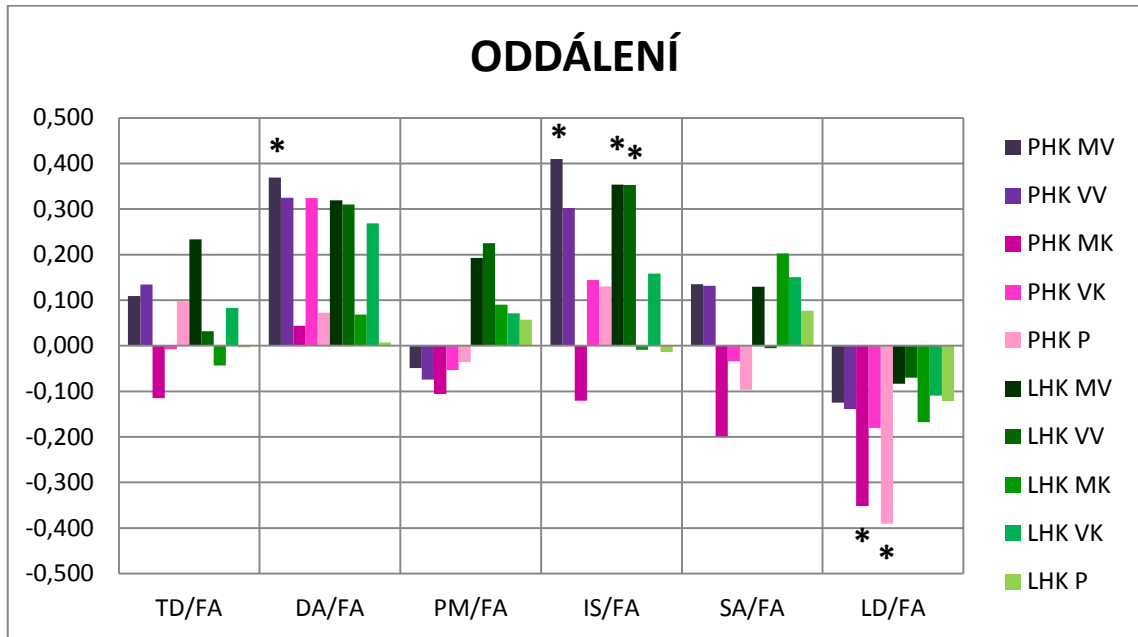
Statisticky významná korelace nastává na pravé horní končetině mezi mm. flexores antebrachii a čtyřmi proximálními svaly při oddálení. Jmenovitě m. deltoideus pars anterior a m. infraspinatus při oddálení malého válce, m. latissimus dorsi při oddálení malé koule a m. latissimus dorsi při oddálení pera. Na levé horní končetině se korelace projevila mezi mm. flexores antebrachii a m. infraspinatus při oddálení malého a velkého válce. H_0 můžeme na hladině statistické významnosti $p=0,05$ zamítnout pro pravou i levou horní končetinu. Hodnoty korelačních koeficientů horních končetin jsou uvedeny v tabulce (viz tab 15, s. 65) a grafu (viz graf 16, s. 66).

Tab 15. Korelační koeficienty mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly při oddálení

	ODDÁLENÍ PHK					ODDÁLENÍ LHK				
	MV	VV	MK	VK	P	MV	VV	MK	VK	P
TD/FA	0,109	0,134	-0,115	-0,008	0,098	0,234	0,032	-0,043	0,083	-0,003
DA/FA	0,369	0,325	0,044	0,324	0,072	0,319	0,310	0,068	0,269	0,007
PM/FA	-0,049	-0,074	-0,106	-0,053	-0,036	0,193	0,225	0,090	0,071	0,057
IS/FA	0,410	0,302	-0,121	0,144	0,131	0,354	0,353	-0,009	0,158	-0,014
SA/FA	0,135	0,131	-0,199	-0,034	-0,096	0,130	-0,005	0,203	0,151	0,077
LD/FA	-0,125	-0,139	-0,351	-0,180	-0,391	-0,083	-0,070	-0,168	-0,109	-0,122

Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. flexores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, červeně je zvýrazněna statisticky významná korelace

Graf 16. Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při oddálení



Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. flexores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, hvězdička označuje statisticky významnou korelaci

Přiblížení

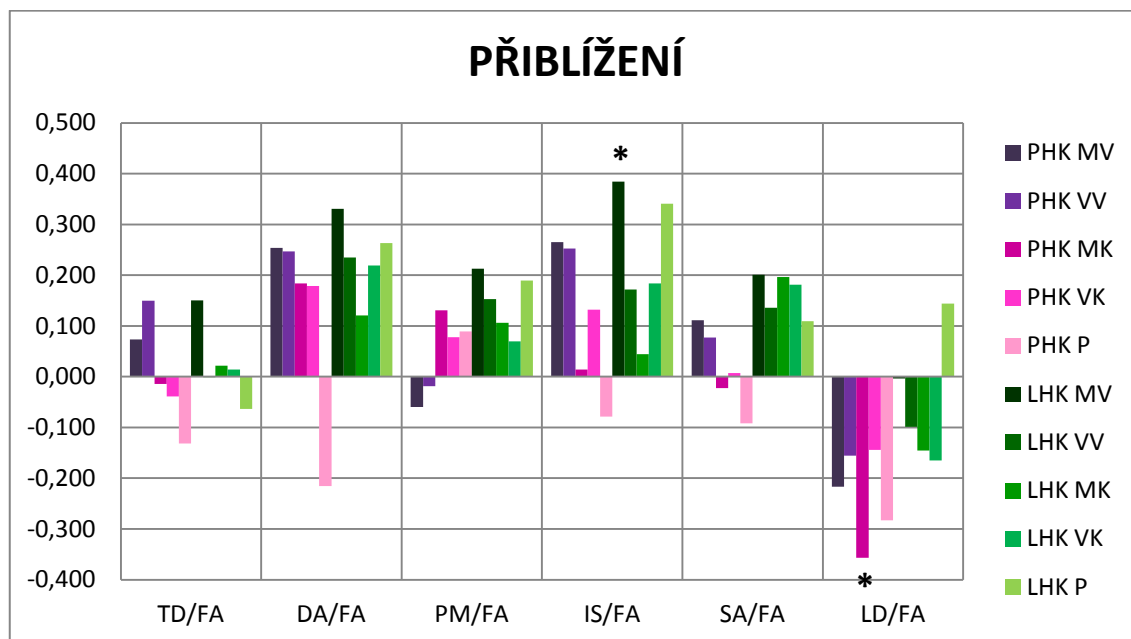
Statisticky významná korelace nastává na pravé horní končetině mezi mm. flexores antebrachii a m. latissimus dorsi při přiblížení malé koule. Na levé horní končetině se korelace projevila mezi mm. flexores antebrachii a m. infraspinatus při přiblížení malého válce a mezi mm. flexores antebrachii a m. pectoralis major při přiblížení malé koule. Nulovou hypotézu H_0 můžeme na hladině statistické významnosti $p=0,05$ zamítnout pro pravou i levou horní končetinu. Hodnoty korelačních koeficientů horních končetin jsou uvedeny v tabulce (viz tab 16, s. 67) a grafu (viz graf 17, s. 68).

Tab 16. Korelační koeficienty mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly při přiblížení

	PŘIBLÍŽENÍ PHK					PŘIBLÍŽENÍ LHK				
	MV	VV	MK	VK	P	MV	VV	MK	VK	P
TD/FA	0,074	0,149	-0,014	-0,039	-0,132	0,151	-0,001	0,022	0,014	-0,063
DA/FA	0,254	0,247	0,184	0,179	-0,215	0,331	0,235	0,121	0,219	0,263
PM/FA	-0,060	-0,019	0,131	0,078	0,089	0,213	0,153	0,106	0,069	0,189
IS/FA	0,265	0,253	0,014	0,132	-0,079	0,385	0,172	0,044	0,184	0,341
SA/FA	0,111	0,077	-0,022	0,007	-0,092	0,201	0,136	0,196	0,181	0,109
LD/FA	-0,217	-0,156	-0,356	-0,144	-0,283	-0,003	-0,099	-0,145	-0,165	0,144

Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. flexores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, červeně je označena statisticky významná korelace

Graf 17. Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při přiblížení



Legenda: MV – malý válec, VV – velký válec, MK – malá koule, VK – velká koule, P – pero, TD/EA – korelace m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, DA/EA – korelace m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, PM/EA – korelace m. pectoralis major a mm. flexores antebrachii, IS/EA – korelace m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, SA/EA – korelace m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii, LD/EA – korelace m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, hvězdička označuje statisticky významnou korelaci

4.3 Výsledky k vědecké otázce 3

Vědecká otázka 3 zní: „*Jaký je rozdíl v korelačních koeficientech mezi pravou a levou horní končetinou u statisticky významných korelací mezi distálními a proximálními svaly během dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK a P, jednotlivých končetin.*“

Pokud se nejméně na jedné horní končetině projevil statisticky významný korelační koeficient, byla dále zjišťovaná statistická významnost jeho rozdílu mezi pravou a levou horní končetinou.

H₀8: Není rozdíl v korelačních koeficientech mezi pravou a levou horní končetinou při srovnání statisticky významných korelací mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly během jednotlivých fází cílené aktivity (dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK, P).

Dosah

- nelze zamítnout pro všechny statisticky významné korelační koeficienty

Úchop

- nelze zamítnout pro všechny statisticky významné korelační koeficienty

Oddálení

- nelze zamítnout pro všechny statisticky významné korelační koeficienty

Přiblížení

- nelze zamítnout pro všechny statisticky významné korelační koeficienty

Dosah

Při dosahu jakéhokoli předmětu nebyla zjištěna statisticky významná korelace mezi mm. extensores antebrachii a žádným z proximálních svalů na pravé ani levé horní končetině (viz tab 9, s. 52). Statisticky z toho plyne, že není statisticky významný rozdíl ve vzájemném vztahu mm. extensores antebrachii s proximálními svaly při dosahu mezi pravou a levou horní končetinou. Nulovou hypotézu tedy nelze zamítnout.

Úchop

Při úchopu malé koule byla zjištěna statisticky významná korelace mezi mm. extensores antebrachii a m. trapezius pars descendens na levé horní končetině (viz tab 10, s. 54). Při srovnání této korelace mezi pravou a levou horní končetinou nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl na hladině statistické významnosti $p=0,05$ (viz tab 17, s. 70), a proto nulovou hypotézu nezamítáme.

Tab 17. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro úchop

ÚCHOP MK			
KORELACE	P	L	ROZDÍL
TD/EA	-0,108	-0,348	$p = 0,345$

Legenda: P – pravá horní končetina, L – levá horní končetina, MK – malá koule, TD/EA – korelace mezi m. trapezius pars dorsi a mm. extensores antebrachii, tučně je zvýrazněná statisticky významná korelace

Oddálení

Při oddálení jakéhokoli předmětu nebyla zjištěna statisticky významná korelace mezi mm. extensores antebrachii a žádným z proximálních svalů na pravé ani levé horní končetině (viz tab 11, s. 56). Statisticky z toho plyne, že není statisticky významný rozdíl ve vzájemném vztahu mm. extensores antebrachii s proximálními svaly při oddálení mezi pravou a levou horní končetinou. Nulovou hypotézu tedy nelze zamítnout.

Přiblížení

Při přiblížení malé koule byla zjištěna statisticky významná korelace mezi mm. extensores antebrachii a m. pectoralis major na pravé horní končetině (viz tab 12, s. 58). Při srovnání této korelace mezi pravou a levou horní končetinou nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl na hladině statistické významnosti $p=0,05$ (viz tab 18, s. 71), a proto nulovou hypotézu nezamítáme.

Tab 18. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro přiblížení

PŘIBLÍŽENÍ MK			
KORELACE	P	L	ROZDÍL
PM/EA	-0,039	0,378	$p = 0,108$

Legenda: P – pravá horní končetina, L – levá horní končetina, MK – malá koule, PM/EA – korelace mezi m. pectoralis major a mm. extensores antebrachii, tučně je zvýrazněná statisticky významná korelace

H₀9: Není rozdíl v korelačních koeficientech mezi pravou a levou horní končetinou při srovnání statisticky významných korelací mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly během jednotlivých fází cílené aktivity (dosahu, úchopu, oddálení a přiblížení MV, VV, MK, VK, P).

Dosah

- **zamítáme** pro vztah **mm. flexores antebrachii a m. trapezius pars descendens** během dosahu MV

Úchop

- nelze zamítnout pro všechny statisticky významné korelační koeficienty

Oddálení

- nelze zamítnout pro všechny statisticky významné korelační koeficienty

Přiblížení

- nelze zamítnout pro všechny statisticky významné korelační koeficienty

Dosah

Při dosahu malého válce byla zjištěna statisticky významná korelace mezi mm. flexores antebrachii a m. trapezius pars descendens na levé horní končetině (viz tab 13, s. 61). Při srovnání této korelace mezi pravou a levou horní končetinou byl zjištěn statisticky významný rozdíl na hladině statistické významnosti $p=0,05$ (viz tab 19, s. 72), a proto nulovou hypotézu v tomto případě zamítáme.

Tab 19. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro dosah malého válce

DOSAH MV			
KORELACE	P	L	ROZDÍL
TD/FA	0,014	0,621	p = 0,010

Legenda: P – pravá horní končetina, L – levá horní končetina, MV – malý válec, TD/FA – korelace mezi m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, červeně je zvýrazněn statisticky významný rozdíl korelací, tučně je zvýrazněná statisticky významná korelace, červeně je zvýrazněná statistická významnost

Při dosahu malého válce byla dále zjištěna statisticky významná korelace mezi mm. flexores antebrachii a m. infraspinatus na levé horní končetině, mm. flexores antebrachii a m. serratus anterior na levé horní končetině, mm. flexores antebrachii a m. deltoideus pars anterior na pravé horní končetině, mm. flexores antebrachii a m. deltoideus pars anterior na pravé horní končetině (viz tab 13, s. 61).

Při srovnání těchto korelací mezi pravou a levou horní končetinou nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl na hladině statistické významnosti $p=0,05$, a proto nulovou hypotézu v těchto případech nelze zamítnout (viz tab 20, s. 73).

Tab 20. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro dosah

KORELACE	P	L	ROZDÍL
DOSAH MV			
TD/FA	0,014	0,621	$p = 0,010$
IS/FA	0,264	0,431	$p = 0,478$
SA/FA	0,028	0,378	$p = 0,172$
DOSAH VK			
DA/FA	0,447	-0,005	$p = 0,074$
DOSAH P			
DA/FA	0,358	0,149	$p = 0,404$

Legenda: P – pravá horní končetina, L – levá horní končetina, MV – malý válec, VK – velká koule, P – pero, TD/FA – korelace mezi m. trapezius pars descendens a mm. flexores antebrachii, IS/FA – korelace mezi m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, SA/FA – korelace mezi m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii, DA/FA – korelace mezi m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, tučně je zvýrazněná statisticky významná korelace

Úchop

Při úchopu malé koule byla zjištěna statisticky významná korelace mezi mm. flexores antebrachii a m. latissimus dorsi na pravé horní končetině (viz tab 14, s. 63). Při srovnání této korelace mezi pravou a levou horní končetinou nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl na hladině statistické významnosti $p=0,05$ (viz tab 21, s. 74), a proto nulovou hypotézu nelze zamítnout.

Tab 21. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro úchop

ÚCHOP MK			
KORELACE	P	L	ROZDÍL
LD/FA	-0,401	-0,182	$p = 0,371$

Legenda: P – pravá horní končetina, L – levá horní končetina, MK – malá koule, LD/FA – korelace mezi m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, tučně je zvýrazněná statisticky významná korelace

Oddálení

Při oddálení malého válce byla zjištěna statisticky významná korelace mezi mm. flexores antebrachii a m. deltoideus pars anterior na pravé horní končetině, mm. flexores antebrachii a m. infraspinatus na pravé horní končetině, mm. flexores antebrachii a m. infraspinatus na levé horní končetině, mm. flexores antebrachii a m. latissimus dorsi na levé horní končetině (viz tab 15, s. 65).

Při srovnání těchto korelací mezi pravou a levou horní končetinou nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl na hladině statistické významnosti $p=0,05$ (viz tab 22, s. 75), a proto nulovou hypotézu v těchto případech nelze zamítnout.

Tab 22. Statistická významnost rozdílů korelací P/L pro oddálení

KORELACE	P	L	ROZDÍL
ODDÁLENÍ MV			
DA/FA	0,369	0,319	p = 0,833
IS/FA	0,410	0,354	p = 0,807
ODDÁLENÍ VV			
IS/FA	0,302	0,353	p = 0,8314
ODDÁLENÍ P			
LD/FA	-0,391	-0,122	p = 0,282

Legenda: P – pravá horní končetina, L – levá horní končetina, MV – malý válec, VV – velký válec, P - pero, DA/FA – korelace mezi m. deltoideus pars anterior a mm. flexores antebrachii, IS/FA – korelace mezi m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, LD/FA – m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, tučně je zvýrazněná statisticky významná korelace

Přiblížení

Při přiblížení malého válce byla zjištěna statisticky významná korelace mezi mm. flexores antebrachii a m. infraspinatus na levé horní končetině, mm. flexores antebrachii a m. latissimus dorsi na levé pravé končetině (viz tab 16, s. 75).

Při srovnání těchto korelací mezi pravou a levou horní končetinou nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl na hladině statistické významnosti $p=0,05$, a proto nulovou hypotézu v těchto případech nelze zamítnout (viz tab 23, s. 75).

Tab 23. Statistická významnost rozdílů korelací P/L pro přiblížení

KORELACE	P	L	ROZDÍL
PŘIBLÍŽENÍ MV			
IS/FA	0,265	0,385	p = 0,617
PŘIBLÍŽENÍ MK			
LD/FA	-0,356	-0,145	p = 0,401

Legenda: P – pravá horní končetina, L – levá horní končetina, MV – malý válec, MK – malá koule, IS/FA – korelace mezi m. infraspinatus a mm. flexores antebrachii, LD/FA – korelace mezi m. latissimus dorsi a mm. flexores antebrachii, tučně je zvýrazněná statisticky významná korelace

5 DISKUZE

Cílem této kapitoly je shrnout výsledky práce a konfrontovat je s dostupnými poznatky z odborných studií.

V diplomové práci jsme se zaměřili na zhodnocení svalové aktivity a svalových synergií na pravé a levé horní končetině pomocí povrchové elektromyografie. Svalovou aktivitu a svalové synergie jsme hodnotili při cíleném přesunu pěti předmětů (malý válec, velký válec, malá koule, velká koule, pero) pravou i levou horní končetinou. Během této aktivity bylo povrchovým elektromyografem Myosystem od firmy Noraxon snímáno 16 svalů horních končetin, 8 svalů na jedné končetině (m. trapezius pars descendens, m. deltoideus pars anterior, m. pectoralis major, m. infraspinatus, m. serratus anterior, m. latissimus dorsi, mm. extensores antebrachii, mm. flexores antebrachii). Cílená aktivita byla pro zpracování dat rozdělena na 4 fáze (dosah, úchop, oddálení, přiblížení).

5.1 Diskuze k metodice

Dobrovolní probandi byli do studie zařazováni na základě dobrého zdravotního stavu a dominance pravé horní končetiny, kterou jsme určovali testem psaní a testem přesného hodů. Obecně platí, že lateralita se nejvíce projeví u jemné motoriky jako je psaní, nebo kreslení (Labak et al., 2011, p. 65)

Celá skupina zúčastněných je složena ze dvou věkových kategorií. Mladší část definuje průměrný věk 24,89 (\pm 1,02) let a starší část je průměrného věku 53,42 (\pm 4,8). Tímto rozdělení jsme chtěli zabránit zkreslení výsledků věkem, jak uvádí Goble a Brown, kteří se zabývají původem laterality. Ve své review shrnují současně poznatky, a podle nich existují dva hlavní zdroje lateralizace horních končetin a to genetické predispozice a sociokulturní vliv. Ani jeden zdroj se jim však nepodařilo potvrdit nebo vyvrátit (Goble, Brown, 2008). Hadders-Algra, která definovala tři teorie motorického vývoje, zmiňuje vliv věku na motorické provedení. V Teorii selekce neurálních skupin vysvětluje, že s opakovaným motorickým projevem a nabýváním

zkušeností se upevňují vazby uvnitř a mezi neurálními sítěmi. S věkem se přirozeně počet provedení motorických akcí navyšuje a přibývá i množství nových zkušeností. Podle Hadders-Algra tedy pravděpodobně s věkem nabývají některé neuronální spoje na síle, což může ovlivnit konečný motorický projev (Hadders-Algra, 2000, p. 567-568). V průběhu výzkumného měření probandi seděli v modifikaci tzv. standardizovaného sedu dle Brügera, protože jsme hodnotili pouze svalovou aktivitu horních končetin a trupu. Ve standardizovaném sedu sedí subjekt v křesle bez područek a opírá se o opěradlo. Dolní končetiny má v kyčlích a kolenech v 90° flexe. Horní končetiny jsou addukované, neutrálně rotované, loket je v 90° flexe, předloktí je neutrálně a zápěstí v 0-30° dorzální flexe. Standardní pozici v sedu využívá ve své práci při výzkumu zaměřeném na horní končetiny například Alizadehkhaiyat (Alizadehkhaiyat et al., 2010, p. 479). Modifikace při našem měření spočívala ve vzpřímeném sedu bez opory zad a s částečným opřením předloktí horních končetin. Volné opření probandů jsme zaměnili na vzpřímený sed kvůli snímacím elektrodám umístěným na zádech, které by mohly mít opřením zad zkreslený signál. Kvůli úplné relaxaci svalů předloktí jsme zvolili polohu v pronaci s rozevřenou dlaní položenou volně na stole.

Již od dob Woodworta se dominance horních končetin testuje několika typickými způsoby. Patří mezi ně kresba čar, maximální síla úchopu, rychlý poklep prstů a cílený dosah (in Goble, Brown, 2007, p. 602). Hodnocení lateralizace horních končetin prostřednictvím cíleného dosahu využívá například Helsen et al. (1998), Lavrysen et al. (2003) a Mieschke et al. (2001). Srovnání výkonnosti horních končetin při přesunu válcového předmětu využil Grosskopf a Kuhtz-Buschbeck (2006, pp. 230-240). Pro náš výzkum jsme zvolili cílenou aktivitu přesunu 5 předmětů a to malého válce, velkého válce, malé koule, velké koule a pera. Pravá i levá končetina shodně přemísťovala tyto předměty z výchozí pozice na konečnou a zpět. Přesné pozice byly vyznačeny na stole lepicí páskou.

Mezi měřené svaly jsme zahrnuli i trupové svaly, protože naše cílená pozice byla umístěna ve vzdálenosti natažené paže. Podle Schneiberg et al. se při dosahových aktivitách zapojuje i pohyb trupu, pokud cílená vzdálenost přesáhne 90% délky paže, což naše vzdálenost přesáhla (Schneiberg et al., 2002, p. 150).

Člověk se stal nejinteligentnějším tvorem, protože se naučil používat ruce (Bicchi, Gabiccini, Santello, 2011, pp. 3153). Horní končetiny lidé používají nejen

k uchopování a manipulaci, ale využívají je také v sebeobsluze, práci a při komunikaci (Véle, 2006, p. 265). Lidská ruka je unikátně vytvořena k provedení širokého rozsahu motorických akcí. Kombinace motorických a senzorických funkcí ruky je nazývána uchopování. Periferní konstrukce i centrální řízení ruky jsou klíčové pro její schopnost manipulovat předměty (Latash, 2008, p. 24). Ruka představuje vynikající model, na kterém lze studovat současné ovládání velkého počtu motorických stupňů volnosti, což je jedna ze základních otázek motorického řízení (Schieber, Santello, 2004, p. 2293). Lidská ruka je velmi komplexní struktura a do dnešního dne není zcela pochopena neurální strategie, která ji řídí (Castellini, Smagt, 2013, p. 1).

5.2 Diskuze k teoretickým poznatkům

V následující části diskuze jsme se pokusili kriticky zhodnotit tři hlavní kapitoly z Přehledu poznatků. Motorické řízení, synergie a lateralita horních končetin jsou častými oblastmi vědeckého zkoumání, ale množství různých názorů na danou problematiku jejich pochopení a další zpracování velmi komplikuje.

5.2.1 Diskuze k poznatkům o motorickém řízení

V této kapitole bychom chtěli zdůraznit myšlenku Marka L. Latashe a jeho spolupracovníků, současných představitelů vědeckého výzkumu v oblasti Motorického řízení. Hlavním problémem v této oblasti je podle nich správná definice pojmů.

Latash et al. označují motorické řízení za relativně mladé pole výzkumu. Motorické řízení definují jako oblast vědy, která vysvětluje jak CNS produkuje smysluplný a koordinovaný pohyb lidského těla v interakci s vnějším prostředím. Tito autoři uvádí, že hlavním cílem výzkumu je exaktně popsat procesy motorického řízení. Pokrok v této oblasti je podle nich zpomalen především nedostatkem široce přijímaných a přesně definovaných pojmů, které by byly specifické pouze pro motorické řízení. Zároveň však uznávají, že je velmi těžké hledat adekvátní pojmy v oblasti, která je nemá. Je logické, že je mnohem jednodušší převzít termíny z jiných oblastí, které se zdánlivě motorickému řízení podobají, např. klasická mechanika,

teorie řízení, nebo inženýrství (Latash, 2012a, p. 1; Latash et al., 2010, pp. 382- 383). Biologické objekty patří do fyzikálního světa, ale jsou živé, proto je potřeba pracovat v oblastech fyziky, biologie a fyziologie, ne v oblastech, které pracují s neživým světem. Latash et al. tvrdí, že tělo je natolik komplexní a komplikovaný systém, že nemůže být pochopen dostupnými fyzikálními nástroji. Naději na pochopení motorického řízení dává poměrně mladá disciplína, fyzika živých systémů a Latash je jedním z jejich hlavních představitelů. (Latash et al., 2010, pp. 382- 383).

Pochopení motorického řízení je náročné, protože řízení pohybu končetin je velmi složité. Kinematika, dynamika a biomechanika muskuloskeletálního systému je komplikovaná (d'Avella et al. 2008, p. 1433). Od dob Bernsteina až po současné vědce panuje shoda v tom, že hlavní problém vyplývá z velkého počtu stupňů volnosti, které umožňují velkou flexibilitu pohybu, ale také kladou velké nároky na CNS (Latash et al., 2002; Latash, Scholz, Schöner, 2002; D'Avella et al. 2006; Latash, Anson, 2006; Latash, Gorniak, Zatsiorsky, 2008).

V oblasti neurovědy, zabývající se motorickým řízením, se diskutují dva hlavní pojmy. Pojem redundance, který značí nadbytečnost motorického systému a nutnost její eliminace (Latash et al. 2002, p. 419; Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 26; Latash, Gorniak, Zatsiorsky, 2008, p. 29; Latash, Anson, 2006, p. 1152; Latash, 2012a, pp. 1-2). Pojem abundance také charakterizuje nadbytečnost motorického systému v kontextu pozitivních možností, které se díky ní motorickému řízení naskýtají (Latash et al., 2002, p. 419; Latash, Scholz, Schöner, 2002, p. 27; Latash, Anson, 2006, p. 1152; Latash, Gorniak, Zatsiorsky, 2008, p. 30).

Toto rozdělení pojmů redundance a abundance uvádí většina výše uvedených autorů shodně a to v kontextu s periferními možnostmi lidského těla. Hadders-Algra využívá pojem abundance k popisu mozkového propojení a uvádí, že abundance v mozkovém propojení je základ variability lidského chování, tj. schopnosti vybrat z velkého počtu řešení jedno, vhodné pro specifickou situaci. Nutnost zvolit jedno konkrétní řešení by spíše odpovídalo pojmu redundance, ale protože Hadders-Algra nepovažuje velké množství variabilit za přítěž, můžeme říct, že její interpretace abundance mozkového propojení odpovídá definicím výše uvedených autorů (Hadders-Algra, 2010, p. 1834).

5.2.2 Diskuze k poznatkům o synergiích

V oblasti motorického řízení, která se zabývá synergiemi, je opět hlavním problémem přesná definice tohoto pojmu. Řada nejasností pak plyne ze snahy aplikovat tento pojem na motorický projev člověka. Část vědců se snaží potvrdit existenci synergií a část se snaží jejich existenci vyvrátit.

Koordinace motorických elementů je často vysvětlována jejich spojením do menšího počtu, tedy vznikem funkčních svalových synergií (Tseng, Solz, 2006, 383). Synergie se v oblastech, které zkoumají řízení pohybu, objevují již celá století. Pojem synergie měl ovšem ve své primární formulaci negativní význam. Označoval stereotypní svalový vzorec, který nebyl pozorovaný u zdravých lidí (Latash, 2010a, p. 46). Dipietro při definici synergií vychází z řeckého původu slova „spolupracovat“. Uvádí, že jakákoli sada dvou a více koordinovaných jednotek může být považovaná za syngii. Nicméně podle něj, převzalo toto slovo v různých vědeckých komunitách různé významy (Dipietro, 2007, p. 757). Latash tvrdí, že je důležité o významu tohoto pojmu diskutovat a argumentovat ho, aby bylo možné jej pochopit a využít (Latash, 2010a, p. 46).

Tresch a Jarc shrnují studie, které argumentují proti existenci svalových synergií. Variabilitu považují za projev efektivity řízení. Variabilita je umožněna vysokým počtem stupňů volnosti a právě jejich nadbytek umožňuje CNS přizpůsobit motorický projev přesně tak jak úkol vyžaduje. Dalším argumentem proti svalovým synergiím je skutečnost, že svalové synergie mohou spíše odrážet podmínky jednoduchých úkolů, při kterých jsou vyšetřovány, než strategii řízení (Tresch, Jarc, 2009, p. 3-4).

Svalové synergie můžeme rozdělit do dvou kategorií. Synchronizované synergie spojují svaly na různých místech, bez časové prodlevy. U časově proměnných synergií hraje roli kombinace prostorové a časové složky jednotlivých svalů. Každý sval této synergie má svůj fixní časový profil, která mu umožňuje zapojit se v rámci dané synergie (Tresch, Jarc, 2009, p. 1).

Latash se zamýšlí nad motorickým řízením z pohledu biologicko-fyzikálních principů. Podle něj by CNS nemusel při pohybu tvořit speciální strategie řízení. Stačila by pouhá iniciace a celý proces by pak podlehl zákonům, podobně jako jim podléhá

přesun iontů při vzniku akčního potenciálu. Pod fyzikální zákony shrnuje klasickou fyziku, chemii a fyziologii, nicméně bez jakýchkoli výpočtů (Latash, 2012a, p. 3). Latash v několika svých pracích vysvětluje Equilibrium-point hypotézu jako hypotézu řízení, která říká, že aktivita každého svalu se objevuje na základě změny. Tato změna může být časový nebo prostorový rozdíl mezi prahovou a aktuální konfigurací tělesných segmentů (Latash et al., 2010, pp. 383-384; Latash, 2012a, p. 4).

5.2.3 Diskuze k poznatkům o lateralitě

Lateralizace horních končetin je v ideomotorice horních končetin zřejmá, nejasný je především její původ. V této kapitole jsme konfrontovali poznatky o lateralitě s poznatky o motorickém řízení neurálních sítí.

Asymetrická funkce motorické výkonu horních končetin je definující znak člověka, který inspiroval k výzkumu řadu vědců. Hlavními tématy spojenými s lateralitou horních končetin je její původ a rozdíly v motorickém projevu dominantní a nedominantní horní končetiny. Podobně jako u motorického řízení se řeší, zda je lateralita předurčena geneticky, nebo vzniká jako následek motorického provedení v interakci se zevním prostředím. Ani u jedné skutečnosti neexistují důkazy, které by ji zcela potvrdili, nebo vyvrátili (Goble, Brown, 2007, Shabbott, Sainburg, 2008, Labak et al., 2011).

Barber et al. ve své práci píše, že funkční a strukturální asymetrii lze nalézt napříč celým mozkem. Podle něj existují důkazy, že funkční lateralizace je přítomna uvnitř motorických sítí. Neexistují sice signifikantní rozdíly mezi hustotou propojení v pravé a levé mozkové hemisféře, ale lidé s větší levostrannou konektivitou měli tendenci ke kvalitnějšímu motorickému projevu. Otázkou však zůstává, zda hustota propojení v levé hemisféře je předpokladem pro vznik preference pravé horní končetiny, nebo vzniká až jako následek jejího častějšího použití (Barber et al., 2012, p. 56). Pokud bychom se nad tímto problémem zamysleli z hlediska vývojové Teorie selekce neurálních skupin, je možné, že neurální konektivita souvisí s genetickým podkladem i nabýváním zkušeností. Vrozeně může mít lidský mozek větší počet neuronů, a tudíž i jejich spojů, v jedné hemisféře a následným nabíráním zkušeností se tato situace může funkčně upevňovat, což se zpětně odrazí v jeho morfologii

(Thelen, 1995, p. 90; Hadders-Algra, 2000, p. 567-568; Goble, Brown, 2007, p. 601; Sainburg, Kalakanis, 2007, p. 2673).

Snaha o porozumění laterality vychází ze studií zabývajících se pohybovým chováním neurologicky intaktních dospělých a pacientů s hemisferální lézí. Většina studií je zaměřena na hledání rozdílu v provedení pohybu pomocí kinematické analýzy.

5.3 Diskuze k vědecké otázce 1

Ve vědecké otázce 1 jsme se zabývali srovnáním pravé a levé horní končetiny v míře naměřených hodnot aktivity vyšetřovaných svalů. Stanovili jsme si nulové hypotézy podle čtyř fází přesunu jednotlivých předmětů a pátá nulová hypotéza se zabývá rozdílem mezi horními končetinami napříč všemi fázemi cíleného přesunu.

Na základě námi naměřených dat byl zjištěn statisticky významný rozdíl ve svalové aktivitě mezi pravou a levou paží u m. serratus anterior při dosahu malého válce, velkého válce a pera (viz tab 1, s. 42). Během úchopu malého válce se opět objevil statisticky významný rozdíl mezi horními končetinami také u m. serratus anterior (viz tab 3, s. 44). Naměřená data pro m. serratus anterior vykazovala konstantně vyšší hodnoty na pravé paži při dosahu i úchopu všech předmětů (viz tab 2, s. 43; viz tab 4, s. 45; viz graf 2, s. 43; viz graf 4, s. 45).

Kapandji rozděluje m. serratus anterior na dvě části. Horní část brání posunu lopatky vzad. Aktivuje se, pokud před sebou tlačíme těžký objekt. Pokud dojde k jeho denervaci, ztratí se při tomto pohybu stabilizace mediální hrany lopatky. Dolní část rotuje lopatku nahoru tak, že glenoid hledí superiorně. Tato část je aktivní během flexe a abdukce. Při přenosu břemene se aktivuje pouze, pokud je paže zároveň v abdukci minimálně 30° (Kapandji, 1982, p. 56).

Vyšší aktivita m. serratus anterior na pravé horní končetině může odpovídat lepší stabilizaci ramenního pletence nebo také provedení pohybu s výraznější abdukční složkou.

Studie Sainburga a Kalakanise zkoumala koordinační vzory použité pravou a levou paží během rychlých cílených dosahových úkolů u praváků. Pohyb spočíval v dosažení tří cílů odstupňovaných tak, aby došlo k vyvolání postupně větší amplitudy

interakčního točivého momentu v loktu. Po adaptaci na úkol byla přesnost finální pozice u obou paží stejná, ale systematicky se lišila trajektorie pohybu a kloubní koordinační vzory. Trajektorie paží vykazovala opačný směr zakřivení. Kinetická analýza odhalila rozdíly ve strategii řízení pravé a levé paže. Pohyb vyžadující velké exkurze v rameni byl na pravé paži charakterizován řídicí strategií, která využívala efektu svalů v oblasti ramenního kloubu i k pohybu v loketním kloubu. Naopak pohyb levého ramenního a loketního kloubu byl značně ovlivněn svalstvem loketního kloubu (Sainburg, Kalakanis, 2000, pp. 2671-2672).

Zároveň by ale mohla vyšší aktivita *m. serratus anterior* vpravo poukazovat na neschopnost odhadnout potřebnou míru svalové aktivity, nutnou k provedení úkolu. Tato domněnka by byla v rozporu s tvrzením, že pravá horní končetina provádí častěji dynamické pohyby a levá statické. Grosskopf a Kuhtz-Buschbeck uvádí známou skutečnost, že praváci obvykle lépe dosahují na předměty dominantní rukou, než nedominantní. Tato skutečnost se ještě zvyrazňuje u precizní jemné motoriky. U bimanuálních aktivit je rozdělení činností rukou jasné, dominantní manipuluje a nedominantní ruka stabilizuje (Grosskopf, Kuhtz-Buschbeck, 2006, p. 231).

Při oddálení pera se pravá a levá horní končetina statisticky významně lišila u *mm. flexores antebrachii* (viz tab 5, s. 46). Svalová aktivita *mm. flexores antebrachii* dosahovala vyšších hodnot na levé horní končetině u všech předmětů (viz tab 6, s. 47). Této skutečnosti by mohlo odpovídat tvrzení Grosskopf a Kuhtz-Buschbecka, že nedominantní horní končetina při uchopení malých objektů využívá více síly než dominantní (Grosskopf, Kuhtz-Buschbeck, 2006, p. 231).

Čtvrtou nulovou hypotézu jsme nezamítali, protože se u žádného svalu neprojevil statisticky významný rozdíl mezi pravou a levou horní končetinou (viz tab 7, s. 48). Pokud budeme vycházet z tvrzení Latashe, Scholze a Schönera (2002, p. 26), že variabilita je nejčastěji viditelným projevem lidské motoriky, tak můžeme říci, že s narůstajícím počtem fází pohybu se zvyšovala i variabilita celého provedení, a proto nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl mezi pravou a levou horní končetinou.

Pravděpodobné také je, že se v hrubé motorice více stírají rozdíly mezi pravou a levou horní končetinou. Srovnání naměřených hodnot svalové aktivity jednotlivých svalů napříč všemi fázemi cílené aktivity v páté nulové hypotéze neodhalilo žádný statisticky významný rozdíl mezi horními končetinami (viz tab 8, s. 49). Grosskopf a Kuhtz-Buschbeck testovali rozdíl mezi pravou a levou horní končetinou při přesunu válcovitého předmětu pomocí kinematické analýzy. Jejich výsledky ukázali, že obě horní končetiny byly ve svém provedení téměř shodné. Tento výsledek byl podle nich ale v rozporu s provedením jemného úkolu např. kreslení, kdy byla dominantní končetina jasně ve výhodě (Grosskopf, Kuhtz-Buschbeck, 2006, p. 230).

5.4 Diskuze k vědecké otázce 2

Ve druhé vědecké otázce se snažíme výpočtem korelačních koeficientů mezi distálními a proximálními svaly odhalit, zda mezi nimi existuje statisticky významný vztah. V tomto případě hodnotíme pravou a levou horní končetinu zvlášť. Korelační koeficient vyjadřuje lineární vztah dvou závislých veličin. Pokud je korelační koeficient pozitivní, znamená to, že se obě veličiny lineárně rostou. Negativní korelační koeficient pak říká, že se pokud jedna veličina vzrůstá, druhá lineárně klesá.

Mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly byla statisticky významná korelace zjištěná pouze u m. trapezius pars descendens a m. pectoralis major na levé horní končetině (viz tab 10, 12, ss. 54, 58). Negativní korelační koeficient definoval vztah mezi mm. extensores antebrachii a m. trapezius pars descendens při úchopu malé koule. U malé koule se objevil i druhý statisticky významný vztah, a to vztah mm. extensores antebrachii a m. pectoralis major při jejím přiblížení. Tento vztah byl vyjádřen pozitivním korelačním koeficientem.

Efektivita řízení se projevuje v omezování pouze té variability, která by zabránila splnění úkolu. Variabilita, která nemá na úkol vliv, může být provedena bez omezení, protože pokusy o její eliminaci jsou zbytečným plýtváním úsilím. (Latash, Anson, 2006, p. 1152; Zhang et al., 2006, p. 200-201; Tresch, Jarc, 2009, p. 3). Podle Bernsteinovy definice „opakování bez opakování“ víme, že ani profesionál nedokáže provést jeden pohyb několikrát stejným způsobem (in Latash, 2012a, p. 3). Mason, Gomez a Ebner (2001, p. 2908) uvádí, že k přípravě úchopu dochází již během dosahu a celá tato

situace je vysoce koordinovaná. Pokud shrneme všechny tyto poznatky, mohli bychom říci, že přesný okamžik zapojení extensorů při rozevření dlaně je pro cílený dosah a úchop nepodstatná variabilita a proto není přesně vymezena. K aktivaci extensorů dochází již během dosahu, ale patrně pokaždé v jiný čas a to by mohl být jeden z důvodů, proč se u mm. extensores antebrachii objevily pouze dvě statisticky významné korelace. Tato skutečnost zároveň argumentuje proti existenci svalových synergií, protože v tom případě by taková variabilita nebyla umožněna (Tresch, Jarc, 2009, p. 3-4).

Jak jsme uvedli výše, korelační koeficient vyjadřuje pouze lineární vztah dvou veličin, je tedy možné, že mm. extensores antebrachii pracují v kooperaci s některými proximálními svaly, ale jejich vztah není lineární.

V neposlední řadě mohlo aktivitu extensorů ovlivnit i počáteční nastavení ruky. Protože byla ruka položena dlaní na stole s exendovanými prsty, nemusela být vyvinuta přílišná aktivita extenzorů v přípravě úchopu.

Při hledání motorických synergií autoři spíše než korelací využívají různých matematických analýz. O odhalení svalových synergií pomocí EMG se snažili D'Avella et al. při vyšetřování cíleného přemístování horní končetiny z bodu do bodu. Svalové synergie měly podle nich představovat koordinované akce skupin svalů se specifickým časovým profilem. Měřili 11 svalů v oblasti ramene a paže. U těchto svalů hodnotili jejich aktivační křivku s přihlédnutím k amplitudě a posunu v čase. Vyhodnocení časoprostorových charakteristik jednotlivých svalů a jejich vzájemných vztahů odhalilo u každého subjektu 4-5 synergií, jejichž kombinací pak byli schopni vysvětlit velkou část variací vyšetřovaných pohybů (D'Avella et al., 2006, pp. 7791-7810). Podobný výzkum provedli Weiss a Flanders když se snažili odhalit svalové a posturální synergie lidské ruky. Podle nich má člověk omezenou schopnost ovládat velké množství kloubů ruky a široká škála posturálních tvarů ruky tak může být definovaná malým počtem synergií. Svůj výzkum provedli na 52 specificky zformovaných tvarech ruky, kdy měřili kloubní úhly a snímali EMG aktivitu svalů. Uvedli, že pouze 2-3 hlavní vzory kovariance v kloubních rotacích, nebo posturální synergie, mohou širokou škálu tvarů ruky popsat (Weiss, Flanders, 2003, pp. 523-535).

Statisticky významný korelační koeficient mezi mm. flexores antebrachii a některým z proximálních svalů vypočítaný na základě naměřených dat byl zjištěn ve všech fázích pohybu na pravé i levé horní končetině.

Při dosahu pravé horní končetiny byl zjištěn pozitivní korelační koeficient s m. deltoideus pars anterior (viz tab 13, s. 61). Dosah se zdá být jednoduchou aktivitou, ale jeho podrobné prozkoumání odhaluje, že má k jednoduchosti daleko. Celá horní končetina směřuje k cíli, zatím co se pozice ruky a prstů připravuje na úchop objektu (Bakker et al., 2010, p. 30). Je tedy pravděpodobné, že s narůstající aktivitou m. deltoideus pars anterior při přibližování končetiny k předmětu se lineárně zvyšuje i aktivita mm. flexores antebrachii v přípravě úchopu. Mason, Gomez a Ebner informují, že některé výsledky naznačují existenci společné strategie, která řídí přípravu úchopu během dosahu. Tvarování ruky začíná extenzí prstů a palce a pokračuje flexí v očekávaném kontaktu s objektem. Tento průběh se zdá být konzistentní bez ohledu na tvar objektu, úchop a probanda (Mason, Gomez, Ebner, 2001, pp. 1897, 2908).

Během úchopu pravou horní končetinou byla zjištěna pouze jedna statisticky významná korelace. Statisticky významný vztah mm. flexores antebrachii a m. latissimus dorsi vyjadřoval během úchopu negativní korelační koeficient. Tuto situaci může vysvětlit fakt, že úchop tvořil v našem výzkumu velmi krátký časový úsek. Z tohoto důvodu se nemohl projevit výrazný pozitivní nebo negativní korelační koeficient. Z tabulky (viz tab 14, s. 63) je zřejmé že většina korelací se blíží nule, což také může vztah vyjadřovat, jen jej není možné lineární korelací ozřejmit.

Svalová aktivita ruky, především úchopování, je kineziologickou součástí mnoha sportovních a pracovních aktivit. Podle některých výzkumů by mohla způsobit zvýšení svalové aktivity proximálních svalů a přispět tak k poškození svalů v oblasti paže a ramenního kloubu. Alizadehkhayat et al. se zaměřili na m. supraspinatus a m. infraspinatus, tedy svaly stabilizující glenohumerální kloub v rámci rotátorové manžety. Provedli objektivizaci vlivu 50% síly úchopu na tyto svaly ve standardizované pozici paže. Ve své práci informovali o statisticky významném nárůstu amplitudy na hladině statistické významnosti $p=0,01$, což ukazuje na nárůst svalové aktivity (Alizadehkhayat et al., 2010, pp. 478-482).

Oddálení a přiblížení se statisticky významně projevilo na vztahu mm. flexores antebrachii s m. deltoideus a m. latissimus dorsi (viz tab 15, 16, ss. 65, 67). Vztah proximálních a distálních svalů se u dominantních horních končetin často vyšetřuje, v souvislosti s přetěžováním svalů ramenního kloubu a rotátorové manžety při pracovním zatížení akra. Sporrang, Palmerud a Herberts provedli studii, při které vyšetřovali EMG aktivitu čtyř svalů (m. supraspinatus, m. infraspinatus, m. deltoideus pars medius, m. trapezius pars descendens) ramenního pletence v závislosti na stisku dynamometru a osmi různých pozicích paže. EMG zaznamenala svalovou aktivitu ruky u m. extensor carpi ulnaris. Síla úchopu byla měřena dynamometrem a vyhodnocovaná při 30% a 50% maxima. Nejvýraznější změny svalové aktivity byly zjištěny u m. supraspinatus ve flexi 60° a v abdukci 120°. U m. infraspinatus došlo k minimálním změnám. M. deltoideus měl do 90° tendenci zvyšovat svoji svalovou aktivitu, ve vyšších polohách pak svalová aktivita klesala. M. trapezius nevykazoval žádné výrazné změny. Autoři shrnuli výsledky do tvrzení, že stabilizační svaly rotátorové manžety jsou aktivitou ruky více ovlivněny než dynamické svaly (Sporrang, Palmerud, Herberts, 1996, pp. 485-490).

Opačnou strategii ve své práci použili Roman-Liu a Tokarski, kteří vyšetřovali jaký vliv má pozice paže na maximální sílu úchopu. Testování provedli ve čtyřech různých umístěních horní končetiny a kromě maximálního úchopu snímali i EMG záznam z 5 svalů (m. extensor carpi radialis longus, m. flexor carpi ulnaris, m. biceps brachii caput breve, m. deltoideus pars anterior, m. trapezius pars descendens) paže a předloktí. Výsledky ukázaly, že se všechny čtyři pozice paže lišili v hodnotě maximální síly úchopu (Roman-liu, Tokarski, 2002, pp. 33-48).

Pochopení, jak jsou svaly v oblasti ramenního kloubu aktivovány během zatížení ruky, může pomoci pochopit mechanismy zranění a přinést podporu lepším strategiím pro efektivnější rehabilitaci (Alizadehkhayat et al., 2010, p. 479).

Na levé horní končetině dosáhly statistické významnosti pouze pozitivní korelační koeficienty a to ve vztahu mm. flexores antebrachii s m. trapezius pars descendens, m. infraspinatus a m. serratus anterior (viz tab 13-16, ss. 61, 63, 65, 67).

V jednom případě byla zjištěna shodná statisticky významná korelace na obou končetinách, vztah mezi mm. flexores antebrachii a m. infraspinatus při oddálení

malého válce. Protože práce zabývající se vztahem proximálních a distálních svalů jsou nejčastěji prováděny na pravé horní končetině, rozhodli jsme se ve Vědecké otázce 3 zjistit, zda ve statisticky významných korelačních koeficientech existuje mezi horními končetinami rozdíl.

5.5 Diskuze k vědecké otázce 3

Cílem vědecké otázky 3 bylo zjistit, zda se korelační koeficienty liší na pravé a levé horní končetině. Pokud se alespoň na jedné horní končetině projevil statisticky významný korelační koeficient, byla dále zjišťovaná jeho statistická významnost v porovnání z druhostrannou končetinou.

Na základě statisticky zpracovaných dat byl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi horními končetinami v korelačních koeficientech pouze u mm. flexores antebrachii ve vztahu k m. trapezius pars descendens (viz tab 19, s. 72) při dosahu malého válce. Na obou horních končetinách byla tato korelace pozitivní, ale levostranně dosáhla výrazně vyšších hodnot.

Zajímavá situace nastává při srovnání korelací extensorů s proximálními svaly mezi pravou a levou horní končetinou při dosahu (viz tab 9, s. 52). Přestože zde nebyla žádná korelace statisticky významná, můžeme vidět, že na pravé horní končetině dosáhly korelační koeficienty vyšších hodnot než 0,2 pouze ve dvou případech, na rozdíl od levé horní končetiny, kdy hranici 0,2 přesáhly v devíti případech. Osm z nich pak vyjadřovalo vztah s m. pectoralis major a m. infraspinatus. Teoreticky bychom tedy mohli říci, že se s narůstající aktivací mm. extensores antebrachii měla tendenci lineárně zvyšovat i aktivita těchto proximálních svalů, což by mohlo souviset s určitou koaktivací ve smyslu zachování neutrálního postavení. Tato skutečnost se nám ale v žádném případě statisticky nepotvrdila.

Řada autorů se snaží odhalit rozdíly mezi dominantní a nedominantní končetinou. Nejčastěji využívají kinematické analýzy, které nevedou k výrazně odlišným výsledkům při provedení pohybu horními končetinami. Grosskopf a Kuhtz-Buschbeck provedli studii zaměřenou na srovnání dominantní a nedominantní horní končetiny během uchopovacího pohybu pomocí kinematické analýzy. Vyšetřovaly

praváky, kteří měli za úkol uchopit, přemístit a vložit válcový předmět do cílené pozice. Tento pohyb prováděli třemi různými rychlostmi (rychle, běžnou rychlostí, pomalu) s vizuální a bez vizuální kontroly. Očekávali, že naleznou rozdíl mezi dominantní a nedominantní paží, který možná není zcela zjevný, ale je kinematickou analýzou detekovatelný. Efekt rychlostí a vizuálních podmínek byl však srovnatelný na pravé a levé horní končetině, téměř všechna kinematická data byla ekvivalentní. Jediný signifikantní rozdíl mezi končetinami uvedli Grosskopf a Kuhtz-Buschbeck v rychlosti vložení objektu do cílené pozice, kdy byla dominantní horní končetina rychlejší (Grosskopf, Kuhtz-Buschbeck, 2006, pp. 230-240).

Další autoři se zaměřují na rozdíly ve strategii řízení horních končetin. Tretriluxana, Gordon a Winstein se snažili se ozřejmit vizuomotorický vliv na přípravu úchopu a dosah při srovnání pravé a levé horní končetiny. Celkově provedli obě horní končetiny úkol se stejnou kvalitou. Autoři však tvrdí, že existuje odlišný proces zpracování velikosti objektu. Na levé horní končetině se to projevila dřívější příprava tvaru úchopu, zatím co na pravé horní končetině byla odhalena silnější dosahově - úchopová koordinace (Tretriluxana, Gordon, Winstein, 2008, p. 306, 311).

V současné době se ve studiích zkoumajících lateralizaci horních končetin více využívá elektromyografie. Tseng a Scholz provedli srovnávací studii, ve které probandi kreslili kruh. Zjistili, že pohyb v loktu u nedominantní končetiny vychází primárně ze svalů v oblasti loktu. U dominantní končetiny vzniká ten samý pohyb kombinací aktivity svalů a interakce vycházející z pohybu v ramenním kloubu. Z toho lze vyvodit, že pohybový systém pravděpodobně využívá ke kontrole dominantního loktu předvídání intersegmentální dynamiky a využívá jí. Elektromyograficky potvrdili, že distální svaly na dominantní horní končetině vykazovaly menší aktivitu (Tseng, Scholz, 2006, p. 383-385).

ZÁVĚR

Hlavním úkolem diplomové práce bylo zhodnotit svalovou aktivitu a svalové synergie na pravé a levé horní končetině. Zjištěné rozdíly mezi horními končetinami zpracované na základě naměřených dat byly konfrontovány s dosavadními informacemi z vědeckých studií.

Na základě statisticky zpracovaných dat můžeme vidět rozdíl mezi horními končetinami ve svalové aktivitě m. serratus anterior a mm. flexores antebrachii. Během dosahu a úchopu vykazoval m. serratus anterior konstantně, a v několika případech i statisticky významně, vyšší hodnoty na pravé horní končetině. Tuto skutečnost si vysvětlujeme kvalitnější stabilizací ramenního pletence dominantní horní končetiny, která je lépe adaptovaná na provedení dosahových aktivit. Vyšší aktivita m. serratus anterior může být také projevem ekonomizace provedení pohybu. Dominantní pravá horní končetina pro pohyb využije primárně nejúčelnější svaly, zatímco nedominantní levá horní končetina zapojí více antagonistů, ale s menší amplitudou svalové aktivity. Mm. flexores antebrachii měli během oddálení pera naopak vyšší svalovou aktivitu na levé horní končetině. Grosskopf a Kuhtz-Buschbeck uvádí (2006, p. 231), že nedominantní horní končetina při úchopu malých objektů vykazuje vyšší svalovou aktivitu.

Vyjádření vztahu mezi distálními a proximální svaly pomocí korelačních koeficientů se výrazněji projevilo u mm. flexores antebrachii, než u mm. extensores antebrachii na obou horních končetinách. Pouze v jednom případě byl statisticky významný korelační koeficient stejný na pravé i levé horní končetině. Shodná korelace charakterizovala kladný lineární vztah mezi mm. flexores antebrachii a m. infraspinatus při oddálení malého válece. V ostatních případech byly statisticky významné korelační koeficienty náhodně rozmístěny, což odpovídá tvrzení současných autorů, že variabilita je základním projevem fyziologické motoriky.

Srovnání, zda se liší statisticky významné korelační koeficienty mezi pravou a levou horní končetinou, neprokázalo výrazné odlišnosti mezi horními končetinami. Statisticky významný rozdíl se projevil jen u korelace mezi mm. flexores antebrachii a m. trapezius pars descendent při dosahu na malý váleček. Na obou horních končetinách

byla tato korelace vyjádřeně kladným korelačním koeficientem, ale na nedominantní straně dosahoval výrazně vyšších hodnot.

Námi zpracované výsledky odpovídají současným zjištěním, že se dynamika horních končetin v dílčích prvcích liší, ale v celkovém zhodnocení kinematiky pohybu se mezi nimi neobjevují výrazné rozdíly.

REFERENČNÍ SEZNAM

ALIZADEHKHAIYAT, O. FISHER, A. C. KEMP, G. J. VISHWANATHAN, K. FROSTICK, S. P. 2011. Shoulder muscle activation and fatigue during a controlled forceful hand grip task: A simulation study. *Journal of Electromyography and Kinesiology* [online]. 2011, vol. 21, no. 3, pp. 478-482. [cit. 4. 4. 2013]. ISSN 1050-6411. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1050641111000332>>

ANNETT, M. 1998. Handedness and cerebral dominance: The right shift theory. *Journal of neuropsychiatry* [online]. 1998, vol. 14, no. 5, pp. 427-480. [cit. 2. 1. 2013]. ISSN 1724-4935. Dostupné z: <<http://neuro.psychiatryonline.org/article.aspx?articleID=99964>>

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. 4. 10. 2012]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/88/5/2408.full.pdf>>

BAGESTEIRO, L. B. SAINBURG, R. L. 2003. Nondominant arm advantages in load compensation during rapid elbow joint movements. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2003, vol. 90, no. 30, pp. 1503-1513. [cit. 4. 10. 2012]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/90/3/1503.full.pdf+html>>

BAKKER, H. DE GRAAF-PETERS, V. B. VAN EYKERN, L. A. OTTEN, B. HADDERS-ALGRA, M. 2012. Development of proximal arm muscle control during reaching in young infants: From variation to selection. *Infant Behavior and development* [online]. 2010, vol. 33, no. 1, pp. 30-38. [cit. 4. 4. 2013]. ISSN 0163-6383. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0163638309000988>>

BARBER, A. D. SRINIVASAN, P. JOEL, S. E. CAFFO, B. S. PEKAR, J. J. MOSTOFSKY, S. H. 2012. Motor „Dexterity“?: Evidence that left hemisphere

lateralization of motor circuit connectivity is associated with better motor performance in children. *Cerebral Cortex* [online]. 2012, vol. 22, no. 1, pp. 51-59. [cit. 19. 3. 2013].

ISSN 1047-3211. Dostupné z:

<<http://www.cercor.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/cercor/bhr062>>

BICCHI, A. GABICCINI, M. SANTELLO, M. 2011. Modelling natural and artificial hands with synergies. *Philosophical transactions of the royal society B: Biological Sciences* [online]. 2011, vol. 366, no. 1581, pp. 3153-3161. [cit. 20. 3. 2013]. ISSN

0962-8436. Dostupné z:

<<http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2011.0152>>

CASTELLINI, C. SMAGT, P. 2013. Evidence of muscle synergies during human grasping. *Biological cybernetics* [online]. 2013, vol. 107, no. 2, pp. 233-245. [cit. 18.

3. 2013]. ISSN 0340-1200. Dostupné z: <[http://link.springer.com/10.1007/s00422-](http://link.springer.com/10.1007/s00422-013-0548-4)

[013-0548-4](http://link.springer.com/10.1007/s00422-013-0548-4)>

CRIVELLATO, E. RIBATTI, D. 2006. Sould, mind brain: Greek philosophy and the birth of neuroscience. *Brain Research Bulletin* [online]. 2006, vol. 71, no. 4, pp. 327-

336. [cit. 24. 4. 2013]. ISSN 036109230. Dostupné z:

<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036192300600298X>>

DALTON, T. C. 2005. Arnold Gesell and the maturation controversy. *Integrative physiological and behavioral science* [online]. 2005, vol. 40, no. 4, pp. 182-204. [cit.

24. 4. 2013]. ISSN 1053-881x. Dostupné z:

<<http://link.springer.com/article/10.1007/BF02915215>>

D'AVELLA, A. FERNANDEZ, L. PORTONE, A. LACQUANITI, F. 2008. Modulation of phasic and tonic muscle synergies with reaching direction and speed. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2008, vol. 100, no. 3, pp. 1433-1454. [cit. 18. 4.

2012]. ISSN 0022-3077. Dostupné z:

<<http://jn.physiology.org/content/100/3/1433.full.pdf+html>>

D'AVELLA, A. PORTONE, A. FERNANDEZ, L. LACQUANITI, F. 2006. Control of fast-reaching movements by muscle synergy combinations. *The Journal of Neuroscience* [online]. 2006, vol. 26, no. 30, pp. 7791-7810. [cit. 31. 1. 2012]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16870725>>

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. 6. 10. 2012]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/98/2/757.long>>

FETTERS, L. Perspective on variability in the development of human action: promising for understanding and treating developmental motor disorders. *Physical Therapy* [online]. 2010, vol. 90, no. 12, pp. 1860-1867. [cit. 6. 1. 2013]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: <<http://ptjournalapta.org/cgi/doi/10.2522/ptj.2010090>>

GOBLE, D. J. BROWN, S. H. 2008. The biological and behavioral basis of upper limb asymmetries in sensorimotor performance. *Neuroscience and biobehavioral reviews* [online]. 2008, vol. 32, no. 3, pp. 598-610. [cit. 6. 10. 2012]. ISSN 01497634. Dostupné z: <<http://motorcontrol.umich.edu/pdf/Goble%20and%20Brown%202008%20Review.pdf>>

GROSSKOPF, A. KUHTZ-BUSCHBECK, J. P. 2006. Grasping with the left and right hand: a kinematic study. *Experimental Brain Research* [online]. 2006, vol. 168, no. 1-2, pp. 230-240. [cit. 6. 4. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://link.springer.com/10.1007/s00221-005-0083-1>>

HADDERS-ALGRA, M. 2000. The Neuronal Group Selection Theory: a framework to explain variation in normal motor development. *Development Medicine and Child Neurology* [online]. 2000, vol. 42, no. 8, pp. 566-572. [cit. 9. 1. 2013]. ISSN 00121622. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10981936>>

HADDER-ALGRA, M. 2010. Variation and Variability: Key words in human motor development. *Physical therapy* [online]. 2010, vol. 90, no. 12, pp. 1823-1837. [cit. 9. 1. 2013]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: <<http://ptjournalapta.org/content/90/12/1823.long>>

HELSEN, W. F. STARKES, J. L. ELLIOTT, D. BUEKERS, M. J. 1998. Manual asymmetries and saccadic eye movements in right-handers during single and reciprocal aiming movements. *Cortex* [online]. 1998, vol. 34, no. 4, pp. 513-530. [cit. 8. 3. 2013]. ISSN 0010-9452. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0010945208705112>>

KAPANDJI, I. A. The physiology of the joint. Paris: Maloine S. A. Editeur, 1982, ISBN 443 02504 5

KRÁLÍČEK, P. Úvod do speciální neurofyzologie. Praha: Galén, 2011, ISBN 978-80-7262-618-2

LABAK, I. SNAJDER, D. SRZENTIĆ, M. BENŠIĆ, M. NIŠT, M. ILAKOVAC, V. HEFFER, M. 2011. Writing and drawing with both hands as indicators of hemispheric dominance. *Collegium Antropologicum* [online]. 2011, vol. 35, no. 1, pp. 65-71. [cit. 11. 2. 2012]. ISSN 0350-6134. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21648313>>

LATASH, M. L. 2008. Neurophysiological basis of movement. 2nd ed. Champaign: Human Kinematics, 2008. ISBN 978-0-7360-6367-8.

LATASH, M. L. 2008. Evolution of motor kontrol: from reflexes and motor programs to the equilibrium-point hypothesis. *Journal of human kinetics* [online]. 2008, vol. 19, no. 19, pp. 3-24. [cit. 16. 3. 2013]. ISSN 1899-7562. Dostupné z: <<http://www.degruyter.com/view/j/hukin.2008.19.issue--1/v10078-008-0001-2/v10078-008-0001-2.xml>>

LATASH, M. L. 2010a. Two archetypes of motor control research. *Motor control* [online]. 2010, vol. 14, no. 3, pp. 41-53. [cit. 16. 3. 2013]. ISSN 1087-1640. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3071624/>>

LATASH, M. L. 2010b. Motor synergies and the equilibrium-point hypothesis. *Motor control* [online]. 2010, vol. 14, no. 3, pp. 294-322. [cit. 17. 3. 2013]. ISSN 1087-1640. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2921643/>>

LATASH, M. L. 2012a. The bliss of motor abundance. *Experimental Brain Research* [online]. 2012, vol. 217, no. 1, pp. 1-5. [cit. 14. 3. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00221-012-3000-4>>

LATASH, M. L. 2012b. Movement that are both variable and optimal *Journal of human kinetics* [online]. 2012, vol. 34, no. 1, pp. 5-13. [cit. 14. 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. ANSON, G. 2006. Synergie in health and disease: relations to adaptive changes in motor coordination. *Physical therapy* [online]. 2006, vol. 86, pp. 1151-1160. [cit. 31. 1. 2012]. ISSN 0031-9023. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16879049>>

LATASH, M. L. GORNIAK, S. ZATSIORSKY, V. M. 2008. Hierarchie sof synergies in human movements. *Kinesiology* [online]. 2008, vol. 40, no. 1, pp. 29-38. [cit. 15. 3. 2013]. ISSN 1331-1441. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2846665/>>

LATASH, M. L. LEVIN, M. F. SCHOLZ, J. P. SCHÖNER, G. 2012. Motor control theories and their applications. *Medicina* [online]. 2010, vol. 46, no. 6, pp. 382-392. [cit. 15. 3. 2013]. ISSN neuvedeno. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3017756/>>

LATASH, M. SCHOLZ, J. DANION, F. SCHÖNER, G. 2002. Finger coordination during discrete and oscillatory force production tasks. *Experimental Brain Research* [online]. 2002, vol. 146, no. 4, pp. 419-432. [cit. 8. 2. 2012]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12355270>>

LATASH, M. L. SCHOLZ, J. P. SCHÖNER, G. 2002. Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. *Exercise and Sport Science Reviews* [online]. 2002, vol. 30, no. 1, pp. 26-31. [cit. 4. 10. 2012]. ISSN 0091-6331. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11800496>>

LAVRYSEN, A. HELSEN, W. TREMBLAY, L. ELLIOTT, D. ADAM, J. FEYS, P. BUEKERS, M. 2003. The control of sequential aiming movements: The influence of practice and Manual Asymmetries on the one-target advantage. *Cortex* [online]. 2003, vol. 39, no. 2, pp. 307-325. [cit. 3. 3. 2013]. ISSN 0010-9452. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0010945208701114>>

MASON, C. G. GOMEZ, J. E. EBNER, T. J. 2001. Hand synergies during reach-to-grasp. *Journal of neurophysiology* [online]. 2001, vol. 86, no. 6, pp. 2896-2910. [cit. 17. 3. 2013]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/86/6/2896.full.pdf+html>>

MIESCHKE, P. E. ELLIOTT, D. HELSEN, W. F. CARSON, R. G. COULL, J. A. 2001. Manual asymmetries in the preparation and control of goal-directed movements: a simulation study. *Brain and cognition* [online]. 2001, vol. 45, no. 1, pp. 129-140. [cit. 16. 3. 2013]. ISSN 0278-2626. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0278262600912624>>

NEPTUNE, R. R. CLARK, D. J. KAUTZ, S. A. 2009. Modular control of human walking: A simulation study. *Journal of Biomechanics* [online]. 2009, vol. 42, no. 9, pp. 1282-1287. [cit. 15. 3. 2013]. ISSN 0021-9290. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0021929009001389>>

PERELLE, I. B. EHRMAN, L. 2005. On the other hand. *Behavior Genetics* [online]. 2005, vol. 35, no. 3, pp. 343-350. [cit. 10. 3. 2013]. ISSN 0001-8244. Dostupné z: <<http://link.springer.com/10.1007/s10519-005-3226-z>>

ROMAN-LIU, D. TOKARSKI, T. 2002. EMG of arm and forearm muscle activities with regard to handgrip force in relation to upper limb location. *Acta of Bioengineering and Biomechanics* [online]. 2002, vol. 4, no. 2, pp. 33-48. [cit. 10. 4. 2013]. ISSN 1509-409X. Dostupné z: <<http://www.actabio.pwr.wroc.pl/Vol4No2/2.pdf>>

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. 31. 1. 2012]. ISSN 1082-0744. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21796239>>

SAINBURG, L. R. 2002. Evidence for a dynamic-dominance hypothesis of handedness. *Experimental Brain Research* [online]. 2002, vol. 142, no. 2, pp. 241-258. [cit. 6. 10. 2012]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00221-001-0913-8>>

SAINBURG, R. L. KALAKANIS, D. 2000. Differences of limb dynamics during dominant and nondominant arm reaching. *Journal of neurophysiology* [online]. 2000, no. 5, vol. 83, pp. 2661-2675. [cit. 10. 4. 2012]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/content/83/5/2661.full.pdf>>

SAINBURG, R. L. SCHAEFER, S. Y. 2004. Interlimb differences in control of movement extent. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2004, vo. 92, no. 3, pp. 1374-1383. [cit. 8. 3. 2013]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/cgi/doi/10.1152/jn.00181.2004>>

SANTELLO, M. SOECHTING, J. F. 2000. Force synergies for multifingered grasping. *Experimental Brain Research* [online]. 2000, vo. 133, no. 4, pp. 457-467.

[cit. 18. 3. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z:
<<http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article>>

SHABBOTT, B. A. SAINBURG, R. L. 2008. Differentiating between two model of motor lateralization. *Journal of neurophysiology* [online]. 2008, vol. 100, no. 2, pp. 565-575. [cit. 11. 3. 2013]. ISSN 0022-3077. Dostupné z:
<<http://jn.physiology.org/cgi/doi/10.1152/jn.90349.2008>>

SCHEIDT, R. A. GHEZ, C. 2007. Separate adaptive mechanisms for controlling trajectory and final position in reaching. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2007, vol. 98, no. 6, pp. 3600-3613. [cit. 6. 10. 2012]. ISSN 0022-3077. Dostupné z:
<<http://jn.physiology.org/cgi/doi/10.1152/jn.00121.2007>>

SCHIEBER, M. H. SANTELLO, M. 2004. Hand function: peripheral and central constraints on performance. *Journal of Applied Physiology* [online]. 2004, vol. 96, no. 6, pp. 2293-2300. [cit. 6. 3. 2013]. ISSN 8750-7587. Dostupné z:
<<http://jap.physiology.org/cgi/doi/10.1152/jappphysiol.01063.2003>>

SCHNEIBERG, S. SVEISTRUP, H. MCFADYEN, B. MCKINLEY, P. LEVIN, M. F. 2002. The development of coordination for reach-to-grasp movements in children. *Experimental Brain Research* [online]. 2002, vol. 146, no. 2, pp. 142-154. [cit. 13. 3. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z:
<<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00221-002-1156-z>>

SPORRONG, H. PALMERUD, G. HERBERTS, P. 1996. Hand grip increases shoulder muscle activity: An EMG analysis with static hand contractions in 9 subjects. *Acta orthopaedica scandinavica* [online]. 1996, vol. 67, no. 5, pp. 485-490. [cit. 6. 3. 2013]. ISSN 8750-7587. Dostupné z:
<<http://informahealthcare.com/doi/pdf/10.3109/17453679608996674>>

SUMMERS, J. J. ANSON, J. G. 2009. Current status of the motor program: revisited. *Human Movement Science* [online]. 2009, vol. 28, no. 5, pp. 566-577. [cit. 25. 4.

2013]. ISSN 01679457. Dostupné z:
<<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167945709000189>>

THELEN, E. 1995. Motor development: A new synthesis. *American psychologist* [online]. 1995, vol. 50, no. 2, pp. 79-95. [cit. 23. 4. 2013]. ISSN 0003-066X. Dostupné z: <<http://vserver1.cscs.lsa.umich.edu/~rlr/CSCS501/uploads/Main/thelan.pdf>>

TING, L. H. McKAY, L. 2007. Neuromechanics of muscle synergies for posture and movement. *Current Opinion in Neurobiology* [online]. 2007, vol. 17, no. 6, pp. 622-628. [cit. 31. 1. 2012]. ISSN 09594388. 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. 31. 1. 2012]. ISSN 09594388. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2818278/>>

TRETRILUXANA, J. GORDON, J. WINSTEIN, C. J. 2008. Manual asymmetries in grasp pre-shaping and transport-grasp coordination. *Experimental Brain Research* [online]. 2008, vol. 188, no. 2, pp. 305-315. [cit. 12. 3. 2013]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/s00221-008-1364-2>>

TSENG, Y. SCHOLZ, J. P. 2006. Effects of Movement Frequency and Joint Kinetics on the Joint Coordination Underlying Bimanual Circle Drawing. *Journal of Motor Behavior* [online]. 2006, vol. 38, no. 5, pp. 383-404. [cit. 31. 1. 2012]. ISSN 0022-2895. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2253686/>>

TSENG, Y. SCHOLZ, J. P. SCHÖNER, G. 2002. Goal-equivalent joint coordination in pointing: Affect of vision and arm dominance. *Motor control* [online]. 2002, vol. 9, no. 2, pp. 183-204, [cit. 6. 10. 2012]. ISSN 1087-1640. Dostupné z: <<ftp://ftp.neuroinformatik.rub.de/pub/manuscripts/articles/TsengScholzSchoner2002.pdf>>

VÉLE, F. Kineziologie. Praha: Triton, 2006, ISBN 80-7254-837-9

VOUDOURIS, D. RADHAKRISHNAN, S. HATZITAKI, V. BRENNER, E. 2013. Does postural stability affect grasping? *Gait and posture* [online]. 2013, vol. 45, no. 1, pp. 1-6. [cit. 17. 2. 2013]. ISSN 09666362. Dostupné z: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636213000398>>

WEISS, E. J. FLANDERS, M. 2004. Muscular and postural synergies of the human hand. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2004, vol. 92, no. 1, pp. 523-535. [cit. 5. 3. 2013]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <<http://jn.physiology.org/cgi/doi/10.1152/jn.01265.2003>>

ZHANG, W. SAINBURG, R. ZATSIORSKY, V. LATASH, M. 2006. Hand dominance and multi-finger synergies. *Neuroscience Letters* [online]. 2006, vol. 409, no. 3, pp. 200-204. [cit. 31. 1. 2012]. ISSN 03043940. Dostupné z: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17018249>>

SEZNAM ZKRATEK

- CMG – centrální motorické generátory
- CNS – centrální nervový systém
- C7 – sedmý krční obratel
- DOF – defrees of freedom, stupně volnosti
- EKG – elektrokardiografie
- EMG – elektromyografie
- EP – Equilibrium-point hypotéza
- MK – malá koule
- MS – microsoft
- MV – malý válec
- M1 – primární motorická kůra
- s.c.s. – slovník cizích slov
- SMO – suplementární motorická oblast
- p – hladina statistické významnosti
- P – pero
- RS – alela „Right shift“ teorie
- TSNS – teorie selekce neurálních skupin
- UCM – Uncontrolled manifold hypotéza
- VK – velká koule
- VV – velký válec

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1.	Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při dosahu velkého válce	42
Graf 2.	Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při dosahu	43
Graf 3.	Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při úchopu malého válce	44
Graf 4.	Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při úchopu	45
Graf 5.	Průměrná hodnota integrálů m. serratus anterior P/L při úchopu oddálení pera	46
Graf 6.	Průměrná hodnota integrálů mm. flexores antebrachii P/L při oddálení ..	47
Graf 7.	Statistická významnost rozdílu mezi P/L napříč fázemi cílené aktivity ..	49
Graf 8.	Průměrná hodnota integrálů mm. flexores antebrachii P/L napříč fázemi	50
Graf 9.	Průměrná hodnota integrálů m. infraspinatus P/L napříč fázemi	50
Graf 10.	Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při dosahu	53
Graf 11.	Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při úchopu	55
Graf 12.	Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při oddálení	57
Graf 13.	Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při přiblížení	59
Graf 14.	Hodnoty korelačního koeficientu mm. flexores antebrachii a proximálních svalů při dosahu	62
Graf 15.	Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při úchopu	64
Graf 16.	Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při oddálení	66
Graf 17.	Hodnoty korelačního koeficientu mm. extensores antebrachii a proximálních svalů při přiblížení	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Transverzální anatomický řez magnetickou rezonancí	27
---	----

SEZNAM TABULEK

Tab 1. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L při dosahu	42
Tab 2. Průměrná hodnota integrálů při dosahu	43
Tab 3. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L při úchopu	44
Tab 4. Průměrná hodnota integrálů při úchopu	45
Tab 5. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L při oddálení	46
Tab 6. Průměrná hodnota integrálů při oddálení	47
Tab 7. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L při přiblížení	48
Tab 8. Statistická významnost rozdílu průměrných hodnot integrálů P/L napříč fázemi	49
Tab 9. Korelační koeficienty mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly při dosahu	52
Tab 10. Korelační koeficienty mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly při úchopu	54
Tab 11. Korelační koeficienty mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly při oddálení	56
Tab 12. Korelační koeficienty mezi mm. extensores antebrachii a proximálními svaly při přiblížení	58
Tab 13. Korelační koeficienty mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly při dosahu	61
Tab 14. Korelační koeficienty mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly při úchopu	63
Tab 15. Korelační koeficienty mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly při oddálení	65
Tab 16. Korelační koeficienty mezi mm. flexores antebrachii a proximálními svaly při přiblížení	67
Tab 17. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro úchop	70

Tab 18. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro přiblížení	71
Tab 19. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro dosah malého válce	72
Tab 20. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro dosah	73
Tab 21. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro úchop	74
Tab 22. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro oddálení	75
Tab 23. Statistická významnost rozdílu korelací P/L pro přiblížení	75

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Statistická charakteristika probandů	108
Přílohy 2. Informovaný souhlas	109
Příloha 3. Typy uchopovaných předmětů	111

PŘÍLOHY

Příloha 1. Statistická charakteristika probandů

MLADŠÍ	POČET	MINIMUM	MAXIMUM	PRŮMĚR	MEDIÁN	ROZPTYL	ODCHYLKA
VÝŠKA	19	162	176	169,63	170	13,18	3,63
VÁHA	19	54	74	64,21	64	34,27	5,85
VĚK	19	24	27	24,89	25	1,04	1,02

STARŠÍ	POČET	MINIMUM	MAXIMUM	PRŮMĚR	MEDIÁN	ROZPTYL	ODCHYLKA
VÝŠKA	12	153	188	170	169	78,17	8,84
VÁHA	12	62	98	76,33	75,5	128,39	11,33
VĚK	12	48	66	53,42	52,5	23,08	4,8

CELKEM	POČET	MINIMUM	MAXIMUM	PRŮMĚR	MEDIÁN	ROZPTYL	ODCHYLKA
VÝŠKA	31	153	188	169,77	170	38,37	6,19
VÁHA	31	54	98	68,9	66	105,57	10,27
VĚK	31	24	66	35,94	26	202,58	14,23

Přílohy 2. Informovaný souhlas

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 samolepících 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:

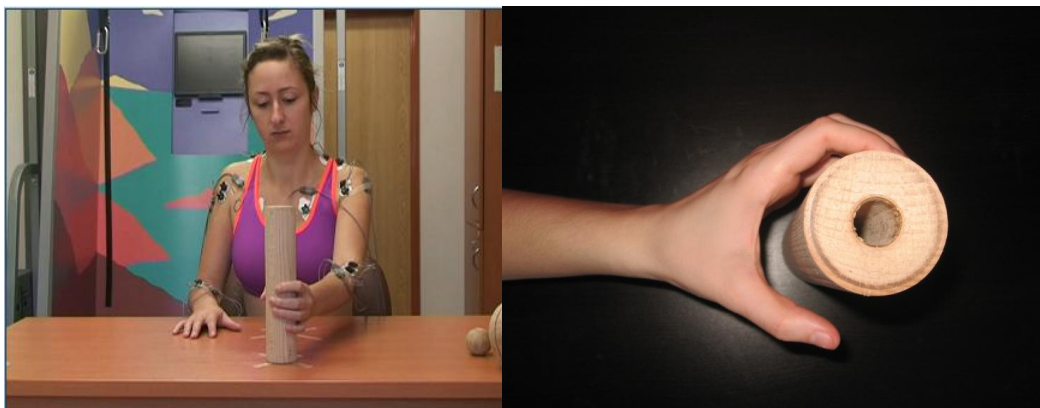
V _____ dne: _____

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

V _____ dne: _____

Příloha 3 Typy uchopovaných předmětů

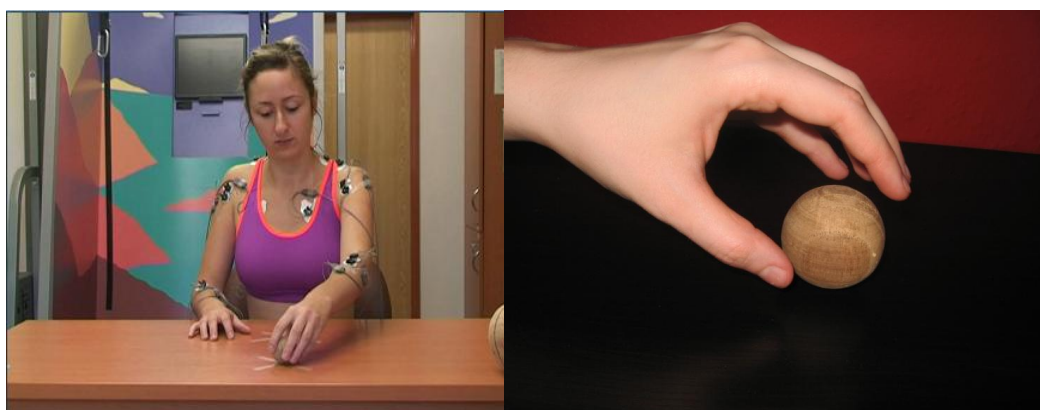
Malý válec



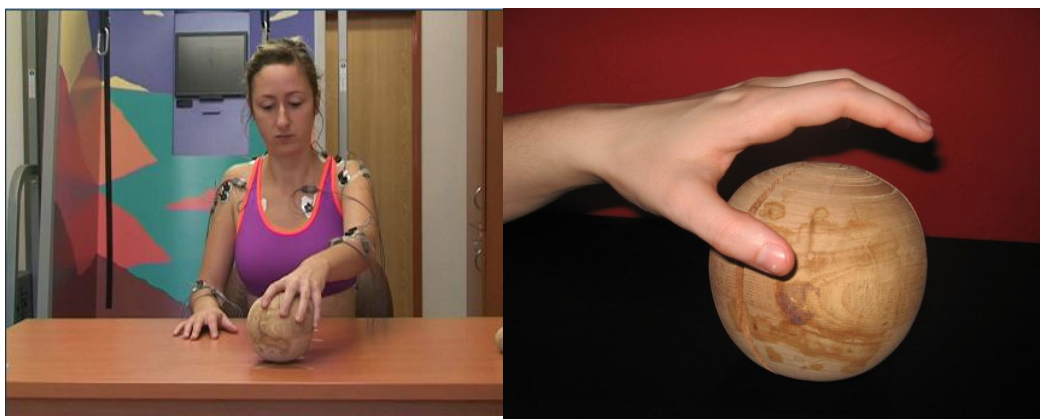
Velký válec



Malá koule



Velká koule



Pero

