UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

Vztah mezi projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu na horních i dolních končetinách a lateralitou člověka

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

PhDr. Martin Musálek, Ph.D.

Vypracoval:

Bc. Adam Rybář

Praha, srpen 2015

Prohlašuji, že jsem závěrečnou diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, dne

……

Bc. Adam Rybář

Evidenční list

Souhlasím se zapůjčením své diplomové práce ke studijním účelům. Uživatel svým podpisem stvrzuje, že tuto diplomovou práci použil ke studiu a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno a příjmení:	Fakulta / katedra:	Datum vypůjčení:	Podpis:

Poděkování

V první řadě bych velice rád poděkoval PhDr. Martinu Musálkovi, Ph.D., který mi byl neustálou a vysoce kvalifikovanou oporou v průběhu tvorby této diplomové práce. Poděkování patří také Ing. Petru Kubovému za odborné rady při měření a analýze dat. Závěrem děkuji všem probandům, kteří se výzkumu dobrovolně zúčastnili.

Abstrakt

Název: Vztah mezi projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu na horních i dolních končetinách a lateralitou člověka.

Cíle: Cílem diplomové práce je zjistit míru vztahu mezi projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu a preferencí končetin.

Metody: Tohoto kvantitativního výzkumu se zúčastnilo celkem 27 jedinců – studentů a studentek UK FTVS. Preferenci končetin jsme určili prostřednictvím vybraných indikátorů z testové baterie autora Musálka (2013). Asymetrie v kloubní pasivitě jsme hodnotili na základě úhlových a časových parametrů v průběhu pohybu končetin při chůzi a při řízených pádech předloktí a bérců na sestrojeném padostroji. Pohyb byl zaznamenán v reálném čase pomocí Qualisys Motion Capture System a pro analýzu získaných dat jsme použili deskriptivní statistické metody, párový t-test, míru statistické i věcné významnosti (Cohenovo d) a tetrachorický korelační koeficient.

Výsledky: Z našeho výzkumu vyplývá, že na nepreferovaných končetinách není významně odlišná kloubní pasivita v porovnání s preferovanými. Je ale nutné brát v potaz specifika i velikost výzkumného souboru, ve kterém byli všichni aktivní sportovci. Výsledek tetrachorického korelační koeficient $r = 0,54$ naznačuje slabý vztah s množstvím nevysvětlených reziduí mezi směrem kloubní pasivity preferované horní a dolní končetiny. Analýza dat na separovaném souboru, zvlášť pro pravoruké a levoruké jedince, zaznamenala u praváků a leváků protichůdný směr sledovaných úhlových a časových parametrů. Mírný nesoulad s vyslovenou hypotézou, o nižším tonu na nepreferované končetině, byl zjištěn u praváků, zatím co leváci byli spíše v souladu s hypotézou. Jediný pozorovaný parametr, u kterého se ukázal statisticky významný rozdíl mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou, byl minimální úhel v kolenním kloubu dosažený po pádu bérce $p < 0,05$. U praváků byla hodnota statistické významnosti tohoto

rozdílu ve směru kloubní pasivity proti Hennerově hypotéze (Cohenovo d = 0,58). V případě leváku byl tento rozdíl v tomto hodnoceném parametru také statisticky významný $p < 0,05$ (Cohenovo d = 0,46), ale v souladu s Henerovou hypotézou. Vztah mezi preferencí končetin a projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu na horních i dolních končetinách se tedy neukázal jako průkazný. Je možné, že mozeček je v průběhu ontogeneze jedince značně adaptabilní a přizpůsobuje se požadované funkci. Svalový tonus by tedy mohl být mozečkem upravován na základě dlouhodobě působících podnětů z vnějšího prostředí. Tímto iniciátorem může být například často provozovaná pohybová aktivita nebo sportovní trénink.

Klíčová slova: lateralita, mozeček, rukovost, preference, zánikový fyziologický syndrom, kinematická analýza

Abstract

Title: Manifestation of cerebellar dominance in the form of extinction physiological syndrome on upper and lower limbs and its relationship to human laterality.

Objectives: The aim of this diploma thesis is to determinate size of relationship between manifestation of cerebellar dominance in the form of extinction physiological syndrome and preference of limbs.

Methods: A total of 27 individuals (male and female students of UK FTVS) were involved in the current quantitative research. We used indicators which were selected from Musalek's test battery (2013) to assess limb preferences. The evaluation of joint passivity asymmetry was based on angle and time parameters during walk and during controlled falls of forearm and shank on a constructed fall-machine. The movement was registered in real time by Qualisys Motion Capture System. For data analysis, descriptive statistics methods, paired t-test, level of statistical and substantive significance (Cohen's d) and tetrachoric coefficient of correlation were used.

Results: Our research suggests that there is no significant difference in joint passivity when comparing preferred and non preferred limbs. Though it is necessary to take into consideration specifics and the size of research sample in which everybody was an active athlete. The result of tetrachoric coefficient of correlation ($r = 0.54$) indicates a weak relationship with a number of unexplained residues between direction of joint passivity of preferred upper and lower limb. The data analysis of separated samples, for right-handed and left-handed respectively, detected an opposing direction of analyzed angle and time parameters with right-handers and left-handers. There was found out a subtle discrepancy about the declared hypothesis concerning lower muscle tone in the non preferred limb with right-handers, while left-handers were more likely in accordance with the hypothesis. The only observed parameter that showed statistically significant difference between the preferred and non preferred limb was a minimal angle

achieved in the knee joint after a fall of shank, $p < 0.05$. The value of statistical significance of this difference was in the direction of joint passivity against Henner's hypothesis (Cohen's $d = 0.58$). In case of left-handers, the difference in this evaluated parameter was also statistically significant, $p < 0.05$ (Cohen's $d = 0.46$). However this result was in accordance with Henner's hypothesis. The relationship between manifestation of cerebellar dominance in the form of extinction physiological syndrome on upper and lower limbs was not shown as conclusive. It is possible that cerebellum in the course of ontogenesis is greatly flexible and it can adjust to required function. Thus muscle tone could be modified by cerebellum in terms of impact from long-lasting impulses from outside environment. This initiator can be for example frequently performed movement activity or regular sport training.

Keywords: laterality, cerebellum, handedness, preference, extinction physiological syndrome, kinematic analysis

Obsah

1 ÚVOD 11

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE 13

2.1 Lateralita jako pojem 13

2.2 Asymetrie lidského mozku se vztahem k motorice 13

2.2.1 Strukturální asymetrie a motorické projevy laterality 14

2.2.2 Funkční asymetrie 18

2.3 Lateralita lokomočních orgánů 25

2.3.1 Lateralita horních končetin 27

2.3.2 Lateralita dolních končetin 29

2.4 Mozeček 30

2.4.1 Stavba mozečku 31

2.4.2 Vztah mezi funkcí mozečku a lateralitou člověka 33

2.4.3 Fyziologický zánikový syndrom jako projev mozečkové dominance 34

2.5 Asymetrie lokomoce u člověka 35

2.6 Diagnostické nástroje pro hodnocení laterality 37

3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE, HYPOTÉZY 39

3.1 Cíle práce 39

3.2 Úkoly práce 39

3.3 Vědecké otázky 39

3.4 Vědecké hypotézy 39

4 METODIKA PRÁCE 40

4.1 Popis výzkumného souboru 40

4.2 Použité metody 40

4.2.1 Testování laterality 40

4.2.2 Kinematická analýza 43

4.3 Sběr dat 47

4.4 Analýza dat 47

5 VÝSLEDKY 49

5.1 Výsledky úhlových a časových parametrů bez diferenciace subpopulací 49
5.1.1 Časové parametry - padostroj 49
5.1.2 Úhlové parametry - padostroj 50
5.1.3 Časové parametry s referenční hodnotou ze součtu měření 52
5.1.4 Úhlové parametry – chůze 53
5.1.5 Vztah mezi směrem kloubní pasivity u loketního a kolenního kloubu preferované končetiny 55
5.2 Výsledky úhlových a časových parametrů u subpopulací praváci a leváci 55
6 DISKUSE 58
6.1 Limity studie 64
7 ZÁVĚR 65
REFERENČNÍ SEZNAM 67
SEZNAM TABULEK 78
SEZNAM OBRÁZKŮ 79
SEZNAM PŘÍLOH 80
PŘÍLOHY 81

1 ÚVOD

Předmětem této diplomové práce je ověřit souvislost mezi lateralitou člověka (rukovostí, nohovostí) a mozečkovou dominancí, kterou je dle některých autorů možné pozorovat v podobě fyziologického zánikového syndromu na horních i dolních končetinách.

Fenomén laterality na sebe vždy upoutával pozornost nejen mnohých vědních oborů, ale těšil se také velkému zájmu u běžné populace. Jedním z hlavních důvodů popularity této problematiky mohou být zejména samotné projevy laterality (stranovosti). Ty bezesporu ovlivňují naše každodenní činnosti a provázejí nás po celý život, jako významná charakteristická vlastnost.

Současná zahraniční odborná literatura věnující se problematice laterality člověka je natolik obsáhlá, že není v silách jedince seznámit se s významnější částí publikovaných materiálů. Překvapivě málo studií je však věnováno problematice mozečkové dominance a jejímu vztahu směrem k lateralitě, zejména preferenci lokomočních orgánů. V tomto ohledu tvoří české území výjimku. Na odkaz profesora Kamila Hennera z roku 1927 a 1936, kde definoval periferní projev mozečkové dominance, jako tzv. fyziologický zánikový syndrom, navázali v poslední době jeho následovníci. Ti se snažili ověřit vztah právě mezi motorickými projevy laterality a projevy výše zmíněné mozečkové dominance. Cílem této práce je proto zjistit míru vztahu mezi projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu a preferencí končetin u dospělé populace studentů a studentek UK FTVS.

V teoretických východiscích práce je naším záměrem čtenáře nejprve seznámit s fenoménem laterality. Důležitou částí v teorii je kapitola týkající se mozečku a jeho funkcí, kde uvádíme pojem fyziologický zánikový syndrom a popisujeme současný stav řešení této problematiky. Empirická část práce předkládá cíl, úkoly a námi stanovené hypotézy, které ověřujeme ve výsledcích výzkumu.

Přínos této diplomové práce spočívá především v objektivizované použité metodice, prezentovaných poznatcích a výsledcích, které doplňují dosavadní stav poznání problematiky laterality. Domníváme se, že naše práce může být důležitým

zdrojem informací pro další výzkum mozečkové dominance v procesu motorického učení a jejího vztahu k motorickým projevům laterality.

2 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

2.1 Lateralita jako pojem

Pojem lateralita je odvozen z latinského slova *latus*, které do českého jazyka překládáme jako strana (Kábrt et al., 2001). Diferenciace levé a pravé strany je základní vlastnost přírody a asymetrické upřednostnění jedné z nich pak chápeme jako určitý projev laterality (Běláček, Tichý, & Dostálek, 2009; Koukolík, 2014). Asymetrie je považována za protějšek symetrie a vztahuje se k nesouměrnosti, která je v našem světě zastoupena v převažující míře (Gilat, 1990). Roku 1848 objevil Louis Pasteur asymetrie i na molekulární úrovni. Při zkoumání kyseliny vinné extrahované z hroznů zjistil, že její roztok stáčí rovinu polarizovaného světla doprava, zatím co uměle syntetizovaný roztok ji stáčí opačně, přestože substance měly totožné chemické složení. Jejich rozdílné vlastnosti jsou způsobené odlišným prostorovým uspořádáním molekul (McManus, 2002). Stejný jev můžeme pozorovat u aminokyselin, které jsou základní stavební jednotkou proteinů. Aminokyseliny rozeznáváme v levé (L-aminokyseliny) a pravé formě (D-aminokyseliny) podle směru stáčení polarizovaného světla. Živé organismy jsou však tvořeny výhradně levotočivými L-aminokyselinami. Pravotočivé aminokyseliny, se až na pár výjimek (např. buněčné stěny bakterií), v přírodě nevyskytují. Také pro naše tělo důležité sacharidy, jako je glukóza, existují v živých organismech pouze v jedné formě (D-glukóza). Tyto elementární projevy asymetrie u základních kamenů života, bez kterých by život na zemi nebyl možný, nazýváme homochiralitou. (Johnson, 2005; McManus, 2002). Na základě skutečnosti, že specifické prostorové uspořádání molekul propůjčuje látkám konkrétní vlastnosti, můžeme i lateralitu a její projevy v organismu chápat jako vlastnost člověka. Asymetrie můžeme pozorovat i u základního projevu života – pohybu (Musálek, 2013).

2.2 Asymetrie lidského mozku se vztahem k motorice

Lidský mozek (encephalon) se jako součást centrálního nervového systému člověka (CNS) vyvíjel přes 600 milionů let a je neustále podrobován rozsáhlému zkoumání odborníků z mnoha vědních oborů, jako je neuroanatomie, neurochirurgie, neurologie, neurobiologie, psychologie apod. Jedná se o nejsložitější orgán v dosud prozkoumaném světě (Nolte, 2009; Nowinski, 2011).

Většina biologických systémů vykazuje známky stranové asymetrie (Geschwind & Galaburda, 1985). Také mozkové hemisféry se od sebe navzájem liší, a to jak ve struktuře, tak ve funkcích. Tyto stranové rozdíly můžeme souhrnně označit pojmem lateralizace (Toga & Thompson, 2003). V současné době existuje mnoho studií, které v lidském mozku dokumentují makroskopické i mikroskopické strukturální rozdíly mezi hemisférami (Geschwind & Levitsky, 1968; Hugdahl & Davidson, 2003; James et al., 2015; LeMay, 1976; May & Kido, 1978; Takao, Hayashi, & Ohtomo, 2013). Velké množství výzkumů také potvrdilo funkční rozdíly mezi hemisférami (Frost et al., 1999; Pujol, Deus, Losilla, & Capdevila, 1999; Rasmussen & Milner, 1977; Sperry, 1968; Springer et al., 1999; Volkmann, Schnitzler, Witte, & Freund, 1998; Westerhausen, Kompus, & Hugdahl, 2014). Při studiu lateralizace lidského mozku bylo zjištěno, že mezi strukturálními i funkčními asymetriemi a motorickými projevy laterality existuje významný vztah (Amunts, 2010; Falk et al., 1991; Hochberg & LeMay, 1975; Pujol et al., 1999; Witelson & Kigar, 1992; Zilles et al., 1996).

2.2.1 Strukturální asymetrie a motorické projevy laterality

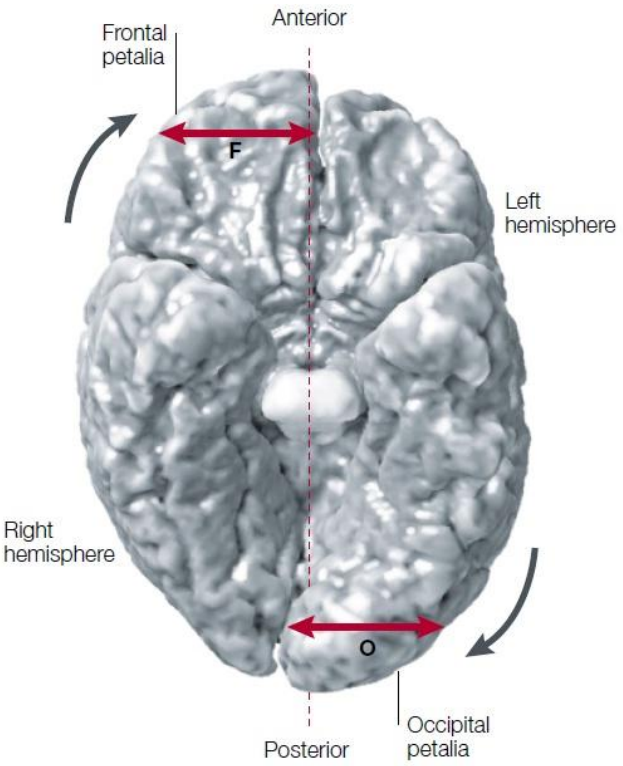
Z anatomického hlediska můžeme mozek rozdělit na 4 základní části: mozkový kmen (prodloužená mícha, Varolův most, střední mozek), mozeček, mezimozek a koncový mozek (Čihák, Rastislav, & Grim, 2004; Drake, Vogl, Mitchell, Gray, & Gray, 2005). Párové uspřádání částí mozku je zjevné při pouhém pohledu na jeho nejrozsáhlejší oddíl, koncový mozek. Přesto, že jsou mozkové hemisféry přibližně stejné objemem a hmotností, v rozložení tkáně můžeme spatřit výrazné odlišnosti (Economo & Horn, 1930; Elišková & Naňka, 2006; Toga & Thompson, 2003).

Následující text je vzhledem k cíli a rozsahu této práce zaměřen na makroskopické asymetrie koncového mozku a jeho kůry (cortex). Jednotlivé asymetrie jsou popsány vždy v kontextu motorických projevů laterality. Asymetrie mozečku budou detailně rozpracovány v samostatné kapitole 2.5. Je pozoruhodné, že tyto anatomické stranové odlišnosti mají tendenci se objevovat častěji a ve větší míře na mozku pravorukých jedinců v porovnání s levorukými (Hellige, 2001).

a) Yakovlevian anticlockwise torque

Nejvíce zřetelný znak strukturální asymetrie hemisfér jsou přečnívající laloky mozku. Pravá hemisféra často vyčnívá anteriorně přes levou a levá hemisféra přesahuje posteriorně pravou. Také pravý čelní lalok mozku je širší než levý, a oproti tomu levá

týlní část hemisféry je širší než pravá. Kompozice těchto asymetrii spolu s přesahem levého týlního laloku přes střední linii mozku na pravou stranu a pravého čelního laloku vstupujícího na levou polovinu vytváří dojem, že je mozek vystaven točivému momentu proti směru hodinových ručiček. Jedná se o další významnou odchylku od symetrie známou jako Yakovlevian anticlokwise torque (viz obrázek 1). Přečnívající laloky zanechávají otisky na vnitřním povrchu lebky – petalia. Je tak vytvořen negativ povrchové topologie mozku, který dokládá regionální asymetrie mozkových hemisfér (LeMay, 1976; Toga & Thompson, 2003). Přítomnost otisků byla zjištěna i z rekonstruovaných pravěkých fosílií primátů (Holloway, 1981). Z těchto zjištění můžeme usuzovat na fylogenetický původ lateralizace (Hugdahl & Westerhausen, 2010).



Obrázek 1 Yakovlevian anticlokwise torque (Toga & Thompson, 2003, str. 39)

Přestože jsou petalia pravého frontálního a levého týlního laloku k vidění v téměř celé populaci, mnohem výrazněji pozorovatelná jsou u pravorukých jedinců (Kertesz, Black, Polk, & Howell, 1986; May & Kido, 1978). Vztah mezi asymetricky výraznějšími otisky mozkových hemisfér a rukovostí popisuje studie Zillese et al. (1996). Pro výzkum použili 3D rekonstrukci MRI obrazů mozků živých levorukých (n = 14) a pravorukých (n = 15) probandů mužského pohlaví. 3D rekonstruovaný mozek rozdělili na pravou a levou polokouli a pomocí počítačových analytických procedur

zjišťovali asymetrie mezi otisky frontálních a týlních laloků. Výsledky dokládají významně výraznější frontální petalia pravé hemisféry u pravorukých mužů. V 37 procentech zanechala výraznější otisk pravá hemisféra, v 54 procentech byl otisk stejně výrazný a v 9 procentech byly petalia patrnější u levého frontálního laloku. Při porovnání stejné oblasti u levorukých probandů tato významnost zjištěna nebyla. V oblasti týlních laloků 3D analýza prokázala výraznější otisk levé hemisféry u pravorukých (68%) i levorukých mužů (63%). Výraznější asymetrie pozorované u praváků naznačily již výsledky předchozích studií (Falk et al., 1991; LeMay, 1976). Zjištěno také bylo, že otisky levého týlního laloku zabírají větší povrch hemisféry a významně více vystupují u pravorukých mužů než u probandů levorukých (Zilles et al., 1996).

b) Asymetrie cortexu

Mikroskopem, ale i pouhým okem lze pozorovat celou řadu asymetrií cortexu. V této práci se však budeme zabývat pouze třemi významnými strukturálními asymetriemi se vztahem k motorickým projevům laterality. Jedná se o asymetrie sylvian fissure, planum temporale a Heschlových gyrů.

Mozková kůra (cortex cerebri) tvoří povrch koncového mozku, který je rozdělen sagitálně orientovanou rýhou, fissura longitudinalis cerebri, na pravou a levou hemisféru. Vzájemnou spolupráci mozkové kůry hemisfér zajišťují komisurální vlákna. Největší komisurou je corpus callosum tvořené zhruba 200 miliony vláken (Elišková & Naňka, 2006). Kůra je charakteristicky zvrásněna hlubokými rýhami (sulci cerebri) oddělující mozkové laloky, které jsou mělčími rýhami členěny na jednotlivé závity (gyri cerebri) (Čihák et al., 2004). Makroskopické stranové odlišnosti kůry mohou být při zkoumání nalezeny právě ve tvarech a délkách konkrétních závitů a rýh, i v objemu jednotlivých oblastí. Bližší mikroskopický pohled může odhalit pravolevé odlišnosti například v počtu, objemu nebo denzitě neuronů a gliových buněk. (Goble & Brown, 2008; Hugdahl & Davidson, 2003).

Eberstallerova (1884) studie na přelomu 20. století byla jedna z prvních, která popisala morfologické asymetrie povrchu hemisfér se zaměřením na perysilviání oblast, zahrnující sylvian fissure (lateral sulcus). Jedná se o velmi výraznou hlubokou rýhu oddělující čelní, temenní a spánkový lalok. Asymetrie rýh byla pozorována v délce i zakřivení. Levá sylvian fissure byla oproti pravé delší a směřovala více horizontálně

(Hugdahl & Davidson, 2003). Přesněji řečeno, ve většině případů byla pravá sylvian fissure stočena v posteriorní části mnohem více vzhůru v porovnání s levou hemisférou. Tyto asymetrie sylvian fissure mezi hemisférami potvrdily i dalších studie (Idowu, Soyemi, & Atobatele, 2014; Shapleske, Rossell, Simmons, David, & Woodruff, 2001). Byly zjištěny také rozdíly projevu asymetrií v závislosti na rukovosti. Například Hochberg a LeMay (1975) zkoumali korovou oblast u 100 pravorukých a 28 nepravorukých jedinců. Pravorucí jedinci měli konec posteriorní části sulcus lateralis výš u pravé hemisféry v 67 procentech. V 7 procentech byl konec výš u levé hemisféry a ve zbylých 26 procentech sahaly rýhy stejně vysoko na obou polokoulích. Nepravorucí jedinci nedosahovali takto výrazné asymetrie. Pouze ve 22 procentech přesahovala pravá sulcus lateralis levou, v 7 procentech přesahovala levá a v 71 procentech byla nalezena shoda (Hochberg & LeMay, 1975). Vztah mezi strukturálními asymetriemi sylvian fissure a lateralizací funkcí potvrdila u 67 jedinců také studie Witelsona a Kigara (1992).

Další významná asymetrie se nachází v oblasti cortexu známé jako planum temporale. Jedná se o část spánkového laloku, jejíž součástí je i Wernickeova oblast důležitá pro určité aspekty řeči (Hellige, 2001). Von Economo a Horn (1930) byli jedni z prvních, kteří pozorovali asymetrické rozdíly ve velikosti planum temporale na pravé a levé hemisféře. Podle výsledků jejich výzkumů bylo levé planum temporale častěji větší než pravé. Toto zjištění potvrdila například postmortální studie Geschwinda a Levitskeho (1968). U 65 ze 100 pravorukých jedinců označili za delší laterální hranu levého planum temporale. V 24 procentech byly hrany v délce shodné u obou polokoulí a v 11 procentech byla delší hrana pravého planum temporale (Geschwind & Levitsky, 1968). Obdobné výsledky byly zaznamenány i následujícími výzkumy se zaměřením na tuto oblast (James et al., 2015; Takao et al., 2011). Větší planum temporale na levé hemisféře bylo pozorováno u tří ze čtyř pravorukých jedinců (Galaburda, Sanides, & Geschwind, 1978). Při srovnání těchto výsledků se zdravými levorukými jedinci nebyla nalezena opačná tendence, avšak asymetrie nedosahovaly tak markantních rozdílů (Hugdahl & Davidson, 2003; Steinmetz, 1996). Hypotézu o existenci vztahu mezi strukturálními asymetriemi planum temporale a asymetriemi funkčními, jako je rukovost nebo dominance hemisfér pro řeč, podporují i další studie (Foundas, Leonard, Gilmore, Fennell, & Heilman, 1994; Habib, Robichon, Levrier, Khalil, & Salamon,

1995). Některé studie však tento vztah nepotvrzují (Dorsaint-Pierre et al., 2006; Eckert, Leonard, Possing, & Binder, 2006; Good et al., 2001)

Obdobně jako u zmiňovaného planum temporale také pro přilehlé Heschlovy závity, ve kterých je lokalizována primární sluchová kůra, platí typická levostranná dominance ve velikosti (James et al., 2015; Rademacher, Caviness, Steinmetz, & Galaburda, 1993). Heschlovy závity se nachází v superiorní oblasti planum temporale a jsou složeny z jednoho až tří závitů, jejichž počet se mezi hemisférami také liší (Economo & Horn, 1930; Galaburda & Sanides, 1980). Použitím magnetické rezonance bylo zjištěno, že první Heschlův závit dosahuje na levé hemisféře většího objemu. Tato rozdílnost byla přisouzena vyššímu podílu bílé hmoty mozkové, která tvoří podklad závitů (Penhune, Zatorre, MacDonald, & Evans, 1996). Nejnovější studie v této oblasti (Marie et al., 2015) se zabývala popisnou anatomií Heschlových závitů u 430 zdravých dobrovolníků, včetně 198 levorukých jedinců. Jedním z cílů bylo objasnit, zda skupiny s odlišnou rukovostí vykazují asymetrie v systému závitů (gyrification pattern) nebo v jejich povrhu. Nebyl nalezen vliv pohlaví, věku ani úrovně vzdělání na systém závitů mezi hemisférami. Ovšem významnost efektu rukovosti zjištěna byla. A to na základě čtyř systémů závitů (L1/R1, L2/R1, L1/R2, L2/R2). Systém L1/R1 (jeden závit na levé hemisféře a jeden na pravé) byl pozorován u levorukých jedinců ve 49 procentech případů. Výskyt tohoto systému u pravorukých jedinců dosáhl pouze 36,2 procent. Při analýze hemisfér odděleně se zaměřením na pravostrannou duplicitu závitů vykázali vyšší frekvenci tohoto systému praváci (48,7 %) oproti levákům (39,4 %). Na levé hemisféře nebyl zjištěn rozdíl mezi oběma skupinami. V souhrnu leváci dosáhli nižšího počtu duplicity než praváci. Efekt rukovosti byl zjištěn také při zkoumání povrchu Heschlových závitů. Na pravé hemisféře dosáhli levorucí jedinci větší velikosti. Na opačné straně mozku významný rozdíl zjištěn nebyl. Výsledky této studie podporují zjištění předchozích studií (Leonard et al., 2001; Penhune et al., 1996) o levostranné orientaci asymetrie u praváků (Marie et al., 2015).

2.2.2 Funkční asymetrie

Stejně jako předchozí kapitola se i tato se bude zabývat asymetriemi koncového mozku a jeho mozkové kůry. Tentokrát však z pohledu laterality mozkových funkcí, která se projevuje odlišnou specializací pravé a levé hemisféry (Wey et al., 2014).

V posledních desítkách let byly u lidského druhu popsány stovky projevů laterality v jejich chování a mnohé z nich jsou přisuzovány hemisférickým asymetriím (Hellige, 2001). Obě hemisféry mohou dát najevo svou specializaci různými formami, které dokáže rozpoznat některá z technik mapujících mozkové funkce, jakou je například elektroencefalografie (EEG), magnetoencefalografie (MEG) nebo funkční magnetická resonance (fMRI). Během specifického úkolu se může ukázat aktivní pouze jedna hemisféra. Rozdílnost nastává i v množství zapojených oblastí nebo v poloze aktivních oblastí. Všechny tyto asymetrie se vztahují k prostoru. Hemisféry se ale mohou lišit také v odlišném načasování jejich aktivace. Například levá hemisféra zareaguje při konkrétním úkolu s menší latencí v porovnání s pravou. Vzácnější je situace, kdy jedna hemisféra vykonává určitou operaci normálně a druhá hemisféra není schopna provést tuto operaci vůbec. Při většině složitějších činností se hemisféry naopak navzájem doplňují. Jedině koordinovaná, neporušená spolupráce obou hemisfér umožňuje optimálně analyzovat signály z periferie, vytvářet adekvátní motorické programy a zajišťovat specifické psychické funkce. Podstatný rozdíl mezi hemisférami může být však pozorován ve výkonnosti a způsobu provedení jednotlivých funkcí (Brancucci, 2010; Trojan, Druga, & Pfeiffer, 1991).

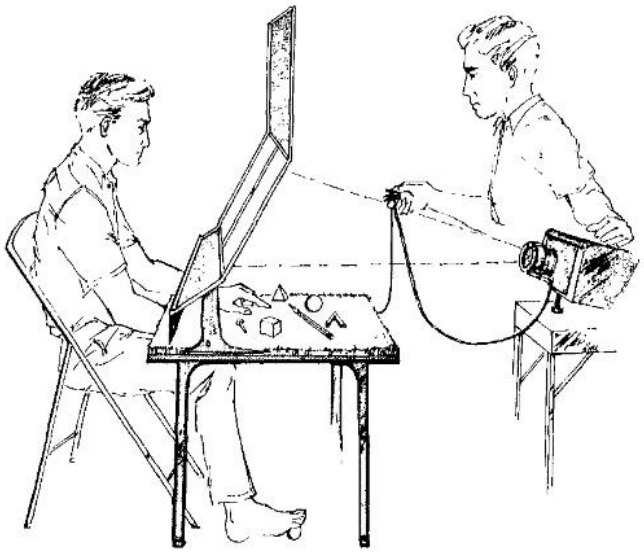
Objev funkčních asymetrií je od počátku spojován s lokalizací centra pro řeč. K revolučním závěrům týkajících se funkčních asymetrií došli Marc Dax a Paul Broca již v 19. století. Paul Broca z dostupných vědeckých informací na základě klinických pozorování poruch řeči (afázie) a následně při postmortální pitvě určil, že centrum řeči se nachází v čelním laloku levé hemisféry (Brocovo centrum). Při poškození této oblasti dochází ke vzniku afázie (M. P. Bryden, 1982; Manning & Thomas-Antérion, 2011; Marshall & Fink, 2003). Lidé s tímto poškozením mluví pomalu, pouze pár slov v jedné minutě. Mají problém s tvorbou vět dle gramatických pravidel, špatně rozlišují hlásky a nepoužívají spojky ani předložky. Jsou však schopni řeči rozumět (Koukolík, 2014). Vedle tohoto objevu Paula Broci přišel známý Rakouský neurolog Carl Wernicke s dalšími významnými poznatky. Popsal odlišný typ poruchy řeči u pacientů s plynulou, rychlou až nesrozumitelnou výslovností, kteří velice špatně mluvenou řeč chápou. Poškození hemisféry bylo tentokrát lokalizováno v oblasti horního závitu spánkového laloku (Wernickeovo centrum) znovu na levé straně mozku (Annett, 2002; Wernicke, 1874). Tyto důkazy jasně ukázaly na významnou roli levé hemisféry pro tvorbu a vnímání řeči (Tommasi, 2009). Spolu se zjištěním této skutečnosti začali neurologové

nazývat levou hemisféru jako „dominantní“ (Annett, 2002). Pozdější studie však ukázaly na vzájemnou souvislost mezi hemisférickými asymetriemi, lateralizací řeči a rukovostí. Někteří jedinci mohou mít pro řeč dominantní pravou hemisféru, nebo mohou být funkce zhruba symetricky rozloženy (bilateralita) (Pujol et al., 1999; Springer et al., 1999).

Studie Pujola et al. (1999) zkoumala pomocí funkční magnetické resonance (fMRI) lateralizaci řeči u zdravých dobrovolníků (n = 100) s polovinou levorukých a polovinou pravorukých jedinců. Analýza byla zaměřena na čelní lalok a jeho aktivitu během němé generace slov. Výsledky u pravorukých jedinců ukázaly 96 procentní systém aktivace levé hemisféry a pouze 4 procenta bilaterální aktivace při vykonávání úkolu. Levorucí jedinci nevykázali tak silnou jednostrannou asymetrii. U 76 procent leváků zaznamenala fMRI levostrannou lateralizaci řeči, ve 14 procentech bilaterální a ve zbylých 10 procentech se jednalo o pravostrannou hemisférickou lateralizaci (Pujol et al., 1999). Ve stejném roce zveřejnil výsledky výzkumu Springer et al. (1999), kteří zjišťovali dominanci řeči pouze u pravorukých jedinců (n = 150) také za použití fMRI. Do výzkumu byli zapojení zdraví dobrovolníci (n = 100), ale také pacienti s epilepsií (n = 50). U zdravých jedinců byly zaznamenány hodnoty podobné výzkumu Pujola et al. (1999). V 94 procentech byla dominantní levá hemisféra a v 6 procentech se jednalo o zhruba symetrické rozložení aktivity mezi polokoulemi. Nikdo z pravorukých zdravých jedinců neměl při řečových úkolech dominantní pravou hemisféru. Nemocní pacienti ukázali větší variabilitu výsledků v poměrech 78 procent pro levou hemisféru, 16 procent pro symetrický systém a 6 procent mělo pro řeč dominantní pravou hemisféru. Tato atypická lateralizace může mít spojitost s poškozením mozku v raném věku a se slabší dominancí pravé ruky u skupiny pacientů s epilepsií (Springer et al., 1999). Výsledky těchto studií korespondují se závěry dalších výzkumníků (Frost et al., 1999; Geschwind, 1970; Rasmussen & Milner, 1977). Frost et al. (1999) také potvrdil velice podobnou silnou levostrannou lateralizaci řeči u obou pohlaví. Závěrem by bylo vhodné zmínit některé studie, které dokládají také existenci vztahu mezi lateralizací řeči a strukturálními asymetriemi mozku (James et al., 2015; Powell et al., 2006).

Mimořádně důležité objevy v oblasti funkční laterality mozku jsou přisuzovány americkému neurofyziologovi R. W. Sperrymu, který byl za svou vědeckou činnost v této oblasti oceněn v roce 1981 Nobelovou cenou (Corballis, 2010b). V 60. a 70. letech minulého století Sperry a jeho kolegové zkoumali funkční

specializaci hemisfér u pacientů s epilepsií, kteří podstoupili přetnutí vláken corpus callosum. Přerušení spojení mezi hemisférami zabránilo šíření epileptického záchvatu z jedné hemisféry na druhou. Ačkoliv se zdálo, že tato operace pacienty nijak nepoznamenala, následné experimenty (viz obrázek 2) odhalily vážné poruchy mysli. Pacienti nebyli schopni přečíst slova nebo pojmenovat obrázky věcí promítaných do jejich levého vizuálního pole. Také nezvládli popsat předmět (tužka, jablko, vidlička apod.) ohmataný levou rukou. Tento výsledek se dá vysvětlit jedině tím, že informace levého vizuálního pole jsou promítány do pravé hemisféry a stejně tak je kontralaterálně ovládána levá polovina těla pravou hemisférou. Ta ovšem u většiny populace postrádá schopnost projevovat řeč. Nesplnitelné úkoly se staly velice jednoduchými, jakmile byly informace nasměrovány do levé hemisféry, která je u většiny lidí pro řeč dominantní (Corballis, 2010b; Hugdahl, 2005; Sperry, 1968).



Obrázek 2 Zařízení pro zkoumání vizuálních, hmatových, řečových a vztahových funkcí u chirurgicky separovaných hemisfér (Sperry, 1968, str. 724)

Novinka vs. rutina

Specializace levé hemisféry pro řeč a pravé hemisféry pro zpracovávání prostorových informací jsou jedny z mnoha pevně zakořeněných přesvědčení týkající se funkčních asymetrií mozku. Toto tradiční pojetí činnosti hemisfér bylo však obecné a statické. Úzká vazba levé hemisféry a řeči není podle nových objevů a teorií chápána jako ústřední vlastnost, ale spíše jako důsledek hlubší organizace mozku. Vztah mezi hemisférami a jejich funkční specializací je v průběhu vývoje dynamický a dochází

k rozsáhlému přemísťování funkcí zprava doleva. Přesun funkcí je zapříčiněn rozdílem mezi hemisférami ve zpracování kognitivních novinek a rutin (Goldberg, 2004). Rozdílný vztah levé a pravé hemisféry z tohoto pohledu poprvé popsali Goldberg a Costa (1981). Ve své teoretické práci určili pravou hemisféru jako schopnější ve zpracování nových podnětů a přivlastnili pravé hemisféře také kritickou roli v úvodních fázích osvojování nových vzorců. Oproti tomu levá hemisféra je dle závěrů těchto výzkumníků zdatná v oblasti uchování pevných vzorců a v oblasti zpracování rutinních postupů (Goldberg & Costa, 1981). Původní úvahy vědců o silnějším spojení pravé hemisféry s kreativitou, intuitivností, emotivností či prostorovým vnímáním jsou však podle modelu novinka - rutina správné. V situaci, kdy jsme kreativní, jsme obklopení novinkami. Když smýšlíme intuitivně, předpokládáme pro nás dosud neznámé možnosti apod. Tímto způsobem mohou být funkce pravé hemisféře přisuzovány (Dispenza, 2007).

Výše zmíněný vztah pravé hemisféry k novinkám a levé hemisféry k rutinám je podložen více studiemi (Henson, Shallice, & Dolan, 2000; Martin, Wiggs, & Weisberg, 1997; Shadmehr & Holcomb, 1997). Například výzkum Martina et al. (1997) se zabýval krevním průtokem ve spánkových lalocích za použití pozitronové emisní tomografie (PET). Soubor pravorukých žen a mužů (n = 16) se v experimentu učil různým druhům nových informací. Jednotlivé druhy informací byly probandům předány dvakrát, avšak obsahovaly jiné položky. Při prvním předání byla zaznamenána vysoká aktivace vnitřních oblastí spánkového laloku vpravo (úloha byla pro mozek nová). Ve druhém předávání stejného druhu informací aktivita v pravé hemisféře výrazně poklesla a aktivita levé hemisféry byla zachována (úloha se stala známou) (Martin et al., 1997).

Dynamika funkcí zapříčiněná proměnou novinky na rutinu tedy dokládá, že funkční vztahy hemisfér se u různých jednotlivců liší. Například domněnka o zpracování hudebních informací pravou hemisférou je omezená a platí zejména u jedinců hudebně nevzdělaných (Dispenza, 2007). Tato skutečnost koresponduje s dřívějšími výsledky Bevera a Chiarella (1974), kteří u hudebně nevzdělaných (n = 14) a hudebně zkušených jedinců (n = 22) zkoumali aktivitu mozkových hemisfér při určování struktury a melodie úryvků z písní. U hudebně nevzdělaných jedinců bylo zaznamenáno zpracování hudby převážně pravou hemisférou. Naopak hudebníci poslouchali a zpracovávali hudbu převážně levou hemisférou (Bever & Chiarello, 1974). Obdobná distribuce funkcí nastává i v případě tváří. Známé tváře rozpoznává

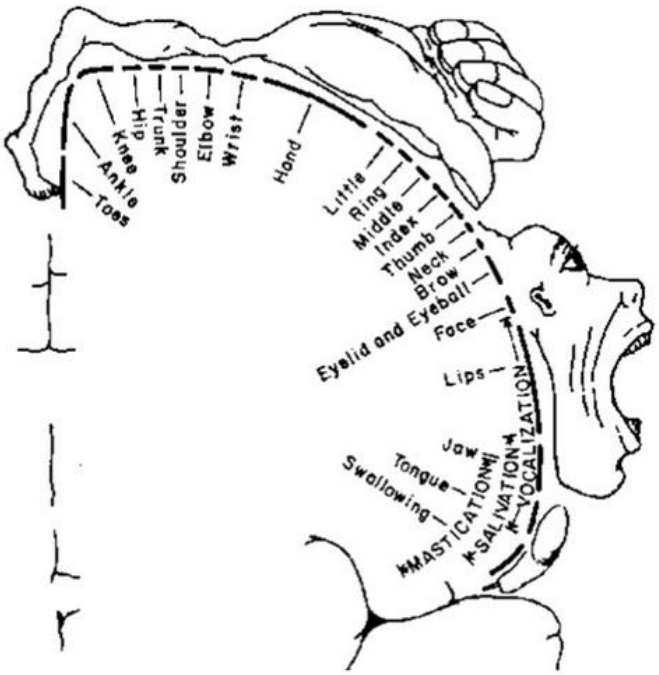
převážně levá hemisféra. Při těžko rozlišitelných tvářích je aktivní převážně pravá hemisféra (Marzi & Berlucchi, 1977).

Homunculus a plasticita

Velmi podstatnou oblastí, která je spjata s funkčními asymetriemi mozku, jsou volní pohyby. Ty zajišťuje několik oblastí mozkové kůry, mezi které patří především primární motorická kůra, sekundární motorická kůra a premotorická kůra (Rosenbaum, 2010). Pro studium funkčních asymetrií je mimořádně důležitá skutečnost, která již v předchozím textu byla zmíněna. Primární motorická kůra (korové motorické centrum) každé hemisféry řídí volní pohyby těla kontralaterálně (Hellige, 2001). Například při poškození primární motorické kůry náhlou mozkovou příhodou u jedné z hemisfér dochází k ochrnutí opačné strany těla (Doidge, 2011). Primární motorická oblast leží před středovou mozkovou brázdou (sulcus lateralis) v oblasti gyru praecentralis. Nejvýznamnější vrstva neuronů je zde vrstva pátá, kterou tvoří tzv. Becovy pyramidové buňky (Dylevský, 2009). Dle Trojana et. al (1991) jsou jednotlivé okrsky těchto buněk přiřazeny k jednotlivým svalům a svalovým skupinám na lidském těle. Toto uspořádání primární mozkové kůry označujeme jako somatotopické a lze ho vyobrazit pomocí tzv. motorického homunculu (viz obrázek 3). První schéma somatotopického uspořádání popsal Penfield a Boldrey (1937) pomocí elektrostimulace cortexu u 126 pacientů operovaných pod lokální anestezií. Podle původního pojetí striktně oddělených okrsků obsahuje mediální plocha hemisféry okrsky pro svalstvo nohy a bérce. Dále se laterálně nachází okrsky pro svalstvo stehna a kyčle, trupu, horní končetiny a také pro svalstvo hlavy. V zastoupení jednotlivých segmentů těla panuje výrazná disproporce. Rozhodující není velikost daného segmentu, ale míra jeho inervace. Mezi množstvím řídících neuronů a přesností řízení pohybu existuje úzký vztah. Nejsilnější inervace je přítomna u ruky, jazyka a hrtanu (Dylevský, 2009; Trojan et al., 1991).

Je důležité zmínit vědecký posun v pohledu na oblast motorické kůry. Ukázalo se, že řízení volních pohybů nevychází ze striktně vymezených oblastí reprezentující jednotlivé segmenty těla. Jedná se spíše o rozptýlené a vzájemně se překrývající neurální substráty. Na primární motorický cortex nelze pohlížet, jako na statickou strukturu vykonávající volní pohyb. Jedná se o strukturu vysoce plastickou, která se přizpůsobuje patologickým či traumatickým změnám a je ve vztahu ke každodenním zkušenostem zahrnující motorické učení (Sanes & Donoghue, 2000; Sanes, Donoghue,

Thangaraj, Edelman, & Warach, 1995). Mnoho studií prokázalo vztah mezi motorickým učením a plasticitou motorické kůry. Byly nalezeny například změny ve vlastnostech nervových buněk či změny v zastoupených oblastech (Koeneke, Lutz, Herwig, Ziemann, & Jäncke, 2006; Masato et al., 2014; Rosenkranz, Williamon, & Rothwell, 2007).



Obrázek 1 Motorický homunculus (Penfield & Rasmussen, 1950)

Funkční asymetrie motorického cortexu mezi pravou a levou hemisférou ve vztahu k motorickým projevům laterality potvrdila studie Volkmanna et al. (1998). Použitím magnetoencefalografie (MEG) výzkumníci určili oblasti motorického cortexu reprezentující pět jednoduchých pohybů ruky a prstů u pravorukých (n = 5) a levorukých (n = 5) jedinců mužského pohlaví. Ze závěrů studie vyplývá několik zjištění. Rukovost souvisí s odlišnou topografickou organizací oblastí reprezentující pohyb v dominantní a nedominantní hemisféře. Potvrzují se tak závěry Sanese et al. (1995) o absenci striktní somatotopické reprezentaci pohybů ruky a prstů v primární motorické kůře. Dále při porovnání rozdílů mezi hemisférami bylo nalezeno významné zvětšení oblasti motorického cortexu reprezentující pohyby ruky kontralaterálně k preferované horní končetině. Toto zjištění je v souladu se studií Triggse, Calvania, Macdonella, Crose a Chiappa (1994). Dle Volkmanna et al. (1998) můžeme důvodně předpokládat, že expanze motorické oblasti reprezentující pohyby ruky u dominantní

hemisféry, zajišťuje neuralní substrát pro efektivnější zpracování pohybů preferované ruky. To má za následek vylepšený repertoár pohybových dovedností preferované horní končetiny (Volkmann et al., 1998).

Studie Guta et al. (2007) pomocí fMRI měřila u 12 pravorukých jedinců možné asymetrie v objemu aktivované nervové tkáně mezi hemisférami. Probandi prováděli jednoduché a komplexní pohyby prstů u pravé i levé ruky. Pohyby dominantní ruky vyvolaly větší kontralaterální aktivaci ve srovnání s nedominantní rukou a minimální ipsilaterální aktivaci. Oproti tomu nedominantní ruka vykázala vyrovnanější systém aktivace. Důvodem byla mnohem větší aktivace nervové tkáně na ipsilaterální straně mozku. To ovšem naznačuje, že dominantní ruka je ovládána zejména kontralaterálně, kdežto nedominantní ruka je ovládána z velké části také ipsilaterálně. Gut et al. (2007) se shodují s předpoklady Volkamanna et al. (1998). I tito výzkumníci připisují vyšší efektivitu a kultivovanější repertoár dovedností preferované ruky rozšířeným oblastem reprezentující volní pohyby na kontralaterální hemisféře (Gut et al., 2007).

2.3 Lateralita lokomočních orgánů

Hlavním cílem předcházející kapitoly zabývající se lidským mozkem, bylo předložit vědecké poznatky o přítomnosti stranových asymetrií struktur i funkcí mezi pravou a levou mozkovou hemisférou. Text následující kapitoly bude věnován manifestaci laterality v podobě stranových tendencí horních a dolních končetin.

Stejně tak, jako se od sebe liší mozkové hemisféry, také u lokomočních orgánů se lateralita projevuje stranovými asymetriemi tvarů a funkcí. Tvarovou lateralitu reprezentují morfologické nesouměrnosti (Mohr, Thut, Landis, & Brugger, 2003). Tyto asymetrie se z hlediska lokomočních orgánu týkají zejména rozměrů (délka, šířka) a objemu nebo denzity tkáně (Musálek, 2013). Stranové odchylky v motorické činnosti nazýváme lateralitou funkční. Funkční lateralita dolních a horních končetin je projevem specifické činnost mozku, který řídí motorickou činnost párových orgánů odlišně. V důsledku funkční laterality je jeden z párových lokomočních orgánů užíván přednostně a vyznačuje se lepší koordinací motorického výkonu. Tyto dva odlišné typy laterality od sebe nelze striktně oddělit. Kvalita funkce je podmíněna kvalitou struktury a naopak zvýšené požadavky na funkci rozvíjí tkáňový základ (Musálek, 2013; Sovák, 1955).

Dříve než se budeme zabývat konkrétními studiemi zaměřenými na tvarovou a funkční lateralitu horních a dolních končetin, je nutné definovat základní pojmy týkající se funkční laterality.

- **Preference** – z pohledu lokomočních orgánů odkazuje tento termín na upřednostnění jedné z horních nebo dolních končetin před druhou při vykonávání pohybového úkolu. Významným aspektem laterální preference je charakter konkrétního úkolu, který ovlivňuje sílu upřednostnění končetiny (P. J. Bryden, 2000; Peters, 1988). S využitím analýzy základních komponent mnoho studií prezentuje multidimenzionální charakter laterální preference (Beukelaar & Kroonenberg, 1983; M. P. Bryden, MacRae, & Steenhuis, 1991; Steenhuis, Bryden, Schwartz, & Lawson, 1990). Steenhuis a Bryden (1989) popisují dva hlavní faktory, kterými jsou tzv. „skilled“ činnosti, jako je psaní či házení šipek, a tzv. „unskiled“ činnosti. Ty mohou mít podobu zvedání předmětů či krmení kočky (Steenhuis & Bryden, 1989).
- **Performance** – dalším aspektem funkční laterality je rozdílná výkonnost mezi pravou a levou končetinou, kterou můžeme pozorovat při realizaci stejné pohybové aktivity. Mezi autory zabývajícími se problematikou laterality dosud neexistuje jednotná terminologie pro oblast určování motorických činností, ve kterých se projevuje odlišná výkonnost pohybových orgánů (Musálek, 2013). Abychom zachovali terminologickou jednotnost práce, použijeme klasifikaci dle Musálka (2013), který rozlišuje dva základní typy těchto pohybových aktivit.
    - Hrubá motorika – tou rozumí *„Rozdílnou výkonnost motorických orgánů v činnostech, které mají charakter jednoduché svalové práce nebo práci velkých svalových skupin bez nutnosti zapojení jemné motoriky (př. Test tečkování horní končetinou, tapping dolní končetinou, síla stisku)“*.
    - Proficience – tu charakterizuje jako *„Rozdílnou výkonnost motorických orgánů v činnostech vyžadující charakter jemné motoriky a k finálnímu pohybu je zapotřebí velice*

citlivá účast malých svalových skupin lokalizovaných v distálních částech těla" (Musálek, 2013, s. 38).

- **Dominance** – ve vztahu k lokomočním orgánům se koncept dominance týká pouze činností bimanuálního charakteru. Tento termín vyjadřuje vedoucí funkci jedné z končetin při motorické aktivitě, ve které jsou zapojeny obě. Druhá končetina má v takovém případě funkci podpůrnou (Musálek, 2013). Podle závěrů studie Sainburga (2005) každý systém (hemisféra/končetina) vykazuje specializaci na rozdílné druhy pohybů. Dominantní systém je specializovaný pro ovládání dráhy a nedominantní systém lépe zvládá kontrolu polohy. Sainburg (2005) tento model označuje termínem *„dynamic dominance"*. Spolupráce specializovaných systémů pak vede k optimálnímu zvládnutí pohybových úkolů. Tato zjištění korespondují s obrazem typických bimanuálních činností běžného života. Například při krájení chleba nedominantní ruka stabilizuje objekt proti zátěži vyvolané dráhou pohybu dominantní ruky (Sainburg, 2005). Hypotéza Sainburga (2005) byla podpořena dalšími studiemi (Duff & Sainburg, 2007; Wang & Sainburg, 2007). Bradshaw a Rogers (1996) podotýkají, že díky určitému stupni manuální specializace končetin může být provádění bimanuálních pohybových úkolů efektivnější.

2.3.1 Lateralita horních končetin

Pravděpodobně nejvíce studovanou funkční asymetrií u lidského druhu je rukovost (handedness) (M. P. Bryden, 1982). Jedná se o behaviorální projev funkční lateralizace, který vychází z asymetrické neuralní organizace motorického cortexu člověka (Sainburg, 2002). Rukovost můžeme však spatřit také u ostatních primátů (Hopkins, Hook, Braccini, & Schapiro, 2003; Hopkins & Pearson, 2000). Projevuje se stálým upřednostňováním jedné horní končetiny před druhou, při vykonávání určitých pohybových činností (Shabbott & Sainburg, 2008). Tím rozumíme upřednostňování nejen v unimanuálních, ale také při bimanuálních aktivitách ve smyslu dominantní role jedné z nich (Corballis, 2010a). Preferovaná končetina je většinou spojována také s vyšší zručností či silou (Annett, 2002). McManus a Bryden (1992) považují preferenci za faktor formující asymetrickou zručnost, protože tak dochází k častějšímu procvičování. Přibližně 90% populace takto upřednostňuje pravou horní končetinu (Annett, 1985).

U lidského plodu mohou být potenciální projevy rukovosti studovány od 10. týdne nitroděložního vývoje. V tomto období se začínají projevovat izolované a nezávislé pohyby horních končetin (Vries, Visser, & Prechtl, 1985). Pro zjištění projevů laterality již v 10. týdnu vývojového období, bylo podrobeno ultrazvukovému vyšetření celkem 87 lidských plodů. Preference byla definována, jako větší množství samostatných pohybů pravou či levou končetinou. Pravou více pohybovalo 75 procent plodů, zatím co u levé horní končetiny byl zaznamenán vyšší počet pohybů pouze v 12,5 procentech. Stejné procentuelní hodnoty výzkumníci dokládají u plodů nepreferující žádnou končetinu. Při výpočtu podílu plodů s pravostrannou preferencí pouze z těch, které preferenci vykazují, se hodnota (85,7%) přibližuje hladině pravoruké populace (Hepper, McCartney, & Shannon, 1998). Obdobná zjištění vychází ze závěrů studie, která jako první přednesla důkazy o lateralizaci chování lidského plodu. Z 274 plodů byla v 90 procentech případů zjištěna pravostranná tendence cucání palce (Hepper, Shahidullah, & White, 1991). Ačkoliv se lateralizované chování člověka upevňuje až několik let po narození, můžeme projevy rukovosti v děloze považovat za předzvěst pohybového chování po narození (Hepper, 2013). Studie Heppera, Wellse a Lynche (2005) zkoumala stranové tendence cucání palce ve spojitosti s lateralizací pohybového chování v pozdějším věku. Všichni jedinci (n = 60), kteří si v děloze cucali pravý palec, byli později ve věku 10-12 let označeni za praváky (dle Edinburghského dotazníku). U plodů cucajících levý palec (n = 15) vědci v pozdějším věku evidovali 10 levorukých a 5 pravorukých jedinců (Hepper et al., 2005).

Velké množství studií u horních končetin potvrdilo vedle laterality funkční, také lateralitu tvarovou. Projevy funkční laterality jsou spjaty s častějším a větším zatížením preferované končetiny (Coren, 1992). Zvýšená zátěž může u kostí i svalů vyvolat adaptační mechanismus (Fung, 1990; Ianc, 2012; Sanchis-Moysi, Idoate, Serrano-Sanchez, Dorado, & Calbet, 2012). Projevy tvarové asymetrie lze tedy předpokládat v délce a síle kostí na preferované končetině (Cristofolini et al., 2014). Sílu kosti můžeme definovat její denzitou, mineralizací, mikrostrukturou a makrostrukturou (Ireland et al., 2013). Řada studií potvrdila stranové rozdíly těchto faktorů u preferované a nepreferované končetiny ve spojení s jednostrannou pohybovou aktivitou (Daly, Saxon, Turner, Robling, & Bass, 2004; Haapasalo et al., 1996; Ireland et al., 2013; Sanchis-Moysi, Dorado, Olmedillas, Serrano-Sanchez, & Calbet, 2010). Například studie Irelanda et al. (2013) nejenže potvrdila nárůst kostní hmoty na preferované paži

(radius, ulna) u závodních tenistů (n = 50), ale nalezla také silný vztah mezi objemem svalové a kostní hmoty. To dokládá vliv aktivity svalstva na adaptaci kostí (Ireland et al., 2013). Rozdílnou délkou kostí se mimo jiné zabývala práce Auerbacha a Ruffa (2006), kteří u kosterních pozůstatků 514 mužů a 266 žen potvrdili významnou pravostrannou asymmetrii horních končetin v parametrech délky, ale také šířky epikondilů a diafízy (Auerbach & Ruff, 2006). Hypertrofie svalové hmoty preferované končetiny u mladých tenistů (průměrný věk 11 let) byla zaznamenána výzkumem Sanchis-Moysi et al. (2012). Celkový počet 7 hráčů byl srovnáván s kontrolní skupinou o stejném počtu. U hráčů byl naměřen 13 procentní nárůst svalové hmoty na preferované končetině oproti kontralaterální. Podstatně menší nárůstu (3 %) vykázala kontrolní skupina (Sanchis-Moysi et al., 2012).

2.3.2 Lateralita dolních končetin

Ve spojení s horními končetinami a funkční lateralitou jsme se v předchozím textu seznámili s pojmem rukovost. Termín nohovost (footedness) označuje projev funkční laterality dolních končetin (Gabbard & Hart, 1996). Pro objasnění tohoto pojmu citujeme Peterse (1988), jehož definice vychází z rozdílné role nohy v pohybových činnostech. *„Dolní končetina, která je používaná k manipulaci s předměty, nebo je vedoucí, například při skákání, je určena jako preferovaná. Dolní končetina poskytující podporu aktivit preferované končetiny zajištěním postury a stability, je určena jako nepreferovaná“* (Peters, 1988, s. 181). Ve vědeckých studiích zaměřených na problematiku laterality převažuje zkoumání rukovosti, avšak výzkum nohovosti nabývá na popularitě. Důvodem může být fakt, že na dolní končetiny působí méně kulturních a sociálních vlivů, které mohou mít částečný vliv na projevy funkční laterality (Annett, 1972; Bell & Gabbard, 2000; P. J. Bryden, 2000). Někteří autoři dokonce považují nohovost za kvalitativně lepšího ukazatele hemisférické specializace, než je rukovost (M. P. Bryden & Lorin, 1998; Day & MacNeilage, 1996). Dle Corenova testování laterální preference je přibližně 88 procent žen a 83 procent mužů pravonohých (Coren, 1993). Studie velkého souboru dospělých jedinců (n = 5064) zaznamenala u 95 procent testovaných nezkříženou laterální preferenci, tedy stejnou preferenci horní a dolní končetiny (Dargent-Paré, De Agostini, Mesbah, & Dellatolas, 1992). Velice zajímavá je informace, že většina pravorukých jedinců preferuje pravou dolní končetinu pro manipulaci (kop, uhlazování písku) a levou dolní končetinu pro zajištění postury (Gabbard & Iteya, 1996). U levorukých jedinců je evidována opačná tendence, ačkoliv

není zdaleka tak silná. V souhrnu jsou pravorucí jedinci mnohem častěji pravonozí, než levorucí jedinci levonozí (Augustyn & Peters, 1986).

Morfologickými nesouměrnostmi dolních končetin se zabývala studie Machoa (1991). Výzkum byl zaměřen na makrostrukturální stavbu stehenní kosti u 364 jedinců bez ohledu na rukovost. Výsledky prokázaly stranovou tendenci mezi pravou a levou dolní končetinou. Levá stehenní kost byla celkově robustnější v porovnání s pravou. Autor se domnívá, že tato skutečnost může být důsledkem častějšího zatížení levé končetiny vahou těla. Zatímco pravá končetina je běžně využívána k plnění manipulačních motorických úkolů (Macho, 1991). Úvaha tohoto autora je v souladu s adaptačním mechanismem svalů a kostí na zátěž, o kterém jsme se zmiňovali v souvislosti s rukovostí. Řada autorů v závěrech svých studií přednáší důkazy o upřednostnění levé strany před pravou ve strukturální stavbě kostí dolních končetin. Asymetrie jsou však méně výrazné ve srovnání s horními končetinami (Auerbach & Ruff, 2006; Latimer & Lowrance, 1965; Plochocki, 2004). Tuto levostrannou tendenci dolních končetin a pravostrannou tendenci horních končetin, obvykle se projevující v délkách kostí, označuje Plochocki (2004) termínem „crossed symmetry“. Vztah preferované dolní končetiny a svalové hypertrofie byl prokázán u 26 mladých fotbalistů. Parametry strukturální stavby byly pozorovány na dvouhlavém svalu lýtkovém (gastrocnemius). Delší svalové fascie spojené s větším svalovým objemem vykázala preferovaná končetina (Kearns, Isokawa, & Abe, 2001).

2.4 Mozeček

Latinský pojem *Cerebellum* vcelku výstižně překládáme jako „malý mozek“ neboli „mozeček“. Ten totiž představuje pouze 10 procent celkového objemu mozku. Přesto je mozeček tvořen přibližně stejným množstvím nervových buněk, které můžeme nalézt ve zbylé části CNS (Nolte, 2009). Mozeček je z pohledu funkce integračním a koordinačním centrem mimovolní hybnosti i úmyslných pohybů (Dylevský, 2009). Podílí se však také na činnostech, které tvoří podklad funkcím kognitivním, jako je řeč, koncentrace, pozornost, učení, paměť a mnoho dalších (Koukolík, 2012; Strick, Dum, & Fiez, 2009). Mozeček není nezbytný pro zachování životních funkcí člověka, ale je *sine qua non* pro téměř všechny lidské aktivity (Henner, 1927; Plaitakis, 1992). Vzhledem k zaměření práce, se budeme v této kapitole věnovat výhradně funkcím mozečku spjatých s motorikou člověka.

2.4.1 Stavba mozečku

Mozeček spolu s Varolovým mostem tvoří část mozku zvanou metencephalon (zadní mozek). Je uložen v zadní jámě lebeční (fossa cranii posterior) a od týlních laloků koncového mozku je oddělen řasou tvrdé pleny (tentorium cerebelli). S mozkovým kmenem ho pojí tři párové stonky (pedunculi) obsahující aferentní i eferentní dráhy (Standring, 2008). Stavba mozečku je na první pohled podobná stavbě koncového mozku, i zde můžeme rozlišit pravou a levou hemisféru se střední oblastí vermis rozčleňující tyto polokoule (Apps & Hawkes, 2009). Je velmi důležité zdůraznit skutečnost, že na rozdíl od hemisfér koncového mozku, každá hemisféra mozečku ovlivňuje motoriku na ipsilaterální straně těla. Příčinou jsou mnohá zkřížení neurálních drah propojující mozeček s ostatními částmi CNS (Nolte, 2009; Yan et al., 2006). Povrch hemisfér je tvořen mozečkovým cortexem, který je rozdělen jednotlivými rýhami o různé hloubce na laloky, drobnější laloky a lístkovité závity (Plaitakis, 1992).

Obdobné rozčlenění mozečku není jediným společným znakem s koncovým mozkem. Vývojové stočení známe jako Yakovlevian anticlockwise torque, které ve své práci poprvé popsala doktorka May v 70. letech minulého století na koncovém mozku (May & Kido, 1978), bylo nalezeno také u mozečku. Ve studii Snydera, Bildera, Wua, Bogertese a Liebermana (1995) byli podrobeni měření objemových asymetrií mozečku pravorucí (n = 15) i levorucí probandi (n = 8). Nejenže studie potvrdila přítomnost stejného modelu, ale výrazného stočení dosahovali téměř všichni praváci. Levorucí jedinci vykazovali v těchto parametrech spíše symetrii. Závěry studie o silněji se projevujících asymetrií mozečků praváků jsou podobné zjištěním v oblasti planum temporale a dalším asymetriím koncového mozku (Snyder et al., 1995). Novější studie Szeska et al. (2003) zaznamenala u zdravých jedinců větší objem v anteriorní části u pravé hemisféry v porovnání s levou. Naopak objem u levé hemisféry byl v posteriorní části větší ve srovnání s pravou. Vliv rukovosti nebyl předmětem měření (Szesko et al., 2003). V souladu s těmito výsledky je i studie Fana et al. (2010), která navíc u 112 pravorukých jedinců zjistila možný vliv pohlaví na strukturální asymetrie mozečku. Autoři také zmínili, že tyto strukturální odlišnosti mohou být odrazem funkčních asymetrií mozečku. I další studie potvrdila strukturální asymetrie mozečkových hemisfér, avšak vliv rukovosti nedosáhl významnosti (Szabó, Lancaster, Xiong, Cook, & Fox, 2003). Výzkumníci Luft, Skalej, Welte et al. (1998) nepoukázali na žádné přítomné strukturální asymetrie mozečku (Luft, Skalej, Welte, et al., 1998).

Nesrovnalosti mezi studiemi mohou být však způsobeny odlišnou oblastí zaměření, velikostí vzorku či strategií analýzy a použitými metodami (Fan et al., 2010).

Další detailnější popis anatomické stavby mozečku není z hlediska zaměření této práce nutný. K objasnění funkce mozečku ve vztahu k motorice člověka je podstatné především funkční členění. Mozeček je angažovaný ve volních pohybech, udržování rovnováhy, řízení svalového tonu, udržování vzpřímené polohy těla, má také zásadní význam při motorickém učení a v mnoha dalších motorických funkcích. Logicky tedy přijímá informace především z vestibulárního aparátu, ze všech úrovní páteřní míchy a z cortexu koncového mozku (Nolte, 2009; Standring, 2008; Thach, 1996). Stavba mozečku má svůj původ v chronologickém vývoji jednotlivých částí, které zastávají odlišné funkce. Z hlediska funkčních vztahů lze tedy rozlišovat tři části mozečku. Těmi jsou vývojově nejstarší vestibulární mozeček (archicerebellum), mladší spinální mozeček (paleocerebellum) a nejmladší oddíl cerebrální mozeček (neocerebellum). Všechny tři části tvoří jednotný funkční celek (Ito, 2012; Trojan et al., 1991).

Vestibulární mozeček přijímá informace zejména ze statokinetických receptorů prostřednictvím tractus vestibulocerebellares. Integrací těchto informací mozeček zajišťuje vzpřímenou polohu těla a rovnováhu (Dylevský, 2009). Například pokud chceme vzít knihu z police, jako první nedochází k aktivaci svalů na horní končetině, ale svalů vykonávajících plantární flexi nohy. Při poruchách mozečku dochází k narušení těchto mechanismů a to vede k neschopnosti udržet rovnováhu (Nolte, 2009). Spinální část mozečku přijímá informace z proprioreceptorů prostřednictvím spinocerebelárních drah, z exteroreceptorů (taktilních) a z interoreceptorů pomocí spinotalamických drah. Hlavní je analýza informací z proprioreceptorů (pohyb svalů, svalový tonus), proto má spinální mozeček zásadní význam v řízení svalového tonu. Cerebelární mozeček je propojen zpětnými vazbami s cortexem koncového mozku a jeho motorickými oblastmi. Informace z motorických oblastí jsou v mozečku integrovány s informacemi ze statokinetických receptorů (poloha trupu, končetin aj.) a je tak ovlivňována výstupní korová informace. Ta je v průběhu jakéhokoliv volního pohybu upravována podle aktuálního stavu kontrakcí a napětí jednotlivých svalů (Dylevský, 2009; Trojan et al., 1991). Z pohledu motorických funkcí funguje mozeček jako neuronální počítač (Ito, 2012).

2.4.2 Vztah mezi funkcí mozečku a lateralitou člověka

V předchozím textu jsme uvedli asymetrie struktur, jako společný znak mozečku i koncového mozku. Je zcela zřejmé, že také u mozečku se setkáme s funkčními asymetriemi (Hu, Shen, & Zhou, 2008). Bylo zjištěno, že jednoduché pohybové úkoly prstů s opozicí palce mohou aktivovat ipsilaterální stranu mozečku (Yan et al., 2006). Zajímavou informací je, že pohyby nedominantní horní končetiny vyvolávají větší bilaterální aktivaci, která je způsobena vyšší potřebou koordinovat tento pohyb mozečkem (Hu et al., 2008; Jäncke, Specht, Mirzazade, & Peters, 1999). Studie zaměřená na aktivaci mozečku při provádění pohybů prsty, ve srovnání s pouhou představou pohybu, také potvrdila funkční asymetrie mozečku v motorických funkcích. (Luft, Skalej, Stefanou, Klose, & Voight, 1998).

Existenci vztahu mezi funkcemi mozečku a lateralitou člověka předkládá ve svých pracích mnoho výzkumníků (Cornish & Mcmanus, 1997; He et al., 2006; Henner, 1927, 1936; Musalek, Scharoun, & Bryden, 2015; Tichý & Běláček, 2008, 2009; Tichý, Běláček, Nykl, & Kaspříková, 2012). He et al. (2006), kteří se ve své studii zabývali vztahem mezi rukovostí a systémem funkčního propojení mozečku s oblastmi v mozku, zjistili, že toto funkční propojení se u pravorukých a levorukých jedinců lišilo a vztah rukovosti byl potvrzen. V porovnání s pravorukými jedinci bylo u levorukých jedinců zaznamenáno silnější prefrontální, parietální a temporální funkční propojení. Slabší bylo limbické propojení. Autoři proto podotýkají, že účast mozečku ve složitějších funkcích může být spjata s rukovostí (He et al., 2006).

Vztah mezi funkcí mozečku a lateralitou horní končetiny pozoroval také český neurolog Kamil Henner (1936). Vyšetřoval míru kloubní pasivity (exkurzibilitu), která je dána především svalovým napětím a předpokládá se, že se jedná o projev funkce mozečku. *„U zdravých osob mnou vyšetřovaných shledával jsem často dosti značné rozdíly při zkoušení pasivity, většinou byly exkurse větší vlevo; počet kyvů vlevo větší, rovněž častý byl pocit jakoby menší váhy vyšetřovaného segmentu, též vlevo. Jsem proto nakloněn k úsudku, že pasivita jest už de norma značně odlišná na straně pravé a levé, většinou vlevo větší (u praváků)“* (Henner, 1936, s. 15). Dle Hennera (1927, 1936) má být tedy vyšší kloubní pasivita (exkurzibilita) na nepreferovaných horních i dolních končetinách v důsledku fyziologického ipsilaterálního projevu funkce nedominantní mozečkové hemisféry.

2.4.3 Fyziologický zánikový syndrom jako projev mozečkové dominance

Poslední zmíněná studie profesora Hennera z předcházející kapitoly vedla k definování neurologického pojmu fyziologický projev mozečkové dominance (fyziologický zánikový syndrom). Ten se dle Hennera projevuje asymetrickou kloubní pasivitou (ve smyslu hypotonie) v jednotlivých částech těla. Je tedy zřejmé, že asymetrické projevy kloubní pasivity můžeme pozorovat i u zdravých jedinců (Henner, 1927, 1936). Dle Hennera (1936), Tichého a Běláčka (2009) je neocerebelární zánikový syndrom dobře pozorovatelný v nápadném pohybu nepreferované končetiny při stoji i v chůzi a je také evidentní při vyšetření kloubů. Henner (1936) například popisuje vyšetření kloubní pasivity u libovolného segmentu těla takto: *„Osoba vyšetřovaná je vyzvána, aby nechala zkoušený úsek těla jako mrtvý, vyšetřovatel pak pohybuje, otřásá rukou osoby vyšetřované v rozmanitých směrech a rozličnou silou. Jsou-li exkurse ty nápadně zvětšeny, mluvíme o pasivitě neb zvýšené pasivitě“* (Henner, 1936, s. 13). Při pádu končetin do kyvu můžeme kloubní pasivitu zaznamenat také v rozdílném počtu kyvů (Henner, 1927).

Dle hypotéz Hennera (1927, 1936) se z pohledu motorických funkcí nachází dominantní hemisféra mozečku kontralaterálně k dominantní hemisféře koncového mozku. Tato dominance, jak jsme již zmínili, by se měla projevovat fyziologickou rozdílnou kloubní pasivitou mezi preferovanou a nepreferovanou horní i dolní končetinou. U nepreferované končetiny by dle hypotézy měla být pozorována vyšší kloubní pasivita (Henner, 1927, 1936). Tichý a Běláček (2008) ve své práci vycházeli z hypotéz Hennera a jejich závěry podporují vztah mezi mozečkovou dominancí a preferencí horní končetiny. Pro zjištění laterality končetin u dětí ve věku 9-11 let (n = 221) výzkumníci využili Edinburghský dotazník doplněný o několik dalších testů. Jako nejspolehlivější testy pro určení rukovosti autoři shledávají následujících šest zkoušek: psaní, kreslení, držení nože, nůžek, lžíce a sirek při škrtání. Mozečkovou dominanci testovali na základě projevujících se asymetrií kloubní pasivity. Asymetrie byla palpací a prohlídkou hodnocena v ramenním kloubu, lokti a zápěstí u horní končetiny, v kolenním kloubu a kloubech hlezna pak u končetiny dolní. Byly pozorovány také souhyby horních končetin při chůzi po 5 m dlouhé dráze. Testování pasivity končetin autoři následně srovnali s testy laterality. Prokázala se významná shoda mezi pravorukými jedinci (n = 166) a zvýšenou kloubní pasivitou na nepreferované končetině v zápěstí, lokti, koleni, hleznu a také při souhybech horní

končetiny. Levorucí jedinci (n = 13) dosahovali větší variability výsledků (Tichý & Běláček, 2008).

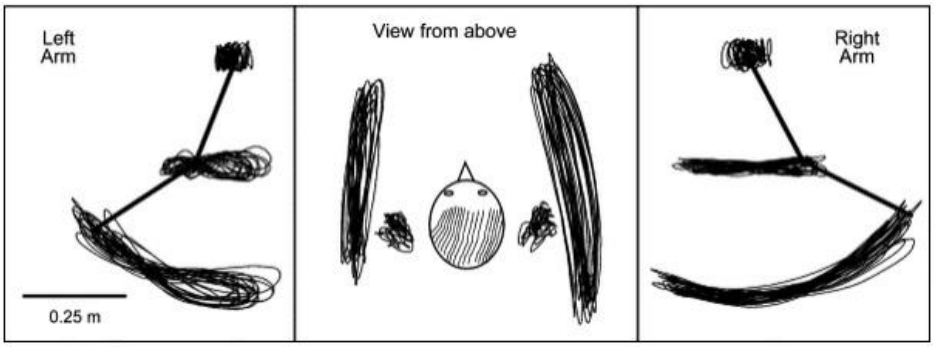
Zjišťováním vztahu mezi lateralitou horních končetin (výsledky performančních testů) a projevem mozečkové dominance se zabývali také Musálek et al. (2015). Ti však ve srovnání s předcházejícím určovali mozečkovou dominanci u pravorukých dětí ve věku 8-10 (n = 157) na základě rozdílnosti pasivity v zápěstí ve statické relaxované pozici. V závěrech své práce spojují zvýšenou kloubní pasivitu s nepreferovanou horní končetinou. V 95 procentech byla pozorována zvýšená pasivita u levého zápěstí pravorukých dětí. Autoři se proto domnívají, že tato rozdílná pasivita by mohla odrážet odlišné řízení svalového tonu u preferované a nepreferované horní končetiny pravou a levou mozečkovou hemisférou (Musalek et al., 2015).

Stanovením mozečkové dominance podle asymetrie svalového tonu končetin u 69 „zdravých“ dospělých jedinců se zabývala studie Tichého et al. (2012). Pravo-levorukost probandů byla stanovena dle Edinburghského dotazníku. Svalový tonus na horních i dolních končetinách byl hodnocen palpací a pozorováním pohybu v kloubech. Dále výzkumníci zaznamenávali rozdílný počet kyvů při pádech horních i dolních končetin. Pravoruké ženy (n = 13) a pravorucí muži (n = 13) měli větší pasivitu (hypotonie) na levé horní končetině v 90 procentech. U dolních končetin tomu tak bylo v 65 procentech. Levorucí jedinci dosahovali vyššího svalového tonu na horních i dolních preferovaných končetinách jen v 50 procentech. Z výsledků studie je patrné, že fyziologická asymetrie v kloubní pasivitě končetin u levorukých jedinců neodpovídá jednoduché koncepci mozečkové dominance lokalizované kontralaterálně vůči dominanci koncového mozku. *„Zkřížená motorická dominance cerebro-cerebelární v Hennerově pojetí platí pravděpodobně jen pro čisté praváky a více pro jejich horní končetiny“* (Tichý et al., 2012, s. 341).

2.5 Asymetrie lokomoce u člověka

Podstatou lokomoce je generace pohybů přemísťujících tělo z jednoho místa na druhé (Winter, 2009). Základní lokomoční aktivitou u člověka je chůze (Zverev, 2006). Vnímáme ji jako jednoduchý pohyb, který je součástí každodenního života. Jedná se však o velmi složitou interakci neurálních, svalových a kosterních systémů. Patologické změny v těchto systémech mohou být příčinou asymetrie lokomoce u člověka (Ganea, Mereuta, & Mereuta, 2013). Například při výrazně rozdílné délce dolních končetin

(Perttunen, Anttila, Södergård, Merikanto, & Komi, 2004). Prostorové a časové asymetrie často nastávají také u pacientů po mozkové mrtvici (Hendrickson, Patterson, Inness, McIlroy, & Mansfield, 2014). Důležité je však uvést, že asymetrické projevy při chůzi se vyskytují i u zdravých jedinců. Podle Peterse (1988) může být asymetrie chůze spojena s asymetriemi strukturálními. Příčinou mohou být například rozdíly ve svalovém objemu končetin (Peters, 1988). Sadeghi (1997) z hlediska funkčních asymetrií zmiňuje nohovost, jako možné vysvětlení asymetrií chůze. Mnohé studie potvrdily vztah motorických projevů laterality a některých proměnných faktorů (síla plantární flexe, pozice nohy při došlapu aj.) při chůzi (Õunpuu & Winter, 1989; Polk & Rosengren, 2010; Wheelwright, Minns, Law, & Elton, 1993). Jiné studie však při ověřování tohoto vztahu neuspěly (Gundersen et al., 1989; Maupas, Paysant, Martinet, & André, 1999; Zverev, 2006). Riley, Ray a Massey (1977) předložili výsledky dokládající asymetrické pohyby horních končetin při chůzi u jedné třetiny ze 142 testovaných jedinců. Významná většina probandů, která se prohlásila za pravoruké, pohybovala méně svou preferovanou horní končetinou v porovnání s levou (Riley et al., 1977). Kuhtz-Buschbeck, Brockman, Gilster, Koch a Stolze (2008) zaznamenali asymetrie kyvů mezi pravou a levou horní končetinou (viz obrázek 4) při chůzi na běžeckém trenažéru. Tuto rozdílnost pokládají za běžný fenomén. Zdůrazňují také důležitost této skutečnosti při vyhodnocování asymetrických kyvů horních končetin u patologických nálezů. Ovšem vztah rukovosti s rozdílnými kyvy končetin ve své studii s nízkým počtem probandů (n = 16) nepotvrdili. Mezi možnými faktory ovlivňující asymetrický kyv, zmiňují rozdílný svalový tonus. Jeho měření ovšem nebylo předmětem studie (Kuhtz-Buschbeck et al., 2008).



Obrázek 2 Zaznamenané trajektorie ramene (acromion), lokte a zápěstí u horních končetin jednoho z levorukých probandů při chůzi (Kuhtz-Buschbeck et al., 2008)

2.6 Diagnostické nástroje pro hodnocení laterality

Přístup k diagnostice motorických projevů laterality je rozmanitý. V neuropsychologické literatuře se můžeme setkat s mnoha odlišnými metodami (Steenhuis & Bryden, 1999). Motorické projevy laterality končetin mohou být diagnostikovány dvěma základní přístupy. Zaznamenáním preference či měřením rozdílné výkonnosti (P. J. Bryden, Pryde, & Roy, 2000). Podle Musálka (2013) můžeme preferenci končetin hodnotit sebehodnotícím dotazníkem či metodou preferenčních úkolů. Rozdílnou výkonnost pak zjišťujeme performančními testy (Musálek, 2013). Tyto metody mají odlišné výhody a nevýhody, na které je třeba brát zřetel (P. J. Bryden, Roy, & Spence, 2007). Corey, Hurley a Foundas (2001) pokládají za nejpřesnější ty metody, které kombinují měření preference spolu s několika měřeními výkonnosti zahrnující odlišné prvky motorické výkonnosti (Corey et al., 2001).

Preferenční sebehodnotící dotazníky se považují za jednu z nejpoužívanějších metod pro zjišťování laterální preference končetin (Schachter, 2000). Jsou velice praktické z hlediska časového a také po stránce administrativní. Nevýhoda spočívá v subjektivitě, která je se sebehodnotícími metodami spjata a může ovlivnit výsledek (P. J. Bryden et al., 2000; Nisbett & Wilson, 1977). Jsou také obtížně použitelné u dětské populace (Cavill & Bryden, 2003). Preferenční sebehodnotící dotazníky poskytují informace o upřednostnění jedné z končetin pomocí otázek vztahujících se k běžným každodenním činnostem (psaní, držení zubního kartáčku, vypínání světla apod.) (Ida, Mandal, & Bryden, 2000; Schachter, 2000). Dotazníky mohou mít rozdílnou délku, od méně jak 10 položek, až po obsáhle dotazníky zahrnující mnoho desítek položek. Také způsob odpovídání se může lišit. Některé dotazníky využívají tří bodovou škálu, kde je respondent nucen vybírat pouze mezi pravou, levou či žádnou preferovanou končetinou. Jiné dotazníky poskytují pět volitelných odpovědí. Ty vytváří prostor pro rozhodnutí o míře preference (Peters, 1998). Například Crovitz a Zener (1962) umožňují ještě šestou volbu „nevím“. Dragovic a Hammond (2007) uvádí jako nejpoužívanější dotazník ke zjištění laterální preference Edinburgh Handedness Inventory (EHI), který byl sestaven na počátku 70. let minulého století (Oldfield, 1971). Schachter (2000) zmiňuje další velmi využívaný Annett Hand Preference Questionnaire (AHPQ) (Annett, 1967). Často citovaný je také Waterloo Handedness Questionnaire (WHQ) (M. P. Bryden, 1977).

Podstatou zjišťování laterální preference využitím preferenčních úkolů je neprodlené a spontánní vykonání zadané motorické činnosti, která má většinou charakter běžné každodenní aktivity. Motorická činnost je výzkumníkem pozorována a výsledek zaznamenán. Jednotlivé úkoly jsou hodnoceny dichotomicky, tedy je zaznamenána pouze ta končetina, kterou byla činnost provedena (P. J. Bryden et al., 2007; Musálek, 2013). Někteří autoři se neztotožňují se zjišťováním laterální preference metodou preferenčních úkolů. Důvodem je neprokázaná vyšší validita a reliabilita v porovnání se sebehodnotícími dotazníky a také větší administrativní náročnost (Ida et al., 2000; Oldfield, 1971). Annett (1970) však považuje preferenční úkoly za kvalitního ukazatele při určování preference končetin. Pro zjištění motorických projevů laterality pomocí preferenčních úkolů můžeme využít například Harris test of lateral dominance (Harris, 1957) či baterii preferenčních úkolů od Humphreyho (1951). Pro testování preference u dětí je vhodný WatHand Cabinet Test (P. J. Bryden et al., 2007). Z českých autorů je důležité zmínit Matějčka a Žlaba, kteří vytvořili známou „Zkoušku laterality“ (Matějček & Žlab, 1972).

Performanční testy hodnotí motorické projevy laterality porovnáním rozdílů ve výkonnosti mezi končetinami při provádění zadaného motorického úkolu (Annett, 1985; Peters & Durding, 1979). Důležitou přednostní performančních testů je jejich vysoká objektivita. Přesto nejsou zdaleka tak využívány v porovnání s preferenčními dotazníky kvůli jejich časové a administrativní náročnosti (Peters, 1998). Performance končetin má multidimenzionální charakter, není tedy vhodné používat pouze jediné měření rozdílné výkonnosti pro určení rukovosti či nohovosti (P. J. Bryden et al., 2007). V Performančních měřeních se můžeme setkat s motorickými úkoly, jako je „peg moving“ (Annett, 1967), „dot tapping“ (Tapley & Bryden, 1985), „finger tapping“ (Peters & Durding, 1978) či „manual aiming“ (Roy & Elliott, 1986).

3 CÍLE A ÚKOLY PRÁCE, HYPOTÉZY

3.1 Cíle práce

Cílem této diplomové práce je zjistit míru vztahu mezi projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu a preferencí končetin.

3.2 Úkoly práce

- Prostudovat odborné materiály týkající se tématu.
- Zpracovat teoretická východiska práce.
- Stanovit metody posouzení pasivity v kloubech horních a dolních končetin.
- Zajistit techniku a pomůcky pro realizaci měření pasivity a laterality.
- Vytvořit organizační plán měření.
- Kontaktovat vybrané probandy.
- Realizovat měření v prostorách biomechanické laboratoře.
- Provést analýzu dat pomocí statistických metod.
- Interpretovat výsledky, vyvodit diskusi a formulovat závěry.

3.3 Vědecké otázky

1. Bude kloubní pasivita významně větší na nepreferované horní i dolní končetině u pravorukých i levorukých jedinců ve všech typech používaných motorických vzorců?

3.4 Vědecké hypotézy

H1: Kloubní pasivita v loketním kloubu při řízených pádech předloktí bude významně větší (věcná významnost - Cohenovo d > 0,6) na nepreferované horní končetině u pravorukých i levorukých jedinců.

H2: Kloubní pasivita v kolenním kloubu při řízených pádech bérců bude významně větší (věcná významnost - Cohenovo d > 0,6) na nepreferované dolní končetině u pravorukých i levorukých jedinců.

H3: Synkinéza horních končetin při chůzi bude významně větší (věcná významnost - Cohenovo d > 0,6) na nepreferované horní končetině u pravorukých i levorukých jedinců.

4 METODIKA PRÁCE

Naše práce má charakter teoreticko-empirické studie obsahující kvantitativní typ výzkumu, který je založený na metodě pozorování (Hendl, 2009).

4.1 Popis výzkumného souboru

Výzkumný soubor představoval záměrný výběr dospělých studentů a studentek Fakulty tělesné výchovy a sportu Univerzity Karlovy v Praze. Podmínkou pro zařazení probanda do výzkumu předcházelo hodnocení míry laterální vyhraněnosti. Do měření projevů mozečkové dominance byli přizváni pouze ti, kteří provedli všechny úkoly a testy laterality pravými, respektive levými končetinami. Prvotně jsme vybrali celkem 35 probandů, kteří byli osloveni na základě výsledků tzv. selfreported dotazníku laterality (Musálek, 2013) (viz příloha 2). Po absolvování motorických testů bylo ještě 8 probandů označeno za jedince s nevyhraněnou preferencí končetin a z dalšího výzkumu byli proto vyřazeni. Zbylí probandi byli na základě výsledků diagnostiky laterality rozděleni na levoruké (n = 15) a pravoruké (n = 12). Mezi levorukými byly ženy zastoupeny v počtu 6 studentek a muži v počtu 9 studentů. Z pravorukých probandů byla jedna žena a 11 mužů. Průměrný věk výzkumného souboru činil 24,4 ± 1,28 let. Žádný ze zúčastněných studentů a studentek neměl v době měření vážné zdravotní potíže a všichni podepsali informovaný souhlas (viz příloha 1), ve kterém se seznámili s časovou náročností a průběhem měření. Etická komise UK FTVS výzkum schválila pod jednacím číslem 052/2015.

4.2 Použité metody

Vzhledem k cíli diplomové práce jsme pro získání výzkumných dat realizovali na vybraném souboru testování laterality, které u každého jedince vždy předcházelo měření kloubní pasivity kinematickou analýzou.

4.2.1 Testování laterality

Pro vyhodnocení preference končetin probandů jsme použili upravenou testovou baterii Musálka (2013) (viz příloha 3). Ta obsahovala celkem 8 položek dosahujících nejvyšší validity, které jsou určeny k diagnostice motorických projevů laterality u dospělé populace. Úkoly 1-2 zjišťovaly preferenci horních končetin. V pořadí třetí úkol byl jediným performančním testem zjišťující rozdílnost ve výkonu horních

končetin. Položky 4-6 byly zaměřeny na dolní končetiny. Poslední dva doplňkové úkoly testovaly oční dominanci a oční preferenci. Výsledky jednotlivý položek byly u každého probanda zapsány do záznamového listu s přiděleným počtem bodů.

1. Hod míčkem na cíl

   Pomůcky: tenisový míček, papírová krabice s otvorem, židle, stůl

   Instrukce: Proband se posadil na židli a ruce položil na stůl. Před něho jsme umístili míček tak, aby byl uprostřed jeho rukou. Následně testovaný jedinec uchopil míček libovolnou končetinou a snažil se trefit otvor v papírové krabici. Úkol jsme opakovali celkem 3x. Do záznamového listu jsme zapsali 1 bod za každý hod pravou rukou a 0 bodů za hod levou.

2. Gumování čáry

   Pomůcky: tužka, guma, židle, stůl, záznamový list

   Instrukce: Stejně jako v předchozím úkolu testovaný jedince usedl na židli a ruce volně položil na stůl. Před něho jsme položili skór list s nakreslenou čárou a gumu. Opět jsme kladli důraz na umístění pomůcek doprostřed před probanda. Jedinec uchopil gumu a vygumoval čáru. Zaznamenali jsme 1 bod, pokud gumoval pravou končetinou a 0 bodů u levé.

3. „Tečkování“

   Pomůcky: fix (0,5 mm), záznamový list, stopky, židle, stůl

   Instrukce: Proband se posadil na židli za stůl, na kterém byl položen skór list se dvěma obdélníky každý tvořený z 90 kroužků o průměru 2 mm. Jeho úkolem bylo nejprve nepreferovanou horní končetinou v časovém limitu 30 sekund umístit tečky co nejrychleji do kroužků. Poté následovala preferovaná končetina. Tečky musely být umísťovány dovnitř kroužku a nesměly se dotýkat obvodu kroužku. Každá špatně umístěná tečka nebyla započítána. Se záznamovým listem se v průběhu testu nesmělo manipulovat. Platné byly pouze úspěšně umístěné tečky. Následně jsme vypočítali laterální koeficient pomocí níže uvedeného vzorce. Kde R znamená počet úspěšně umístěných teček pravou rukou a L počet úspěšně umístěných teček levou rukou. Pokud jedinec dosáhl LQ 60 a více, byla pravá končetina v testu hodnocena jako výkonnější. LQ 40 a měně bylo kritérium pro stanovení vyšší výkonnosti levé končetiny v testu.

$$LQ = \frac{R}{R+L} * 100$$

4. Kop do míče

   Pomůcky: míč, papírová krabice, metr

   Instrukce: Proband se postavil čelem k papírové krabici umístěné ve vzdálenosti 3 metrů. Před probanda jsme položili míč tak, aby byl co nejvíce uprostřed nohou. Jedinec poté kopl do míče ve snaze zasáhnout cíl. K dispozici měl celkem 3 pokusy. Do záznamového listu jsme zapsali 1 bod za každý kop pravou nohou a 0 bodů za kop levou.

5. Napsání písmene T

   Pomůcky: -

   Instrukce: Testovaný jedinec se postavil do prostoru a byl vyzván, aby vyznačil písmeno T před sebou na zemi. Pokud proband provedl úkol pravou končetinou, zapsali jsme do záznamového listu 1 bod. V případě levé končetiny jsme skórovali 0 body.

6. Dvojitý obrat (360°)

   Pomůcky: -

   Instrukce: Testovaný jedinec se postavil do prostoru a byl vyzván k provedení dvojitého obratu. Obrat vlevo jsme hodnotili 1 bodem. Obrat provedený vpravo byl skórován 0 body.

7. Zaostření na objekt přes vytvořené hledí (oční dominance)

   Pomůcky: míček, metr, židle, stůl

   Instrukce: Proband se posadil na židli za stolem a byl instruován k vytvoření hledí spojením palců, ukazováků a propletením ostatních prstů rukou. Přes vytvořené hledí (cca 40 cm před obličejem) se jedince podíval na míček umístěný ve vzdálenosti 3 m. Na další pokyn hledí přiblížil k obličeji (cca 10 cm), aniž by přestal míček pozorovat. Po tomto úkonu byl testovaný jedince vyzván k zavření levého oka. Pokud pravé oko stále pozorovalo míček přes hledí, zaznamenali jsme 1 bod. Pokud jedinec pozoroval i po přiblížení míček levým okem, zapsali jsme 0 bodů.

8. Pohled přes tubus na předmět (oční preference)

   Pomůcky: papírový tubus, míček, metr, židle, stůl

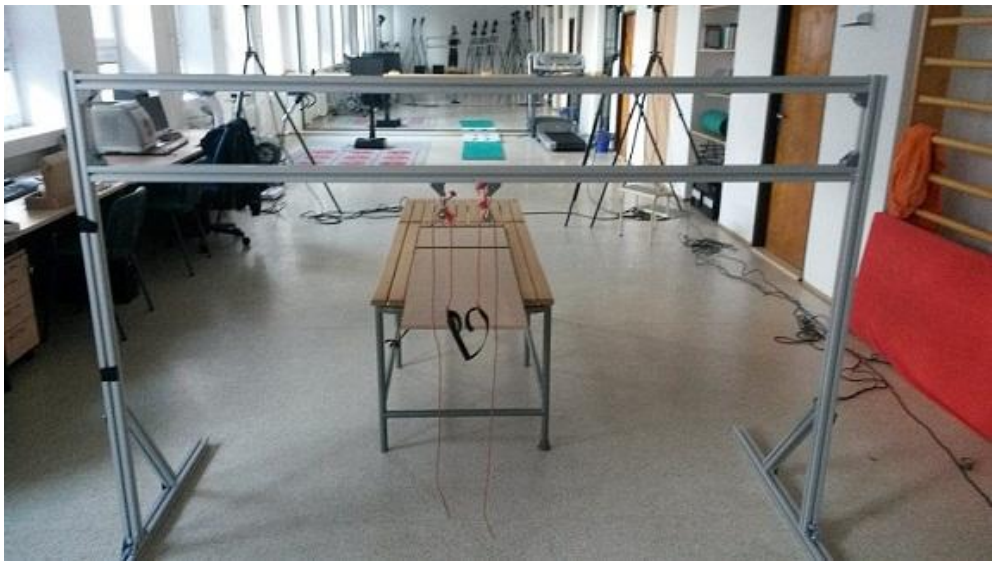
Instrukce: Testovaný jedinec se posadil na židli a ruce volně položil na stůl, na kterém jsme mezi jeho ruce umístili papírový tubus. Následně byl jedince vyzván, aby uchopil tubus a podíval se přes něj na míček ve vzdálenosti 2 m. Do skór listu jsme zaznamenali 1 bod při použití pravého oka, případně 0 bodů pokud jedince pozoroval míček levým okem.

4.2.2 Kinematická analýza

Asymetrie v kloubní pasivitě, jako projev fyziologického zánikového syndromu, byla hodnocena na základě úhlových a časových parametrů v průběhu pohybu končetin v chůzi a na sestrojeném padostroji (viz obrázek 5). K zaznamenání průběhu pohybu končetin v reálném čase a následné analýze parametrů jsme využili Qualisys Motion Capture System, který byl pro účely práce poskytnut Katedrou anatomie a biomechaniky UK FTVS.

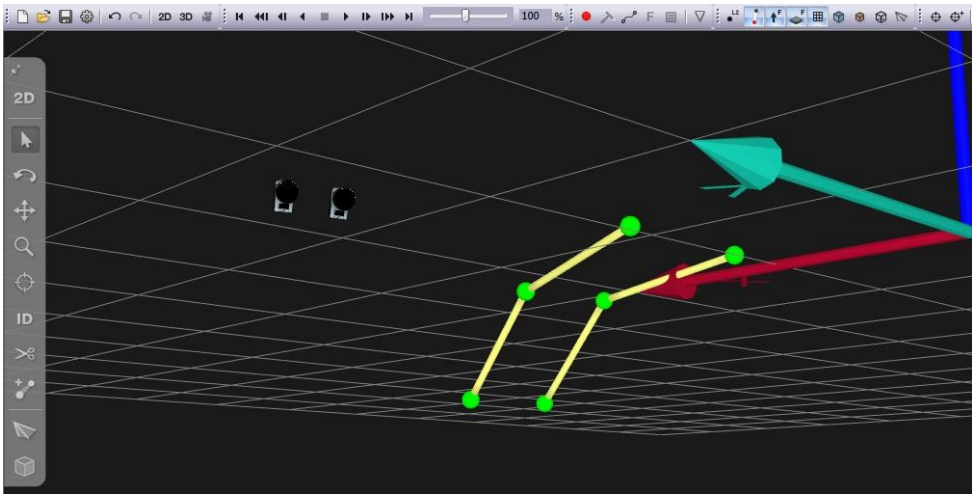
V našem výzkumu jsme pro hodnocení kloubní pasivity vycházeli z metody použité v práci Tichého et al. (2012), kteří registrovali počty kyvů předloktí po pádu z extenze v lokti a počty kyvů bérců po pádu z extenze v kolenním kloubu. Vypouštění končetin do pádu výzkumníci realizovali vlastní rukou a hodnocení kloubní pasivity probíhalo pouhým pohledem. Naším cílem bylo objektivizovat tuto metodu pomocí sestrojeného padostroje, který nám umožnil vypouštět končetiny ve stejný okamžik z totožné výšky. K objektivizaci měření přispělo také využití vysoce sofistikovaného systému pro záznam průběhu pohybu.

Padostroj byl tvořen hliníkovou konstrukcí se dvěma kladkami ukotvenými v nosníku. Přes kladky jsme provlékli lanka, na jejichž konci byly navázány suché zipy pro upoutání končetin. Důležitou pomůcku zastávalo vyšetřovací lehátko, na kterém testovaní jednici seděli při měření dolních končetin, či leželi na břiše při vyšetření končetin horních. Účelem padostroje bylo zajistit vhodné podmínky pro volné pády předloktí z extenze lokte v lehu na břiše a pro volné pády bérců z extenze kolenního kloubu v sedu. K vyšetření chůze jsme použili dva kužely umístěné na volné ploše ve vzdálenosti 5 m od sebe.



Obrázek 3 Padostroj (vlastní fotodokumentace)

Qualisys Motion Capture System patří mezi optoelektronická zařízení, která pro zaznamenání pohybu využívají vysokofrekvenční infračervené kamery. Principem tohoto systému je odraz infračerveného světla od reflexního materiálu, který tvoří povrch značky (marker) umístěné na pohybujícím se objektu. Pro náš výzkum bylo použito 14 pasivních markerů. Tato technologie umožňuje získání velmi přesných prostorových souřadnic v reálném čas (zpoždění 7 ms) (Soumar, 2011). V případě naší studie měli k dispozici 6 infračervených kamer s modelovým označením Oqus 300 na polohovatelných stativech pro umístění v prostoru. Součástí systému Qualisys Motion Capture System je také software Qualisys Track Manager, jehož softwarové nástroje ve verzi 2.1 (viz obrázek 6) jsme použili k analýze úhlových a časových parametrů pohybu pro následné statistické zpracování.

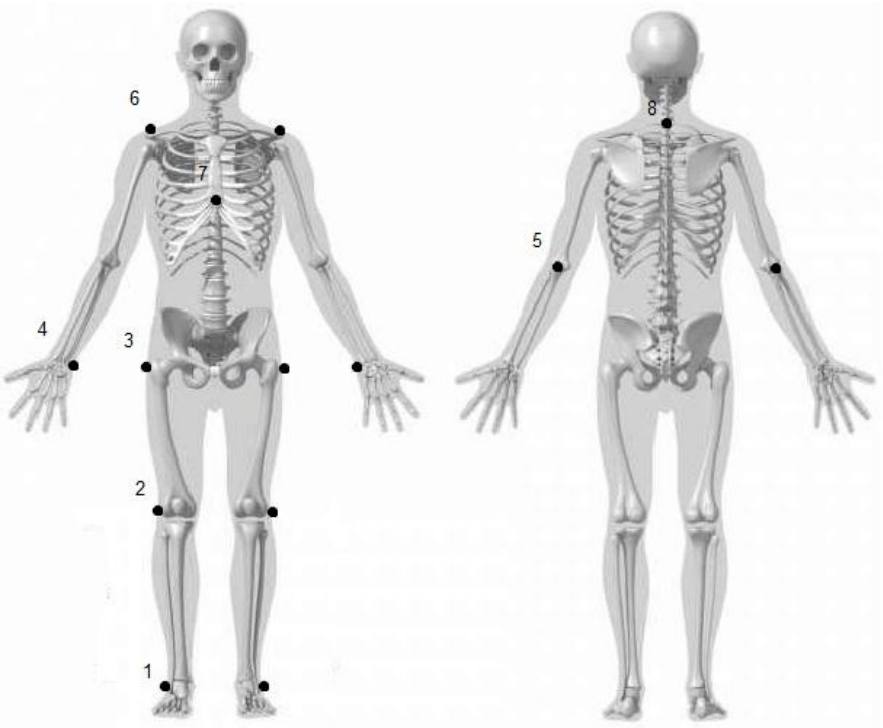


Obrázek 4 Grafické zobrazení dolních končetin v Qualisys Track Manager (vlastní fotodokumentace)

4.2.2.1 Umístění markerů

Před realizací samotného měření byl testovaný jedinec vyzván, aby se svlékl do spodního prádla. Přímo na kůži na předem anatomicky definovaných místech jsme pomocí oboustranné lepicí pásky umístili 14 pasivních markerů. Markery byly na jednotlivé segmenty těla přilepeny tak, aby při pohybu co nejvíce reprezentovaly pohyb kostí ležících pod nimi. Dle Soumara (2011) je nejideálnější umístit markery na čep pevně spojený s kostí, avšak při flexi a extenzi končetin lze získat relativně spolehlivá data i s markery umístěnými na kůži (Soumar, 2011). Markery jsme prostupně připevnili na následující anatomicky určená místa u pravých i levých končetin (viz obrázek 7):

1. lateral malleolus
2. epicondylus lateralis femoris
3. trochanter major femoris
4. processus styloideus ulnae
5. olecranon ulnae
6. acromion
7. sternum (2 cm nad proc. xiphoideus)
8. vertebra – C7



Obrázek 5 Umístění markerů na těle. Upraveno podle (Soumar, 2011, str. 30)

4.2.2.2 Průběh měření

Před samotným příchodem probandů a zahájením měření bylo nutné systém Qualisys kalibrovat. Kalibraci jsme provedli hůlkou a rámem ve tvaru L s pevně stanovenými markery (tzv. wand calibration) (Soumar, 2011). Po provedené kalibraci jsme testovanému jedinci zdůraznili, aby se vyvaroval kontaktu se stativy a kamerami kvůli zachování přesnosti měření. Následně jsme provedli aplikaci markerů na výše zmíněná místa.

První vyšetření bylo zaměřené na asymetrie v pasivitě dolních končetin. Jedinec se posadil na okraj vyšetřovacího lehátka tak, aby se bérce dolních končetin mohly volně pohybovat v plném rozsahu flexe i extenze kolenního kloubu. Poté jsme srovnali podélnou osu těla probanda se středem lehátka podle umístěné značky. Lanka jsme pomocí suchých zipů upevnili nad markery č. 1 (lateral malleolus) a bérce byly systémem kladek vytaženy vzhůru do extenze v kolenním kloubu. Stehna přitom zůstala na podložce. Ruce v připažení uchopily okraj lehátka. Následovala instruktáž, aby proband žádným způsobem bérce po pádu volně nezastavoval a jejich kyvy arteficiálně neprodlužoval. Jedná se o stěžejní bod měření, proto jsme tuto informaci opakovali několikrát. Po instruktáži jsme bérce v extenzi vyrovnali do stejné horizontální polohy pomocí značek umístěných na lankách a došlo k vypuštění bérců do pádu a následného kyvu. O momentu vypuštění jsme vyšetřovaného jedince neinformovali (opakované pády taky byly iniciovány randomizovaně). K adaptaci na vyšetřovací metodu bylo poskytnuto několik pokusů. Teprve v okamžiku, kdy jsme pohledem a po dohodě s probandem shledali, že pohyb není volně ovlivňován, bylo přistoupeno k zaznamenání pohybu systémem Qualisys. Celkem jsme provedli záznam tří úspěšných pokusů určených k následné analýze. Časová perioda záznamu byla nastavena na 15 sekund.

Druhým vyšetřením bylo testování asymetrie v pasivitě horních končetin opět na vyšetřovacím lehátku s využitím padostroje. Zde jsme probanda vyzvali k lehu na břiše. Hlava spočívala v prodloužení trupu na čele a končetiny v upažení. Konstrukce padostroje byla přemístěna nad ležícího jedince v úrovni ramen a kladky bylo nutné přemístit na úroveň zápěstí. Podélnou osu těla proband vyrovnal podle značky umístěné na středu lehátka a suché zipy jsme připevnili nad markery č. 4 (processus styloideus ulnae). Následoval obdobný postup, jako v případě dolních končetin. Ujistili jsme se, zda jedinec může volně provádět extenzi i flexi v lokti a předloktí bylo systémem kladek vytaženo do extenze. Končetiny jsme vyrovnali pomocí značek do stejné

horizontální roviny a realizovali jsme několik pokusů k adaptaci testovaného jedince. Opět došlo ke zdůraznění absence volního ovlivňování kyvů. Systémem Qualisys jsme zaznamenali 3 zdařilé pokusy. Délka záznamu byla nastavena na 15 sekund.

Poslední vyšetření se týkalo hodnocení asymetrie synkinéz horních končetin při chůzi. Na rovné ploše jsme dvěma kužely vymezili dráhu o vzdálenosti 5 m. Úkolem testovaného jedince bylo celkem 4x bez přestávky ujít vymezenou vzdálenost s obratem až za kužely. Bylo důležité, aby proband nepřemýšlel o stylu chůze. Každého jedince jsme proto instruovali, že cílem chůze je zjistit, zda na slovní příkaz, aby šel rychlostí 5 km/h, dokáže skutečně tuto rychlost odhadnout. Vytvořili jsme jeden záznam pohybu o celkové stopáži 25 sekund.

4.3 Sběr dat

Na konci roku 2014 jsme realizovali první pokusná měření, ve kterých jsme se zaměřili na odstranění metodických nedostatků, definování umístění pasivních markerů a stanovení časové náročnosti jednotlivých měření. Hlavní období testování vybraných jedinců pak probíhalo od března do května roku 2015. K dispozici jsme měli prostory biomechanické laboratoře a místnost C115 v budově UK FTVS, kde jsme vždy zajistili vhodné teplotní podmínky pro testování probandů ve spodním prádle. Časová náročnost sběru dat u jednoho jedince byla 35 – 45 minut včetně testování laterality. Zapojení, konfigurace a kalibrace systému Qualisys probíhaly vždy pod vedením fundovaných biomechaniků.

4.4 Analýza dat

1) Pro získání hodnot pozorovaných úhlových a časových parametrů jsme využili softwarové nástroje programu Qualisys Track Manager. Při analýze pohybu dolních končetin na padostroji jsme zaznamenávali celkovou dobu kyvu bérce od vypuštění do jeho zastavení a minimální úhel v kolenním kloubu dosažený po pádu. Celkovou dobu kyvu od vypuštění do jeho zastavení jsme z grafů programu vypisovali také pro předloktí. Stejně jako v případě dolních končetin jsme i u horních končetin registrovali minimální úhel dosažený v loketním kloubu po pádu. Jako referenční hodnotu ze všech tří zaznamenaných měření u horních i dolních končetin jsme zvolili medián. Referenční hodnota zastavení byla stanovena na <1°. Analýza synkinézy horních končetin v chůzi byla zaměřena na dva parametry. Prvním byl minimální

dosažený úhel v lokti, který jsme zaznamenali v každém ze tří po sobě jdoucích krokových cyklů. Druhým byl rozkyv pažní kosti pozorovaný v totožných třech krokových cyklech jako první zmíněný parametr. I zde jsme zvolili v rámci zachování formy analýzy dat, jako referenční hodnotu medián z naměřených úhlových parametrů.

2) K základnímu popisu definovaných parametrů byla použita deskriptivní statistika, zejména výše zmíněný medián ze zajištěných měření, který představoval referenční hodnotu pro statistické zpracování. Volba prostřední hodnoty z naměřených dat byla zvolena z důvodu variability výsledků u pádů předloktí i bérců. Reliabilita hodnocena metodou test-retest z realizovaných třech opakovaných měření se pohybovala v rozmezí Rel = 0,7 – 0,9. Při následném vyjádření diagnostické chyby pozorování jsme z těchto hodnot reliability a směrodatných odchylek odhalili chybu měření v 1) úhlech: horní končetina ± 4°; dolní končetina ± 3,35°; 2) časech do zastavení: horní končetina ± 0,4 sec; dolní končetina ± 0,35 sec. Pro analýzu rozdílů v definovaných parametrech byl použit párový t-test. Konkrétní t-test (parametrická nebo neparametrická podoba) jsme zvolili na základě ověření normality dat, které bylo provedeno Shapiro–Wilkoxovým; Kolmogorov–Smirnovovým; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis normality testy. Hladina statistické významnosti byla stanovena na hodnotě $p < 0,05$ a hladina kriteriální věcné významnosti byla vyjádřena prostřednictvím Cohenovo $d > 0,6$ (Kirk, 1996). Pro zjištění závislosti mezi směrem kloubní pasivity u loketního a kolenního kloubu byl použit tetrachorický korelační koeficient. Data jsme zpracovali v programu NCSS 2007 (Hintze, 2007), Open stat a M-PLUS (Muthén & Muthén, 2010).

5 VÝSLEDKY

Tato kapitola popisuje výsledky výzkumu, které jsme rozdělili do dvou směrů. První část hodnotí kloubní pasivitu na preferovaných a nepreferovaných končetinách u souboru praváků i leváků dohromady, kdy hlavním rozlišovacím parametrem bylo určení preference končetiny. Ve druhé části jsme náš soubor rozdělili podle preference končetin a provedli jsme analýzu úhlových a časových parametrů separátně pro pravoruké a levoruké jedince.

5.1 Výsledky úhlových a časových parametrů bez diferenciace subpopulací

Účelem tohoto směru vyhodnocení výsledků bylo vyslovit se k námi stanoveným hypotézám v obecné rovině z hlediska preference končetin, bez rozlišování jedinců na pravoruké a levoruké a naplnit tak cíl naší práce.

5.1.1 Časové parametry - padostroj

Časové parametry kyvu byly jedny z výchozích hodnot pro posuzování asymetrie v kloubní pasivitě horních i dolních končetin na padostroji. Z referenčních mediánů byl vypočítán průměr. Pro detekování významnosti rozdílu mezi průměry zjištěnými na preferované a nepreferované končetině jsme použili párový t-test.

V testu pád předloktí jsme v této části hodnotili průměrnou časovou délku kývaní předloktí od vypuštění až do jeho zastavení a jejich rozdíly u preferované a nepreferované horní končetiny (viz tabulka 1). Normalita dat ze získaných referenčních mediánů nebyla dle testů normality (Shapiro–Wilkoxon; Kolmogorov–Smirnov; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis) zamítnuta.

Tabulka 1 Čas (s) od vypuštění předloktí do jeho zastavení

Horní končetina	Průměr a SD	95,0 % LCL	95,0 % UCL
Preferovaná	4,47 ± 0,88	4,14	4,8
Nepreferovaná	4,47 ± 1	4,1	4,85

SD – směrodatná odchylka
LCL – lower confidence limit
UCL – upper confidence limit

Z výsledků je patrné, že průměrný čas od vypuštění předloktí do jeho zastavení se mezi preferovanou a nepreferovanou horní končetinou téměř nelišil. Zaznamenaný rozdíl mezi průměry byl 0,001 s, který se ukázal statisticky i věcně nevýznamný. Preferovaná horní končetina (předloktí) nevykazovala významně kratší časovou periodu kývání v porovnání s nepreferovanou horní končetinou.

Při hodnocení kloubní pasivity dolních končetin na padostroji jsme z hlediska časových parametrů zaznamenávali průměrnou časovou délku kývání bérce od vypuštění do jeho zastavení a rozdíly u preferované a nepreferované dolní končetiny (viz tabulka 2). Normalita dat ze získaných referenčních mediánů nebyla dle testů normality (Shapiro–Wilkoxon; Kolmogorov–Smirnov; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis) zamítnuta.

Tabulka 2 Čas (s) od vypuštění bérce do jeho zastavení

Dolní končetina	Průměr a SD	95,0 % LCL	95,0 % UCL
Preferovaná	7,8 ± 1,66	7,18	8,41
Nepreferovaná	7,81 ± 1,73	7,16	8,45

SD – směrodatná odchylka
LCL – lower confidence limit
UCL – upper confidence limit

Také v případě pádů dolních končetin (bérců) byl rozdíl mezi průměrným zaznamenaným časem kývání preferované a nepreferované dolní končetiny minimální. Bérec se na nepreferované dolní končetině kýval pouze o 0,01 s déle. I v tomto případě nebyl zjištěn statisticky ani věcně významný rozdíl v době kyvu mezi preferovanou a nepreferovanou dolní končetinou a z výsledků je zřejmé, že preferovaná dolní končetina (bérec) se nekývala významně kratší dobu než končetina nepreferovaná.

5.1.2 Úhlové parametry - padostroj

Další parametr, podle kterého jsme hodnotili asymetrii kloubní pasivity mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou, byl minimální dosažený úhel v kloubech po vypuštění končetin do pádu na padostroji. Referenční hodnotu pro výpočet průměru tvořil medián ze tří realizovaných měření. Významnost rozdílu průměrných hodnot mezi preferovanou a nepreferovanou byla zjištěna párovým t-testem.

Analýza úhlových parametrů na horní končetině po vypuštění předloktí padostrojem do pádu byla zaměřena na průměrný minimální úhel, který byl dosažen

v loketním kloubu. Opět nás zajímal především rozdíl u preferované a nepreferované končetiny (viz tabulka 3). Normalita dat ze získaných referenčních mediánů nebyla dle testů normality (Shapiro–Wilkoxon; Kolmogorov–Smirnov; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis) zamítnuta.

Tabulka 3 Minimální úhel v loketním kloubu dosažený po pádu předloktí

Horní končetina	Průměr a SD	95,0 % LCL	95,0 % UCL
Preferovaná	73,1 ± 7,74	70,21	75,99
Nepreferovaná	73,33 ± 7,79	70,42	76,24

SD – směrodatná odchylka
LCL – lower confidence limit
UCL – upper confidence limit

Rozdíl mezi průměrným minimálním úhlem v loketním kloubu u preferované a nepreferované končetiny byl 0,23° a statistická ani věcná významnost rozdílu nebyla prokázána. Nepreferovaná horní končetina po vypuštění do pádu nedosáhla významně menšího úhlu v loketním kloubu ve srovnání s preferovanou končetinou. Tyto výsledky podporují předcházející zjištění z časových parametrů a není možné dle těchto parametrů (čas a úhel) říci, že by na nepreferované horní končetině byla pozorována významně odlišná kloubní pasivita.

Průměrný minimální úhel v kolenním kloubu a rozdíl mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou jsme hodnotili pomocí řízeného pádu také při testování dolních končetin (viz tabulka 4). Normalita dat ze získaných referenčních mediánů nebyla dle testů normality (Shapiro–Wilkoxon; Kolmogorov–Smirnov; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis) zamítnuta.

Tabulka 4 Minimální úhel v kolenním kloubu dosažený po pádu bérce

Dolní končetina	Průměr a SD	95,0 % LCL	95,0 % UCL
Preferovaná	65,35 ± 9,9	61,65	69,05
Nepreferovaná	65,09 ± 9,66	61,48	68,7

SD – směrodatná odchylka
LCL – lower confidence limit
UCL – upper confidence limit

Minimální úhel naměřený v kolenním kloubu preferované dolní končetiny se průměrně lišil o 0,26° od minimálního úhlu naměřeného u nepreferované končetiny. Takto malý rozdíl se neukázal jako statisticky ani věcně významný. Po vypuštění dolních končetin do pádu nebyl zaznamenán významně menší minimální úhel

v kolenním kloubu u nepreferované končetiny. Tato zjištění z úhlových parametrů spolu s výsledky z časových parametrů nepotvrzují významně odlišnou kloubní pasivitu mezi preferovanou a nepreferovanou dolní končetinou.

5.1.3 Časové parametry s referenční hodnotou ze součtu měření

Pro kontrolu výsledků, které vycházejí z referenční hodnoty tvořené mediánem jednotlivých měřených pokusů, jsme provedli navíc analýzu časových parametrů získanou ze součtu všech tří měření zaznamenaných u každého probanda.

I v případě kontroly výsledků jsme v testu pád předloktí zjišťovali průměrnou hodnotu délky kyvu horních končetin od vypuštění do zastavení a rozdíl u preferované a nepreferované končetiny (viz tabulka 5). Normalita dat ze získaných referenčních mediánů nebyla dle testů normality (Shapiro–Wilkoxon; Kolmogorov–Smirnov; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis) zamítnuta.

Tabulka 5 Čas (s) od vypuštění předloktí do jeho zastavení – referenční hodnota ze součtu měření

Horní končetina	Průměr a SD	95,0 % LCL	95,0 % UCL
Preferovaná	12,86 ± 3,25	11,65	14,08
Nepreferovaná	12,98 ± 3,73	11,59	14,37

SD – směrodatná odchylka
LCL – lower confidence limit
UCL – upper confidence limit

Statistická ani věcná významnost rozdílu mezi délkou kyvu v součtu všech tří měření u preferované a nepreferované horní končetiny nebyla zjištěna. Rozdíl v průměrných hodnotách těchto kompozitních skórů (hodnot) byl 0,12 s a je zjevné, že ani dle výsledků na základě referenční hodnoty získané ze součtu zaznamenaných měření u každého jedince, se nepreferovaná horní končetina nekývala významně déle než preferovaná.

Kompozitních skórů jsme využili také pro kontrolu hodnocení rozdílu v průměrné časové délce kyvu dolních končetin (bérce) od vypuštění do zastavení (viz tabulka 6). Normalita dat ze získaných referenčních mediánů nebyla dle testů normality (Shapiro–Wilkoxon; Kolmogorov–Smirnov; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis) zamítnuta.

Tabulka 6 Čas (s) od vypuštění bérce do jeho zastavení – referenční hodnota ze součtu měření

Dolní končetina	Průměr a SD	95,0 % LCL	95,0 % UCL
Preferovaná	21,85 ± 5,51	19,79	23,91
Nepreferovaná	22,22 ± 5,52	20,16	24,28

SD – směrodatná odchylka
LCL – lower confidence limit
UCL – upper confidence limit

Poté, co jsme použili jako referenční hodnotu součet 3 naměřených časových parametrů, byl u dolních končetin zaznamenán největší rozdíl mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou. Rozdíl průměrů referenčních hodnot dosáhl 0,37 s. I přesto, že párový t-test neukázal statisticky významný rozdíl, zajímalo nás, jak se tento rozdíl projeví v hodnotě kriteriální věcné významnosti. Effect size byl však velmi nízký Cohenovo d = 0,013. Ani v tomto případě se nepreferovaná dolní končetina nekývala významně déle v porovnání s preferovanou končetinou.

5.1.4 Úhlové parametry – chůze

Při chůzi jsme asymetrii v kloubní pasivitě hodnotili na základě úhlových parametrů v loketním kloubu a rozkyvu pažní kosti.

U loketního kloubu jsme v průběhu chůze registrovali průměrný minimální úhel při synkinéze horních končetin a hodnotili jsme rozdíl mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou (viz tabulka 7). Normalita dat ze získaných referenčních mediánů nebyla dle testů normality (Shapiro–Wilkoxon; Kolmogorov–Smirnov; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis) zamítnuta.

Tabulka 7 Minimální úhel v loketním kloubu dosažený při synkinéze horních končetin

Horní končetina	Průměr a SD	95,0 % LCL	95,0 % UCL
Preferovaná	37,16 ± 15,57	31,45	42,87
Nepreferovaná	36,95 ± 13,28	32,08	41,83

SD – směrodatná odchylka
LCL – lower confidence limit
UCL – upper confidence limit

Výsledný rozdíl průměrného minimálního úhlu v loketním kloubu mezi preferovanou a nepreferovanou horní končetinou při chůzi byl velmi malý. Flexe v loketním kloubu u nepreferované končetiny byla jen o 0,21° větší v porovnání s preferovanou. Nepreferovaná končetina při chůzi nedosáhla statisticky ani věcně významně menšího úhlu v loketním kloubu ve srovnání s preferovanou končetinou.

V rámci analýzy chůze jsme se zaměřili také na průměrný rozkyv pažní kosti. Směrodatná pro nás byla hodnota rozdílu mezi rozkyvem preferované a nepreferované končetiny (viz tabulka 8). Normalita dat ze získaných referenčních mediánů nebyla dle testů normality (Shapiro–Wilkoxon; Kolmogorov–Smirnov; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis) zamítnuta.

Tabulka 8 Rozkyv pažní kosti při synkinéze horních končetin

Horní končetina	Průměr a SD	95,0 % LCL	95,0 % UCL
Preferovaná	22,46 ± 7,5	19,71	25,22
Nepreferovaná	22,44 ± 7,31	19,76	25,12

SD – směrodatná odchylka
LCL – lower confidence limit
UCL – upper confidence limit

I rozkyv pažní kosti se jevil téměř shodný u preferované i nepreferované končetiny. Detekovaný rozdíl průměrů byl pouze 0,03°, který nepostačoval k vyslovení statistické ani věcné významnosti. Výsledky získané při chůzi jsou v souladu s výsledky z padostroje a můžeme říci, že na základě námi zvolených metod nebyla zjištěna významně odlišná kloubní pasivita na preferované horní i dolní končetině u pravorukých i levorukých jedinců.

Pro doplnění dosavadních výsledků jsme zjišťovali míru vztahu mezi minimálním úhlem dosaženým v loketním kloubu při chůzi a mírou rozkyvu pažní kosti při chůzi (viz tabulka 9). Normalita dat ze získaných referenčních mediánů nebyla dle testů normality (Shapiro–Wilkoxon; Kolmogorov–Smirnov; D'Agostino Skewness normality a D'Agostino Kurtosis) zamítnuta.

Tabulka 9 Vztah mezi minimálním úhlem v loketním kloubu a rozkyvem pažní kosti při chůzi

	Rozkyv paže (preferovaná)	Rozkyv paže (nepreferovaná)
Min. úhel (preferovaná)	0,58	-
Min. úhel (nepreferovaná)	-	0,24

Výsledné korelační koeficienty poukázaly na relativně slabý vztah mezi úhlem v lokti a rozkyvem pažní kosti při chůzi. Nicméně vztah mezi úhlem na preferované horní končetině a rozkyvem preferované pažní kosti vysvětluje téměř r^2 = 34% rozptylu. Otázkou proto je, proč není stejná síla vztahu a míra vysvětlení rozptylu detekovaná

také u horní končetiny nepreferované. Velice důležitým zjištěním tedy je, jestliže registrujeme na nepreferované horní končetině větší rozkyv než na preferované, nemusíme na nepreferované končetině zaznamenat menší minimální úhel v lokti.

5.1.5 Vztah mezi směrem kloubní pasivity u loketního a kolenního kloubu preferované končetiny

Cílem této části analýzy bylo na základě principů podmíněné pravděpodobnosti určit, do jaké míry je asymetrie kloubní pasivity na horní končetině dle hypotéz Hennera (na preferované horní končetině menší kloubní pasivita) určující pro stejný směr kloubní pasivity, tj. menší kloubní pasivita na preferované dolní končetině. Pro zjištění závislosti mezi směrem kloubní pasivity u loketního a kolenního kloubu preferované končetiny jsme použili tetrachorický korelační koeficient. Referenční mediány vycházely z úhlových parametrů měřených při pádech končetin na padostroji. Vypočítaný tetrachorický korelační koeficient r = 0,54 naznačuje slabý vztah s množstvím reziduí mezi směrem kloubní pasivity preferované horní a dolní končetiny. Což ukazuje, že do hypotézy Hennera týkající se mozečkové dominance pravděpodobně bude vstupovat množství kovariačních proměnných, které v této práci nebyly odhaleny.

5.2 Výsledky úhlových a časových parametrů u subpopulací praváci a leváci

Pro možnost konfrontace našich zjištění s výsledky ostatních autorů jsme se rozhodli také analyzovat úhlové a časové parametry separátně pro soubor leváků a praváků. V tabulce 10 uvádíme průměrné hodnoty v jednotlivých testech kloubní pasivity pro horní končetiny a v tabulce 11 průměrné hodnoty pro dolní končetiny.

Tabulka 10 Hodnoty všech sledovaných parametrů u horních končetin separátně pro leváky a praváky

Pád předloktí (min. úhel)	Průměr a SD - leváci	Průměr a SD - praváci
Preferovaná	74,58 ± 6,22	70,88 ± 9,43
Nepreferovaná	74,35 ± 7,14	71,81 ± 8,78
Pád předloktí (čas)		
Preferovaná	4,68 ± 0,81	4,17 ± 0,93
Nepreferovaná	4,68 ± 1,09	4,16 ± 0,82
Chůze		
Preferovaná – rozkyv	22,16 ± 6,92	22,84 ± 8,4
Nepreferovaná – rozkyv	20 ± 6, 93	25,4 ± 6,86
Preferovaná – min. úhel	38,72 ± 17,43	35,27 ± 13,37
Nepreferovaná – min. úhel	34,71 ± 15,17	39,68 ± 10,44

SD – směrodatná odchylka
Pád předloktí (min. úhel) – minimální úhel v loketním kloubu dosažený po pádu předloktí
Pád předloktí (čas) – čas (s) od vypuštění předloktí do jeho zastavení
Chůze (rozkyv) – rozkyv pažní kosti při synkinéze horní končetiny
Chůze (min. úhel) – minimální úhel v loketním kloubu dosažený při synkinéze horních končetin

Separování výsledků horních končetin pro praváky a leváky odhalilo velmi důležitá zjištění, která se v analýze sloučeného souboru neprojevila. Směr parametrů vztahujících se ke kloubní pasivitě byl v jednotlivých testech mezi praváky a leváky protichůdný. Při testování horních končetin na padostroji jsme u levorukých jedinců pozorovali v průměru o 0,23° větší flexi po pádu předloktí na nepreferované končetině, která se i déle kývala (0,05 s). Zatímco u praváků naopak preferovaná končetina dosáhla větší flexe o 0,93° a kývala se déle (0,01 s). Tyto malé rozdíly se však neukázaly jako statisticky ani věcně významné.

Pokud jsme rozdělili praváky a leváky v případě analýzy chůze, průměrné rozdíly mezi preferovanou a nepreferovanou horní končetinou v jednotlivých parametrech byly výraznější než na padostroji. Rozkyv pažní kosti zaznamenaný u leváků byl na preferované ruce větší o 2,15° (Cohenovo d = 0,22). Preferovaná ruka praváků dosahovala naopak o 2,56° (Cohenovo d = 0,28) menšího rozkyvu v porovnání s nepreferovanou. Při hodnocení kloubní pasivity v loketním kloubu při chůzi byly zaznamenány největší rozdíly. Leváci dosahovali menší flexe na preferované končetině v průměru o 4,01° (Cohenovo d = 0,34) a u praváků byla znovu registrována opačná tendence, tedy menší flexe o 4,41° (Cohenovo d = 0,36) na nepreferované končetině. Přesto, že průměrné rozdíly byly v testu chůze mezi praváky a leváky výraznější, nebyly

u těchto výsledků zjištěny statistické ani věcně významné (Cohenovo d do 0,4 = malý efekt) rozdíly mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou.

Tabulka 11 Hodnoty všech sledovaných parametrů u dolních končetin separátně pro leváky a praváky

Pád bérce (min. úhel)	Průměr a SD - leváci	Průměr a SD - praváci
Preferovaná	65,34 ± 9,87	65,36 ± 10,39
Nepreferovaná	63,56 ± 9,34	67,4 ± 10,08
Pád bérce (čas)		
Preferovaná	8,21 ± 1,63	7,18 ± 1,56
Nepreferovaná	8,29 ± 1,69	7,09 ± 1,59

SD – směrodatná odchylka
Pád bérce (min. úhel) – minimální úhel v kolenním kloubu dosažený po pádu bérce
Pád bérce (čas) – čas (s) od vypuštění bérce do jeho zastavení

Analýzou pádů dolních končetin, zvlášť pro leváky a praváky, jsme zaznamenali z hlediska časových parametrů mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou minimální rozdíl. Významné rozdíly jsme však pozorovali v úhlových parametrech. Nepreferovaná dolní končetina leváků dosáhla průměrně o 1,79° vetší flexe ($p < 0,05$) a Cohenovo d = 0,46. Statisticky významné rozdíly byly detekovány také v úhlových parametrech na dolní končetině u praváků, kdy jsme naopak u preferované končetiny registrovali v průměru o 2,04° větší flexi v kolenním kloubu. Statistická významnost rozdílu dosáhla hodnoty $p < 0,05$ a Cohenovo d = 0,58. Z výše uvedeného vyplývá, že zatímco u leváků dosáhla významně menšího minimálního úhlu po vypuštění do pádu nepreferovaná dolní končetina, u pravorukých jedinců byl zaznamenán významně menší minimální úhel na preferované končetině.

6 DISKUSE

Cílem této diplomové práce bylo zjistit míru vztahu mezi projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu a preferencí končetin.

Z pohledu motorických funkcí se dle hypotéz Hennera (1927, 1936) nachází dominantní mozečková hemisféra kontralaterálně k dominantní hemisféře koncového mozku. Projevem této mozečkové dominance má být rozdílná svalová tonie detekovatelná např. v odlišné kloubní pasivitě mezi preferovanou a nepreferovanou horní či dolní končetinou. U nepreferované končetiny by dle této hypotézy měla být pozorována vyšší svalová hypotonie. Asymetrie v kloubní pasivitě v jednotlivých částech těla je definována jako fyziologický zánikový syndrom. Na základě Hennerových experimentů je zřejmé, že tuto asymetrii v kloubní pasivitě můžeme pozorovat i u zdravých lidí (Henner, 1927, 1936).

Metody, které jsme použili pro hodnocení kloubní pasivity na horních a dolních končetinách, vycházejí z práce Tichého et al. (2012). Výzkumníci hodnotili svalový tonus jednak konvenčním klinickým vyšetřením v podobě prohlídky, pohmatem a pozorováním rozsahu pohybu v kloubech a dále použili podrobnější postup pomocí pozorování počtu kyvů předloktí a bérců po pádu z extenze v loketním a kolenním kloubu. Počty kyvů končetin byly registrovány také po vyvolání tricipitových a patelárních reflexů (Tichý et al., 2012). I přesto, že všechna jednotlivá měření pádů končetin byla prováděna desetkrát, neshledáváme pouhé pozorování počtu kyvů předloktí a bérce za dostatečně objektivní. Proto jsme v našem případě zvolili objektivní metodu kinematické analýzy systému Qualisys Motion Capture pro analýzu úhlových a časových parametrů kyvů končetin po řízeném pádu a při synkinéze horních končetin v průběhu chůze. Za nepříliš vhodný postup v metodice využité Tichým et al. (2012) považujeme také vypouštění končetin do pádu z ruky examinátora. Tímto postupem není zajištěna časová synchronizace vypuštění končetin a není možné ani kalibrovat končetiny do stejné výšky. K tomu, abychom se pokusili minimalizovat i tyto nedostatky, byl sestrojen padostroj. Ten nám umožnil nejen kalibrovat končetiny do stejné výšky, ale také je vypouštět do pádu synchronně a bez kontaktu s rukou examinátora. Tichý et al. (2012) pro stanovení preference končetin použili Edinburghský dotazník doplněný o několik dalších testů. V naší práci jsme zvolili

upravenou testovou baterii Musálka (2013) z důvodu menší časové náročnosti a obsahu položek, které jsou zaměřeny na širší spektrum projevů laterality. Baterie Musálka (2013) byla navíc validizována na české populaci.

Vyhodnocení výzkumu jsme se rozhodli udělat ve dvou směrech. V prvním případě jsme hodnotili kloubní pasivitu na preferovaných a nepreferovaných končetinách u souboru praváků i leváků dohromady, kdy hlavním rozlišovacím parametrem bylo určení preferované a nepreferované horní nebo dolní končetiny. Záměrem bylo vyslovit se k námi stanoveným hypotézám v obecné rovině z hlediska preference končetin, bez rozlišování jedinců na pravoruké či levoruké a naplnit tak cíl celé naší práce. Podstatou druhého směru vyhodnocení dat byla konfrontace našich výsledků výzkumu s nálezy ostatních autorů, kteří hodnotili kloubní pasivitu končetin na separátních souborech pravorukých a levorukých jedinců. V tomto případě jsme náš soubor rozdělili podle preference končetin a provedli analýzu úhlových a časových parametrů pro každý soubor zvlášť.

a) Sloučený soubor

Pro hodnocení kloubní pasivity horních končetin na padostroji jsme stanovili vědeckou hypotézu (H1). Naším předpokladem bylo, že kloubní pasivita v loketním kloubu při řízených pádech předloktí bude významně větší (věcná významnost - Cohenovo d > 0,6) na nepreferované horní končetině u pravorukých i levorukých jedinců. Z výsledků analýzy časových a úhlových parametrů nemůžeme říci, že by na nepreferované horní končetině byla pozorována významně odlišná kloubní pasivita. Při porovnání průměrné časové délky kývání byl rozdíl mezi končetinami minimální (0,001 s). Velice malý rozdíl byl zjištěn i v úhlových parametrech měřených v loketním kloubu. Preferovaná končetina dosáhla průměrného minimálního úhlu po vypuštění do pádu 73,1°. U nepreferované končetiny jsme zaznamenali v průměru o 0,23° menší flexi v loketním kloubu a toto zjištění mírně odporuje Hennerově hypotéze. Námi stanovená hypotéza (H1) byla zamítnuta. Pro kontrolu těchto zjištění jsme navíc následně změnili postup vyhodnocení. Výše zmíněné výsledky vycházely z referenční hodnoty tvořené mediánem jednotlivých měřených pokusů. Kontrolní měření jsme provedli analýzou časových parametrů získaných ze součtu všech tří měření zaznamenaných u každého probanda. Rozdíl v průměrných hodnotách těchto kompozitních skórů (hodnot)

u preferované a nepreferované končetiny byl 0,12 s. Tento výsledek podpořil předchozí zjištění o nevýznamnosti rozdílu.

V dalším kroku jsme analyzovali asymetrickou kloubní pasivitu horních končetin při chůzi. Předpokládali jsme, že synkinéza preferované končetiny při chůzi bude významně větší (věcná významnost - Cohenovo d > 0,6) na nepreferované horní končetině u pravorukých i levorukých jedinců (H3). Míra synkinézy byla reprezentována minimálním dosaženým úhlem v loketním kloubu a rozkyvem pažní kosti ve třech po sobě jdoucích krokových cyklech. Přesto, že jsme u probandů pozorovali během chůze značné stranové asymetrie synkinézy horních končetin, analýza úhlových parametrů neprokázala souvislost těchto asymetrií s preferencí horní končetiny. Synkinéza preferované horní končetiny nebyla významně větší. Úhel v loketním kloubu byl v průměru u obou končetin téměř shodný (rozdíl 0,21°), avšak v souladu s Hennerovým zjištěním. Průměrný rozkyv pažní kosti se mezi pravou a levou stranou také významně nelišil (0,03°). Výsledky získané při chůzi jsou v souladu se zjištěními z testů na padostroji a hypotézu (H3) zamítáme. Pro doplnění těchto zjištění nás zajímal také vztah mezi úhlem v lokti a rozkyvem pažní kosti. Výsledné korelační koeficienty 0,58 u preferované a 0,24 u nepreferované končetiny poukázaly na vztah relativně slabý. Z toho vyplývá důležité zjištění, že pokud je na nepreferované horní končetině registrovaný větší rozkyv než na preferované, nemusíme na nepreferované končetině zaznamenat menší minimální úhel v lokti. Jedním z možných vysvětlení může být odlišný stereotyp chůze mužů a žen, kdy u žen byl na pohled patrný větší rozkyv pažní kosti a naopak menší flexe v loketním kloubu v porovnání s muži. Otázkou je, proč se míra vztahu liší u preferované a nepreferované končetiny.

V souvislosti s dolními končetinami jsme stanovili hypotézu (H2). Předpokládali jsme významně větší kloubní pasivitu v kolenním kloubu při řízených pádech bérců (věcná významnost - Cohenovo d > 0,6) na nepreferované dolní končetině u pravorukých i levorukých jedinců. I v případě dolních končetin jsme podle výsledků z úhlových a časových parametrů získaných kinematickou analýzou nemohli hypotézu přijmout. Bérec na nepreferované dolní končetině se kýval pouze o 0,01 s déle a maximální flexe v kolenním kloubu dosažená po pádu byla jen o 0,26° větší než u preferované končetiny. Zjištění jsou v souladu s Hennerovou hypotézou, ale na základě takto malých rozdílů se nepotvrdila významně odlišná kloubní pasivita mezi

preferovanou a nepreferovanou dolní končetinou a hypotézu (H2) jsme zamítli. Stejný kontrolní postup jako u hypotézy (H1) jsme provedli i zde. Při použití referenční hodnoty ze součtu tří naměřených časových parametrů u každého jedince, byl u dolních končetin zaznamenán největší rozdíl mezi preferovanou a nepreferovanou. Nepreferovaná dolní končetina se kývala v průměru o 0,37 s déle, tedy v souladu s Hennerovou hypotézou. Effect size tohoto rozdílu byl však nízký (Cohenovo d = 0,38) a ani kontrolní výpočet neumožnil hypotézu (H2) přijmout.

Na závěr prvního směru vyhodnocování výsledků sloučeného souboru probandů, jsme zjišťovali vztah mezi směrem kloubní pasivity u loketního a kolenního kloubu preferované končetiny. Cílem této části analýzy bylo na základě principů podmíněné pravděpodobnosti určit, do jaké míry je asymetrie kloubní pasivity na horní končetině dle hypotéz Hennera (na preferované horní končetině menší kloubní pasivita) určující pro stejný směr kloubní pasivity, tj. menší kloubní pasivita na preferované dolní končetině. Pro zjištění závislosti mezi směrem kloubní pasivity u loketního a kolenního kloubu preferované končetiny jsme použili tetrachorický korelační koeficient. Referenční mediány vycházely z úhlových parametrů měřených při pádech končetin na padostroji. Vypočítaný tetrachorický korelační koeficient r = 0,54 naznačuje slabý vztah s množstvím nevysvětlených reziduí mezi směrem kloubní pasivity preferované horní a dolní končetiny. Což ukazuje, že do hypotézy Hennera týkající se mozečkové dominance pravděpodobně bude vstupovat množství kovariačních proměnných, které v této práci nebyly odhaleny. Domníváme se, že odlišný směr kloubní pasivity na horních a dolních končetinách může ovlivnit provozovaná pohybová aktivita v průběhu ontogeneze jedince (hokej, tenis, fotbal apod.). Také volní ovlivnění pohybu mohlo mít velký dopad na výsledná data. A to i přesto, že jsme se snažili důkladnou instruktáží a několika přípravnými pokusy volní aktivitu jedinců eliminovat. Probandi byli dotazováni na prodělané úrazy končetin, ale nebylo možné zajistit absolutní anamnézu zdravotního stavu. Například poškození pohybového aparátu, o kterých si testovaný subjekt není vědom, nebo zranění, která nám nesdělil, mohou negativně ovlivnit výsledky měření.

b) Separovaný soubor

Rozdělení souboru podle preference končetiny a vyhodnocení výsledků pro pravoruké a levoruké jedince zvlášť nám umožnilo konfrontaci našich zjištění s nálezy

ostatních autorů. V průběhu tohoto procesu vzešla najevo další důležitá zjištění, které analýza sloučeného souboru neodhalila. Nalezli jsme jednu z příčin nevýrazných rozdílů v pozorovaných úhlových a časových parametrech mezi preferovanými a nepreferovanými končetinami. Směr těchto parametrů byl v jednotlivých testech mezi praváky a leváky protichůdný.

1) Pravorucí jedinci

Praváci vykazovali na horních končetinách větší flexi v loketním kloubu a delší dobu kyvu předloktí po pádu na preferované končetině. Větší flexe v loketním kloubu preferované končetiny byla zaznamenána také při chůzi. Hodnoty těchto parametrů byly v mírném nesouladu s Hennerovou hypotézou. Tu mírně podporoval pouze rozkyv pažní kosti při chůzi. Rozdíly mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou ve výše zmíněných parametrech nebyly dostatečně výrazné a významně odlišná kloubní pasivita se neprojevila. Tato zjištění nejsou ve shodě s již zmiňovanou studií dospělých zdravých osob Tichého et al. (2012), kdy u pravorukých jedinců byl registrován nižší svalový tonus na nepreferované končetině v 90 % případů. Také výsledky práce Tichého a Běláčka (2008) podporují vztah mezi pravorukými jedinci a zvýšenou kloubní pasivitou na nepreferované končetině (dle Edinburghského dotazníku). Výzkumný soubor však tvořily děti ve věku 9 – 11 let a hodnocení kloubní pasivity probíhalo palpací, prohlídkou jednotlivých kloubů a pozorováním synkinézy horních končetin při chůzi (Tichý & Běláček, 2008). Zvýšenou kloubní pasivitu na nepreferované horní končetině (výsledky performančních testů) u pravorukých dětí ve věku 8 – 10 let potvrdila také práce Musálka et al. (2015). Kloubní pasivita byla hodnocena v zápěstí ve statické relaxované pozici s horní končetinou umístěnou v unilaterálním imobilizéru s využitím fotoskopické analýzy. Větší kloubní pasivitu autoři pozorovali u 95 % pravorukých dětí (Musalek et al., 2015).

Výsledky parametrů z padostroje týkající se kloubní pasivity dolních končetin nebyly v souladu s Hennerovou hypotézou obdobně, jako většina parametrů na zmíněné horní končetině. Rozdíl v době kyvu bérce byl minimální, ale zaznamenali jsme statisticky významně větší flexi v kolenním kloubu na preferované končetině (Cohenovo d = 0,58). Opačnou tendenci popsali Tichý et. al (2012), kteří pozorovali nižší svalový tonus na nepreferované dolní končetině praváků v 65 % (Tichý et al., 2012).

2) Levorucí jedinci

V mírném souladu s Hennerovou hypotézou byla u horních končetin leváků flexe v loketním kloubu (na padostroji i při chůzi) a také časová délka kyvu předloktí. Proti Hennerově hypotéze byly parametry rozkyvu pažní kosti při chůzi. Ani v případě horních končetin leváků rozdíly mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou neukázaly na významně odlišnou kloubní pasivitu končetin. Tato zjištění tentokrát podporují výsledky Tichého et al. (2012). Z jejich výzkumného souboru mělo pouze 50 % vyšetřovaných leváků nižší svalový tonus na nepreferované horní končetině (Tichý et al., 2012). Také studie Tichého et al. (2008) popisuje vysokou variabilitu výsledků v případě levorukých jedinců (Tichý & Běláček, 2008).

Oba parametry pozorované na dolních končetinách leváků byly v souladu s Hennerovou hypotézou. Statisticky významná se však ukázala pouze flexe v kolenním kloubu, kdy nepreferovaná končetina dosáhla významně větší flexe $p < 0,05$. Výsledky Tichého et al. (2012) nepoukázaly na významný rozdíl ve svalovém tonu mezi preferovanou a nepreferovanou dolní končetinou leváků.

Domníváme se, že příčinou, proč se naše zjištění neshodují s výsledky ostatních studií, může být zejména charakter výzkumného souboru. Probandi v naší studii byli výhradně aktivními sportovci, kteří se věnují mnoha různorodým individuálním i kolektivním sportům a to především na výkonnostní či vrcholové úrovni. Je možné, že mozeček je v průběhu ontogeneze jedince značně adaptabilní a přizpůsobuje se požadované funkci. Svalový tonus by tedy mohl být mozečkem upravován na základě dlouhodobě působících podnětů z vnějšího prostředí. Tímto iniciátorem může být například často provozovaná pohybová aktivita nebo sportovní trénink. Předpokládáme, že vysoké procento nižší kloubní pasivity na nepreferované horní končetině u pravorukých dětí popsané Musálkem et al. (2015), je důsledkem menšího dopadu vnějšího prostředí na dětský organismus. Tato flexibilita mozečku by mohla být zásadní v otázce motorického učení. Výsledky této práce by proto mohly být důležitým zdrojem informací pro další výzkum mozečkové dominance v procesu motorického učení a jejího vztahu k motorickým projevům laterality. Přínos práce lze spatřit také v použité metodě hodnocení kloubní pasivity končetin, kde jsme přispěli k objektivizaci dosud používané metody a vytyčili jsme nový model měření.

6.1 Limity studie

Jsme si vědomi, že jedním z limitů této práce je velikost výzkumného souboru. Přesto, že jsme oslovili velký počet potenciálních probandů, nepodařilo se nám zajistit více jedinců ochotných podrobit se časově poměrně náročnému testování. Nebylo možné také zajistit absolutní anamnézu zdravotního stavu. Probandi byli pouze dotazováni na prodělané úrazy končetin, ale například poškození pohybového aparátu, o kterých si testovaný subjekt není vědom, nebo zranění, která nám nesdělil, mohli negativně ovlivnit výsledky měření. Dokonale jsme nezajistili také umístění probanda na lehátko. To jsme prováděli pouze srovnáním podélné osy těla na střed lehátka pomocí značky a pohledem. Vhodnější by bylo použít kalibrované měřidlo a měřit vzdálenost lokte či kolenního kloubu od středu lehátka.

Za zásadní faktor, který mohl měření ovlivnit, považujeme volní ovlivnění pádů končetin zejména při testování na padostroji. Absenci volního ovlivnění jsme ovšem mohli zajistit pouze důkladnou instruktáží a několika přípravnými pokusy. Pro další případné výzkumy v této oblasti by bylo vhodné minimalizovat míru volního ovlivnění.

7 ZÁVĚR

V této diplomové práci jsme se zabývali vztahem mezi projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu na horních i dolních končetinách a lateralitou člověka.

Na základě výsledků na sloučeném souboru všech probandů nemůžeme říci, že na nepreferované horní i dolní končetině je významně vyšší kloubní pasivita. Vypočítaný tetrachorický korelační koeficient r = 0,54 také naznačuje, že vztah mezi směrem kloubní pasivity preferované horní a dolní končetiny je slabý. Což ukazuje na pravděpodobnou přítomnost množství kovariačních proměnných, které do hypotézy Hennera vstupují a v této práci nebyly odhaleny.

Analýza dat na separovaném souboru, zvlášť pro pravoruké a levoruké jedince, zaznamenala u praváků a leváků protichůdný směr sledovaných úhlových a časových parametrů. Mírný nesoulad s vyslovenou hypotézou o nižším tonu na nepreferované končetině byl zjištěn u praváků, zatímco leváci byli spíše v souladu s hypotézou. Jediný pozorovaný parametr, u kterého se ukázal statisticky významný rozdíl mezi preferovanou a nepreferovanou končetinou, byl minimální úhel v kolenním kloubu dosažený po pádu bérce $p < 0,05$. U praváků byla hodnota statistické významnosti tohoto rozdílu ve směru kloubní pasivity proti Hennerově hypotéze (Cohenovo d = 0,58). V případě leváku byl tento rozdíl v tomto hodnoceném parametru také statisticky významný $p < 0,05$ (Cohenovo d = 0,46), ale v souladu s Henerovou hypotézou.

Z výsledků naší studie se při hodnocení kloubní pasivity na horních i dolních končetinách ukázalo, že na nepreferovaných končetinách není významně odlišná kloubní pasivita v porovnání s preferovanými. Je ale nutné brát v potaz specifika i velikost výzkumného souboru, ve kterém byli všichni probandi aktivní sportovci. Vztah mezi preferencí končetin a projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu na končetinách se tedy neukázal jako průkazný. I když se přikláníme k názoru Musálka et al. (2015), že pravá a levá mozečková hemisféra může řídit preferovanou a nepreferovanou končetinu odlišně, dle našeho názoru zde není možné aplikovat jednoduchou příčinnost, a to proto, že samotný

mozeček svou aktivitu pravděpodobně přizpůsobuje podmínkám a potřebám zevního prostředí.

REFERENČNÍ SEZNAM

Amunts, K. (2010). Structural indices of asymmetry. In K. Hugdahl & R. Westerhausen (Eds.), *The two halves of the brain : information processing in the cerebral hemispheres*. Cambridge, MA: MIT Press.

Annett, M. (1967). The binomial distribution of right, mixed and left handedness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 19*(4), 327-333.

Annett, M. (1970). A classification of hand preference by association analysis. *British Journal of Psychology, 61*(3), 303-321.

Annett, M. (1972). The distribution of manual asymmetry. *British Journal of Psychology, 63*(3), 343-358.

Annett, M. (1985). *Left, right, hand, and brain: The right shift theory*. London: L. Erlbaum Associates.

Annett, M. (2002). *Handedness and brain asymmetry: The right shift theory*: Hove, East Sussex: Psychology Press.

Apps, R., & Hawkes, R. (2009). Cerebellar cortical organization: a one-map hypothesis. *Nature Reviews Neuroscience, 10*(9), 670-681.

Auerbach, B. M., & Ruff, C. B. (2006). Limb bone bilateral asymmetry: variability and commonality among modern humans. *Journal of Human Evolution, 50*(2), 203-218.

Augustyn, C., & Peters, M. (1986). On the relation between footedness and handedness. *Perceptual and Motor Skills, 63*(3), 1115-1118.

Běláček, J., Tichý, J., & Dostálek, M. (2009). Refrakční vady u dětí z hlediska laterality a okulární dominance - case study. *MEDSOFT: sborník příspěvků*, 1-6.

Bell, J., & Gabbard, C. (2000). Foot preference changes through adulthood. *Laterality, 5*(1), 63-68.

Beukelaar, L. J., & Kroonenberg, P. M. (1983). Towards a conceptualization of hand preference. *British Journal of Psychology, 74*(1), 33.

Bever, T. G., & Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science, 185*(4150), 537-539.

Bradshaw, J. L., & Rogers, L. J. (1996). Tool use and the evolutionary development of manual asymmetry. In D. Elliott & E. A. Roy (Eds.), *Manual asymmetries in motor performance*. Florida, FL: CRC.

Brancucci, A. (2010). Electroencephalographic and magnetoencephalographic indices od hemispheric asymmetry. In H. Kenneth & R. Westerhausen (Eds.), *The two halves of the brain : information processing in the cerebral hemispheres*. Cambridge, MA: MIT Press.

Bryden, M. P. (1977). Measuring handedness with questionnaires. *Neuropsychologia, 15*(4-5), 617-624.

Bryden, M. P. (1982). *Laterality functional asymmetry in the intact brain*. New York, NY: Academic Press.

Bryden, M. P., & Lorin, J. E. (1998). Footedness is a better predictor of language lateralisation than handedness. *Laterality, 3*(1), 41-52.

Bryden, M. P., MacRae, L., & Steenhuis, R. E. (1991). Hand preference in school children. *Developmental Neuropsychology, 7*(4), 477-486.

Bryden, P. J. (2000). Lateral preference, skilled behaviour and task complexicity: Hand and foot. In M. K. Mandal, M. B. Bulman-Fleming & G. Tiwari (Eds.), *Side bias: A neuropsychological perspective* (pp. 225-248). Dordrecht: Kluwer academic publishers.

Bryden, P. J., Pryde, K. M., & Roy, E. A. (2000). A developmental analysis of the relationship between hand preference and performance: II. A performance-based method of measuring hand preference in children. *Brain and Cognition, 43*(1-3), 60-64.

Bryden, P. J., Roy, E. A., & Spence, J. (2007). An observational method of assessing handedness in children and adults. *Developmental Neuropsychology, 32*(3), 825-846.

Cavill, S., & Bryden, P. J. (2003). Development of handedness: Comparison of questionnaire and performance-based measures of preference. *Brain and Cognition, 53*(2), 149-151.

Corballis, M. C. (2010a). Handedness and cerebral asymmetry: An evolutionary perspective. In K. Hugdahl & R. Westerhausen (Eds.), *The two halves of the brain: Information processing in the cerebral hemispheres* (pp. 65-88). Cambridge, MA: MIT press.

Corballis, M. C. (2010b). Visions of the split brain. *New Zealand Journal of Psychology, 39*(1), 5-7.

Coren, S. (1992). *The left-hander syndrome: The causes and consequences of left-handedness*. New York, NY: Free Press.

Coren, S. (1993). The Lateral Preference Inventory for measurement of handedness, footedness, eyedness, and earedness: Norms for young adults. *Bulletin of the Psychonomic Society, 31*(1), 1-3.

Corey, D. M., Hurley, M. M., & Foundas, A. L. (2001). Right and left handedness defined: A multivariate approach using hand preference and hand performance measures. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, & Behavioral Neurology, 14*(3), 144-152.

Cornish, I. C., & Mcmanus, M. K. (1997). Commentary fractionating handedness in mental retardation: What is the role of the cerebellum? *Laterality, 2*(2), 81-90.

Cristofolini, L., Baleani, M., Schileo, E., Van Sint Jan, S., Juszczyk, M. M., ÖHman, C., . . . Viceconti, M. (2014). Differences between contralateral bones of the human lower limbs: A multiscale investigation. *Journal of Mechanics in Medicine & Biology, 14*(3), -1.

Crovitz, H. F., & Zener, K. (1962). A group-test for assessing hand- and eye-dominance. *The American Journal of Psychology, 75*(2), 271-276.

Čihák, R., Rastislav, D., & Grim, M. (2004). *Anatomie 3* (2nd ed.). Praha: Grada Publishing.

Daly, R. M., Saxon, L., Turner, C. H., Robling, A. G., & Bass, S. L. (2004). The relationship between muscle size and bone geometry during growth and in response to exercise. *BONE, 34*(2), 281.

Dargent-Paré, C., De Agostini, M., Mesbah, M., & Dellatolas, G. (1992). Foot and eye preferences in adults: Relationship with handedness, sex and age. *Cortex, 28*(3), 343-351.

Day, L. B., & MacNeilage, P. F. (1996). Postural asymmetries and language lateralization in humans (Homo sapiens). *Journal of Comparative Psychology, 110*(1), 88-96.

Dispenza, J. (2007). *Evolve your brain: The science of changing your mind*. Florida, FL: HCI.

Doidge, N. (2011). *Váš mozek se dokáže změnit* (1st ed.). Brno: Computer Press.

Dorsaint-Pierre, R., Penhune, V. B., Watkins, K. E., Neelin, P., Lerch, J. P., Bouffard, M., & Zatorre, R. J. (2006). Asymmetries of the planum temporale and Heschl's

gyrus: Relationship to language lateralization. *Brain: A Journal of Neurology, 129*(5), 1164-1176.

Dragovic, M., & Hammond, G. (2007). A classification of handedness using the Annett Hand Preference Questionnaire. *British Journal of Psychology, 98*(3), 375-387.

Drake, R. L., Vogl, W., Mitchell, A. W. M., Gray, H., & Gray, H. (2005). *Gray's anatomy for students* (Vol. 1). Philadelphia, PA: Churchill Livingstone/Elsevier.

Duff, S., & Sainburg, R. (2007). Lateralization of motor adaptation reveals independence in control of trajectory and steady-state position. *Experimental Brain Research, 179*(4), 551-561.

Dylevský, I. (2009). *Funkční anatomie*. Praha: Grada.

Eckert, M. A., Leonard, C. M., Possing, E. T., & Binder, J. R. (2006). Uncoupled leftward asymmetries for planum morphology and functional language processing. *Brain & Language, 98*(1), 102-111.

Economo, C., & Horn, L. (1930). Über windungsrelief, maße und rindenarchitektonik der supratemporalfläche, ihre individuellen und ihre Seitenunterschiede. *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie, 130*(1), 678-757.

Elišková, M., & Naňka, O. (2006). *Přehled anatomie*. Praha: Karolinum.

Falk, D., Hildebolt, C., Cheverud, J., Kohn, L. A. P., Figiel, G., & Vannier, M. (1991). Human cortical asymmetries determined with 3D MR technology. *Journal of Neuroscience Methods, 39*(2), 185-191.

Fan, L., Tang, Y., Sun, B., Gong, G., Chen, Z. J., Lin, X., . . . Liu, S. (2010). Sexual dimorphism and asymmetry in human cerebellum: An MRI-based morphometric study. *Brain Research, 1353*, 60-73.

Foundas, A. L., Leonard, C. M., Gilmore, R., Fennell, E., & Heilman, K. M. (1994). Planum temporale asymmetry and language dominance. *Neuropsychologia, 32*(10), 1225-1231.

Frost, J. A., Binder, J. R., Springer, J. A., Hammeke, T. A., Bellgowan, P. S. F., Rao, S. M., & Cox, R. W. (1999). Language processing is strongly left lateralized in both sexes. Evidence from functional MRI. *Brain: A Journal of Neurology, 122*(2), 199-208.

Fung, I. C. (1990). *Biomechanics: Motion, Flow, Stress, and Growth*. New York, NY: Springer-Verlag.

Gabbard, C., & Hart, S. (1996). A question of foot dominance. *Journal of General Psychology, 123*(4), 289-296.

Gabbard, C., & Iteya, M. (1996). Foot laterality in children, adolescents, and adults. *Laterality, 1*(3), 199-206.

Galaburda, A. M., & Sanides, F. (1980). Cytoarchitectonic organization of the human auditory cortex. *The Journal of Comparative Neurology, 190*(3), 597-610.

Galaburda, A. M., Sanides, F., & Geschwind, N. (1978). Human brain: Cytoarchitectonic left-right asymmetries in the temporal speech region. *Archives of Neurology, 35*(12), 812-817.

Ganea, D., Mereuta, E., & Mereuta, C. (2013). Kinematic analysis of the human gait. *Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: Fascicle II, Mathematics, Physics, Theoretical Mechanics, 36*(1), 76-82.

Geschwind, N. (1970). The organization of language and the brain: Language disorders after brain damage help in elucidating the neural basis of verbal behavior. *Science, 170*(3961), 940-944.

Geschwind, N., & Galaburda, A. M. (1985). Cerebral lateralization: Biological mechanisms, associations, and pathology: i. a hypothesis and a program for research. *Archives of Neurology, 42*(5), 428-459.

Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain: Left-right asymmetries in temporal speech region. *Science, 161*(3837), 186-187.

Gilat, G. (1990). On the quantification of asymmetry in nature. *Foundations of Physics Letters, 3*(2), 189-196.

Goble, D. J., & Brown, S. H. (2008). The biological and behavioral basis of upper limb asymmetries in sensorimotor performance. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 32*(3), 598-610.

Goldberg, E. (2004). *Jak nás mozek civilizuje. Čelní laloky a řídící funkce mozku* (Vol. 1). Praha: Karolinum.

Goldberg, E., & Costa, L. D. (1981). Hemisphere differences in the acquisition and use of descriptive systems. *Brain and Language, 14*(1), 144-173.

Good, C. D., Johnsrude, I., Ashburner, J., Henson, R. N. A., Friston, K. J., & Frackowiak, R. S. J. (2001). Cerebral asymmetry and the effects of sex and handedness on brain structure: A voxel-based morphometric analysis of 465 normal adult human brains. *NeuroImage, 14*(3), 685-700.

Gundersen, L. A., Valle, D. R., Barr, A. E., Danoff, J. V., Stanhope, S. J., & Snyder-Mackler, L. (1989). Bilateral analysis of the knee and ankle during gait: an examination of the relationship between lateral dominance and symmetry. *Physical Therapy, 69*(8), 640-650.

Gut, M., Urbanik, A., Forsberg, L., Binder, M., Rymarczyk, K., Sobiecka, B., . . . Grabowska, A. (2007). Brain correlates of right-handedness. *Acta Neurobiologiae Experimentalis, 67*(1), 43-51.

Haapasalo, H., Sievanen, H., Kannus, P., Heinonen, A., Oja, P., & Vuori, I. (1996). Dimensions and estimated mechanical characteristics of the humerus after long-term tennis loading. *Journal of Bone and Mineral Research, 11*(6), 864-872.

Habib, M., Robichon, F., Levrier, O., Khalil, R., & Salamon, G. (1995). Diverging asymmetries of temporo-parietal cortical areas: A reappraisal of geschwind/galaburda theory. *Brain and Language, 48*(2), 238-258.

Harris, A. J. (1957). Lateral dominance, directional confusion, and reading disability. *The Journal of Psychology, 44*(2), 283-294.

He, Y., Zang, Y., Jiang, T., Gong, G., Xie, S., & Xiao, J. (2006). Handedness-related functional connectivity using low-frequency blood oxygenation level-dependent fluctuations. *NeuroReport: For Rapid Communication of Neuroscience Research, 17*(1), 5-8.

Hellige, J. B. (2001). *Hemispheric asymmetry : what's right and what's left*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Hendl, J. (2009). *Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat* (Vol. 4th). Praha: Portál.

Hendrickson, J., Patterson, K. K., Inness, E. L., McIlroy, W. E., & Mansfield, A. (2014). Relationship between asymmetry of quiet standing balance control and walking post-stroke. *Gait & Posture, 39*(1), 177-181.

Henner, K. (1927). *Příznaky vznikající z nadměrné činnosti mozečku*. Praha: Kamil Henner.

Henner, K. (1936). *Všeobecná diagnostika chorob mozečkových*. Praha: Bursík & Kohout.

Henson, R., Shallice, T., & Dolan, R. (2000). Neuroimaging evidence for dissociable forms of repetition priming. *Science, 287*(5456), 1269.

Hepper, P. G. (2013). The developmental origins of laterality: Fetal handedness. *Developmental Psychobiology, 55*(6), 588-595.

Hepper, P. G., McCartney, G. R., & Shannon, E. A. (1998). Lateralised behaviour in first trimester human foetuses. *Neuropsychologia, 36*(6), 531-534.

Hepper, P. G., Shahidullah, S., & White, R. (1991). Handedness in the human fetus. *Neuropsychologia, 29*(11), 1107-1111.

Hepper, P. G., Wells, D. L., & Lynch, C. (2005). Prenatal thumb sucking is related to postnatal handedness. *Neuropsychologia, 43*(3), 313-315.

Hintze, J. (2007). NCSS 2007. NCSS, LLC. Kaysville, Utah, USA. ww.ncss.com.

Hochberg, F. H., & LeMay, M. (1975). Arteriographic correlates of handedness. *Neurology, 25*(3), 118.

Holloway, R. L. (1981). Volumetric and asymmetry determinations on recent hominid endocasts: Spy I and II, Djebel Ihroud I, and the Sale Homo erectus specimens, with some notes on Neanderthal brain size. *American Journal Of Physical Anthropology, 55*(3), 385-393.

Hopkins, W. D., Hook, M., Braccini, S., & Schapiro, S. J. (2003). Population-level right handedness for a coordinated bimanual task in chimpanzees: Replication and extension in a second colony of apes. *International Journal of Primatology, 24*(3), 677.

Hopkins, W. D., & Pearson, K. (2000). Chimpanzee (pan troglodytes) handedness: Variability across multiple measures of hand use. *Journal of Comparative Psychology, 114*(2), 126-135.

Hu, D., Shen, H., & Zhou, Z. (2008). Functional asymmetry in the cerebellum: A brief review. *The Cerebellum, 7*(3), 304-313.

Hugdahl, K. (2005). Symmetry and asymmetry in the human brain. *European Review, 13*(SupplementS2), 119-133.

Hugdahl, K., & Davidson, R. J. (2003). *The asymmetrical brain*. Cambridge, MA: MIT Press.

Hugdahl, K., & Westerhausen, R. (2010). *The two halves of the brain : information processing in the cerebral hemispheres*. Cambridge, MA: MIT Press.

Humphrey, M. (1951). *Handedness and cerebral dominance*. B.Sc. Thesis: Oxford University.

Ianc, D. (2012). Architectural adaptation of bone to mechanical loading. *Adaptările arhitecturale ale osului la stimuli mecanici., 13*(2), 143-148.

Ida, Y., Mandal, M. K., & Bryden, M. P. (2000). Factor structures of hand preference questionnaires. In M. B. Bulman-Fleming, M. K. Mandal & G. Tiwari (Eds.), *Side Bias: A Neuropsychological Perspective* (pp. 175-190). Dodrecht: Kluwer academic publishers.

Idowu, O. E., Soyemi, S., & Atobatele, K. (2014). Morphometry, asymmetry and variations of the sylvian fissure and sulci bordering and within the pars triangularis and pars operculum: An autopsy study. *Journal of Clinical & Diagnostic Research, 8*(11), 11-14.

Ireland, A., Maden-Wilkinson, T., McPhee, J., Cooke, K., Narici, M., Degens, H., & Rittweger, J. (2013). Upper limb muscle-bone asymmetries and bone adaptation in elite youth tennis players. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 45*(9), 1749-1758.

Ito, M. (2012). *The cerebellum: Brain for an implicit self*. Upper Saddle River, NJ: FT Press.

James, J. S., Kumari, S. R., Sreedharan, R. M., Thomas, B., Radhkrishnan, A., & Kesavadas, C. (2015). Analyzing functional, structural, and anatomical correlation of hemispheric language lateralization in healthy subjects using

functional MRI, diffusion tensor imaging, and voxel-based morphometry. *Neurology India, 63*(1), 49-57.

Jäncke, L., Specht, K., Mirzazade, S., & Peters, M. (1999). The effect of finger-movement speed of the dominant and the subdominant hand on cerebellar activation: A functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage, 9*(5), 497-507.

Johnson, L. N. (2005). Asymmetry at the molecular level in biology. *European Review, 13*(Supplement S2), 77-95.

Kábrt, J., Kucharský, P., Schams, R., Vránek, Č., Wittichová, D., & Zelinka, V. (2001). *Latinsko-český slovník*. Praha: Leda.

Kearns, C. F., Isokawa, M., & Abe, T. (2001). Architectural characteristics of dominant leg muscles in junior soccer players. *European Journal of Applied Physiology, 85*(3/4).

Kertesz, A., Black, S. E., Polk, M., & Howell, J. (1986). Cerebral asymmetries on magnetic resonance imaging. *Cortex, 22*(1), 117-127.

Kirk, R. E. (1996). Practical significance: a concept whose time has come. *Educational and Psychological Measurement, 56*(5), 746-759.

Koeneke, S., Lutz, K., Herwig, U., Ziemann, U., & Jäncke, L. (2006). Extensive training of elementary finger tapping movements changes the pattern of motor cortex excitability. *Experimental Brain Research, 174*(2), 199-209.

Koukolík, F. (2012). *Lidský mozek: funkční systémy, norma a poruchy* (3rd ed.). Praha: Galén.

Koukolík, F. (2014). *Mozek a jeho duše* (4th ed.). Praha: Galén.

Kuhtz-Buschbeck, J. P., Brockmann, K., Gilster, R., Koch, A., & Stolze, H. (2008). Asymmetry of arm-swing not related to handedness. *Gait & Posture, 27*(3), 447-454.

Latimer, H. B., & Lowrance, E. W. (1965). Bilateral asymmetry in weight and in length of human bones. *The Anatomical Record, 152*(2), 217-224.

LeMay, M. (1976). Morphological cerebral asymmetries of modern man, fossil man, and nonhuman primate. *Annals of the New York Academy of Sciences, 280*(1), 349-366.

Leonard, C. M., Eckert, M. A., Lombardino, L. J., Oakland, T., Kranzler, J., Mohr, C. M., . . . Freeman, A. (2001). Anatomical risk factors for phonological dyslexia. *Cerebral Cortex, 11*(2), 148-157.

Luft, A. R., Skalej, M., Stefanou, A., Klose, U., & Voight, K. (1998). Comparing motion- and imagery-related activation in the human cerebellum: A functional MRI study. *Human Brain Mapping, 6*(2), 105-113.

Luft, A. R., Skalej, M., Welte, D., Kolb, R., Biirk, K., Schulz, J. B., . . . Voigt, K. (1998). A new semiautomated, three-dimensional technique allowing precise quantification of total and regional cerebellar volume using MRI. *Magnetic Resonance in Medicine, 40*(1), 143-151.

Macho, G. (1991). Morphological asymmetries in Southern African populations. Further evidence for lateralization. *International Journal of Anthropology, 6*(3), 215-229.

Manning, L., & Thomas-Antérion, C. (2011). Marc Dax and the discovery of the lateralisation of language in the left cerebral hemisphere. *Rev Neurol, 167*(12), 868-872.

Marie, D., Jobard, G., Crivello, F., Perchey, G., Petit, L., Mellet, E., . . . Tzourio-Mazoyer, N. (2015). Descriptive anatomy of Heschl's gyri in 430 healthy

volunteers, including 198 left-handers. *Brain Structure & Function, 220*(2), 729-743.

Marshall, J. C., & Fink, G. R. (2003). Cerebral localization, then and now. *NeuroImage, 20, Supplement 1*(0), S2-S7.

Martin, A., Wiggs, C. L., & Weisberg, J. (1997). Modulation of human medial temporal lobe activity by form, meaning and experience. *Hippocampus, 7*(6), 587-593.

Marzi, C. A., & Berlucchi, G. (1977). Right visual field superiority for accuracy of recognition of famous faces in normals. *Neuropsychologia, 15*(6), 751-756.

Masato, H., Shinji, K., Takuya, M., Kazumasa, U., Shusaku, F., & Kozo, F. (2014). Long-term practice induced plasticity in the primary motor cortex innervating the ankle flexor in football juggling experts. *Motor Control, 18*(3), 310-321.

Matějček, Z., & Žlab, Z. (1972). Zkouška laterality. *Psychodiagnostické & didaktické testy, 3-13*.

Maupas, E., Paysant, J., Martinet, N., & André, J. M. (1999). Asymmetric leg activity in healthy subjects during walking, detected by electrogoniometry. *Clinical Biomechanics, 14*(6), 403-411.

May, M. L., & Kido, D. K. (1978). Asymmetries of the cerebral hemispheres on computed tomograms. *Journal of Computer Assisted Tomography, 2*(4).

McManus, C. (2002). *Right hand, left hand: the origin of asymmetry in brains, bodies, atoms and cultures*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

McManus, C., & Bryden, M. P. (1992). The genetics of handedness, cerebral dominance, and lateralization. In I. Rapin, S. J. Segalowitz, I. Rapin & S. J. Segalowitz (Eds.), *Handbook of neuropsychology, Vol. 6.* (pp. 115-144). New York, NY, US: Elsevier Science.

Mohr, C., Thut, G., Landis, T., & Brugger, P. (2003). Hands, arms, and minds: Interactions between posture and thought. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 25*(7), 1000-1010.

Musálek, M. (2013). *Development of test batteries for diagnostics of motor laterality manifestation – link between cerebellar dominance and hand performance*. Praha: Karolinum.

Musalek, M., Scharoun, S. M., & Bryden, P. J. (2015). The link between cerebellar dominance and skilled hand performance in 8–10-year-old right-handed children. *Journal of Motor Behavior, 47*(5), 386-396.

Muthén, L. K., & Muthén, B. O. (2010). *Mplus : statistical analysis with latent variables : User's Guide*. Los Angeles, CA: Muthén & Muthén.

Nisbett, R. E., & Wilson, T. D. (1977). Telling more than we can know: Verbal reports on mental processes. *Psychological Review, 84*(3), 231-259.

Nolte, J. (2009). *The human brain: An introduction to its functional anatomy* (6th ed.). Philadelphia, PA: Mosby/Elsevier.

Nowinski, W. (2011). Introduction to brain anatomy. In K. Miller (Ed.), *Biomechanics of the brain* (pp. 5-40). New York, NY: Springer.

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia, 9*(1), 97-113.

Õunpuu, S., & Winter, D. A. (1989). Bilateral electromyographical analysis of the lower limbs during walking in normal adults. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 72*(5), 429-438.

Penfield, W., & Boldrey, E. (1937). Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain: A Journal of Neurology, 60*, 389-443.

Penfield, W., & Rasmussen, T. (1950). *The cerebral cortex of man*. New Yourk, NY: Macmillan Copmany.

Penhune, V. B., Zatorre, R. J., MacDonald, J. D., & Evans, A. C. (1996). Interhemispheric anatomical differences in human primary auditory cortex: Probabilistic mapping and volume measurement from magnetic resonance scans. *Cerebral Cortex, 6*(5), 661-672.

Perttunen, J. R., Anttila, E., Södergård, J., Merikanto, J., & Komi, P. V. (2004). Gait asymmetry in patients with limb length discrepancy. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 14*(1), 49-56.

Peters, M. (1988). Footedness: Asymmetries in foot preference and skill and neuropsychological assessment of foot movement. *Psychological Bulletin, 103*(2), 179-192.

Peters, M. (1998). Description and validation of a flexible and broadly usable handedness questionnaire. *Laterality, 3*(1), 77-96.

Peters, M., & Durding, B. (1979). Left-handers and right-handers compared on a motor task. *Journal of Motor Behavior, 11*(2), 103-111.

Peters, M., & Durding, B. M. (1978). Handedness measured by finger tapping: A continuous variable. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie, 32*(4), 257-261.

Plaitakis, A. (1992). Classification and epidemiology of cerebellar degenerations. In A. Plaitakis (Ed.), *Cerebellar Degenerations: Clinical Neurobiology* (Vol. 2, pp. 185-204). New York, NY: Springer.

Plochocki, J. H. (2004). Bilateral variation in limb articular surface dimensions. *American Journal of Human Biology, 16*(3), 328-333.

Polk, J., & Rosengren, K. (2010). Asymmetry, limb dominance and foot orientation during walking gait. *Conference Proceedings of the Annual Meeting of the American Society of Biomechanics*, 882-883.

Powell, H. W. R., Parker, G. J. M., Alexander, D. C., Symms, M. R., Boulby, P. A., Wheeler-Kingshott, C. A. M., . . . Duncan, J. S. (2006). Hemispheric asymmetries in language-related pathways: A combined functional MRI and tractography study. *NeuroImage, 32*(1), 388-399.

Pujol, J., Deus, J., Losilla, J. M., & Capdevila, A. (1999). Cerebral lateralization of language in normal left-handed people studies by functional MRI. *Neurology, 52*(5), 1038-1043.

Rademacher, J., Caviness, V. S., Steinmetz, H., & Galaburda, A. M. (1993). Topographical variation of the human primary cortices: Implications for neuroimaging, brain mapping, and neurobiology. *Cerebral Cortex, 3*(4), 313-329.

Rasmussen, T., & Milner, B. (1977). The role of early left-brain injury in determining lateralization of cerebral speech functions. *Annals of the New York Academy of Sciences, 299*(1), 355-369.

Riley, T. L., Ray, W. F., & Massey, E. W. (1977). Gait mechanisms: asymmetry of arm motion in normal subjects. *Military Medicine, 142*(6), 467-468.

Rosenbaum, D. A. (2010). *Human Motor Control*. San Diego, CA: Academic Press.

Rosenkranz, K., Williamon, A., & Rothwell, J. C. (2007). Motorcortical excitability and synaptic plasticity is enhanced in professional musicians. *The Journal of Neuroscience, 27*(19), 5200-5206.

Roy, E. A., & Elliott, D. (1986). Manual asymmetries in visually directed aiming. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie, 40*(2), 109-121.

Sadeghi, H., Allard, P., & Duhaime, M. (1997). Functional gait asymmetry in able-bodied subjects. *Human Movement Science, 16*(2/3), 243-258.

Sainburg, R. L. (2002). Evidence for a dynamic-dominance hypothesis of handedness. *Experimental Brain Research, 142*(2), 241-258.

Sainburg, R. L. (2005). Handedness: differential specializations for control of trajectory and position. *Exercise and sport sciences reviews, 33*(4), 206-213.

Sanes, J. N., & Donoghue, J. P. (2000). Plasticity and primary motor cortex. *Annual Review of Neuroscience, 23*(1), 393-415.

Sanes, J. N., Donoghue, J. P., Thangaraj, V., Edelman, R. R., & Warach, S. (1995). Shared neural substrates controlling hand movements in human motor cortex. *Science, 268*(5218), 1775-1777.

Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Olmedillas, H., Serrano-Sanchez, J. A., & Calbet, J. A. L. (2010). Bone and lean mass inter-arm asymmetries in young male tennis players depend on training frequency. *European Journal of Applied Physiology, 110*(1), 83-90.

Sanchis-Moysi, J., Idoate, F., Serrano-Sanchez, J. A., Dorado, C., & Calbet, J. A. L. (2012). Muscle hypertrophy in prepubescent tennis players: A segmentation MRI study. *PLoS ONE, 7*(3), 1-7.

Shabbott, B. A., & Sainburg, R. L. (2008). Differentiating between two models of motor lateralization. *Journal of Neurophysiology, 100*(2), 565-575.

Shadmehr, R., & Holcomb, H. H. (1997). Neural correlates of motor memory consolidation. *Science, 277*(5327), 821-825.

Shapleske, J., Rossell, S. L., Simmons, A., David, A. S., & Woodruff, P. W. R. (2001). Are auditory hallucinations the consequence of abnormal cerebral lateralization? A morphometic MRI study of the sylvian fissure and planum temporale. *Biological Psychiatry, 49*(8), 685-693.

Schachter, S. C. (2000). The quantification and definition of handedness: Implications for handedness research. In M. K. Mandal, M. B. Bulman-Fleming & G. Tiwari (Eds.), *Side Bias: A Neuropsychological Perspective* (pp. 155-174). Dordrecht: Kluwer academic publishers.

Snyder, P. J., Bilder, R. M., Wu, H., Bogerts, B., & Lieberman, J. A. (1995). Cerebellar volume asymmetries are related to handedness: A quantitative MRI study. *Neuropsychologia, 33*(4), 407-419.

Soumar, L. (2011). *Kinematická analýza*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně.

Sovák, M. (1955). Pedagogický význam laterality. *Pedagogika: časopis pro vědy o vzdělání a výchově, 5,* 388-395.

Sperry, R. W. (1968). Hemisphere deconnection and unity in conscious awareness. *American Psychologist, 23*(10), 723-733.

Springer, J. A., Binder, J. R., Hammeke, T. A., Swanson, S. J., Frost, J. A., Bellgowan, P. S. F., . . . Mueller, W. M. (1999). Language dominance in neurologically normal and epilepsy subjects: A functional MRI study. *Brain: A Journal of Neurology, 122*(11), 2033-2046.

Standring, S. (2008). *Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice* (40th ed.). Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone.

Steenhuis, R. E., & Bryden, M. P. (1989). Different dimensions of hand preference that relate to skilled and unskilled activities. *Cortex: A Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior, 25*(2), 289-304.

Steenhuis, R. E., & Bryden, M. P. (1999). The relation between hand preference and hand performance: What you get depends on what you measure. *Laterality, 4*(1), 3-26.

Steenhuis, R. E., Bryden, M. P., Schwartz, M., & Lawson, S. (1990). Reliability of hand preference items and factors. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 12*(6), 921-930.

Steinmetz, H. (1996). Structure, function and cerebral asymmetry: In vivo morphometry of the planum temporale. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 20*(4), 587-591.

Strick, P. L., Dum, R. P., & Fiez, J. A. (2009). Cerebellum and nonmotor function. *Annual Review of Neuroscience, 32*, 413-434.

Szabó, C. Á., Lancaster, J. L., Xiong, J., Cook, C., & Fox, P. (2003). MR imaging volumetry of subcortical structures and cerebellar hemispheres in normal persons. *American Journal of Neuroradiology, 24*(4), 644-647.

Szesko, P. R., Gunning-Dixon, F., Ashtari, M., Snyder, P. J., Lieberman, J. A., & Bilder, R. M. (2003). Reversed cerebellar asymmetry in men with first-episode schizophrenia. *Biological Psychiatry, 53*(5), 450-459.

Takao, H., Abe, O., Yamasue, H., Aoki, S., Sasaki, H., Kasai, K., . . . Ohtomo, K. (2011). Gray and white matter asymmetries in healthy individuals aged 21–29 years: A voxel-based morphometry and diffusion tensor imaging study. *Human Brain Mapping, 32*(10), 1762-1773.

Takao, H., Hayashi, N., & Ohtomo, K. (2013). White matter microstructure asymmetry: Effects of volume asymmetry on fractional anisotropy asymmetry. *Neuroscience, 231*, 1-12.

Tapley, S. M., & Bryden, M. P. (1985). A group test for the assessment of performance between the hands. *Neuropsychologia, 23*(2), 215-221.

Thach, W. T. (1996). On the specific role of the cerebellum in motor learning and cognition: Clues from PET activation and lesion studies in man. *Behavioral and Brain Sciences, 19*(3), 411-431.

Tichý, J., & Běláček, J. (2008). Pravo/levorukost a preference druhostranné dolní končetiny. Testování laterality a mozečkové dominance. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie : časopis českých a slovenských neurologů a neurochirurgů, 71/104*(5), 552-558.

Tichý, J., & Běláček, J. (2009). Laterality in children: cerebellar dominance, handedness, footedness and hair whorl. *Activitas Nervosa Superior Rediviva, 51*(1-2), 9-20.

Tichý, J., Běláček, J., Nykl, M., & Kaspříková, N. (2012). Stanovení mozečkové dominance podle asymetrie svalového tonu končetin. *Cesk Slov Neurol N, 75/108*(3), 334-343.

Toga, A. W., & Thompson, P. M. (2003). Mapping brain asymmetry. *Nat Rev Neurosci, 4*(1), 37-48.

Tommasi, L. (2009). Mechanisms and functions of brain and behavioural asymmetries. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 364*(1519), 855-859.

Triggs, W. J., Calvanio, R., Macdonell, R. A. L., Cros, D., & Chiappa, K. H. (1994). Physiological motor asymmetry in human handedness: Evidence from transcranial magnetic stimulation. *Brain Research, 636*(2), 270-276.

Trojan, S., Druga, R., & Pfeiffer, J. (1991). *Centrální mechanismy řízení motoriky: teorie, poruchy a léčebná rehabilitace* (2. ed.). Praha: Avicenum.

Volkmann, J., Schnitzler, A., Witte, O. W., & Freund, H. J. (1998). Handedness and asymmetry of hand representation in human motor cortex. *Journal of Neurophysiology, 79*(4), 2149-2154.

Vries, J. I., Visser, G. H., & Prechtl, H. F. (1985). The emergence of fetal behaviour: II. Quantitative aspects. *Early Human Development, 12*(2), 99-120.

Wang, J., & Sainburg, R. (2007). The dominant and nondominant arms are specialized for stabilizing different features of task performance. *Experimental Brain Research, 178*(4), 565-570.

Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomencomplex, eine psychologische Studie auf anatomischer Basis, von Dr. C. Wernicke*. Breslau: M. Cohn und Weigert.

Westerhausen, R., Kompus, K., & Hugdahl, K. (2014). Mapping hemispheric symmetries, relative asymmetries, and absolute asymmetries underlying the auditory laterality effect. *NeuroImage, 84*, 962-970.

Wey, H.-Y., Phillips, K. A., McKay, D. R., Laird, A. R., Kochunov, P., Davis, M. D., . . . Fox, P. T. (2014). Multi-region hemispheric specialization differentiates human from nonhuman primate brain function. *Brain Structure & Function, 219*(6), 2187-2194.

Wheelwright, E. F., Minns, R. A., Law, H. T., & Elton, R. A. (1993). Temporal and spatial parameters of gait in children. i: normal control data. *Developmental Medicine & Child Neurology, 35*(2), 102-113.

Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement* (4 ed.). Hoboken, NJ: Wiley.

Witelson, S. F., & Kigar, D. L. (1992). Sylvian fissure morphology and asymmetry in men and women: Bilateral differences in relation to handedness in men. *The Journal of Comparative Neurology, 323*(3), 326-340.

Yan, L., Wu, D., Wang, X., Zhou, Z., Liu, Y., Yao, S., & Hu, D. (2006). Intratask and intertask asymmetry analysis of motor function. *NeuroReport: For Rapid Communication of Neuroscience Research, 17*(11), 1143-1147.

Zilles, K., Dabringhaus, A., Geyer, S., Amunts, K., QÜ, M., Schleicher, A., . . . Steinmetz, H. (1996). Structural asymmetries in the human forebrain and the forebrain of non-human primates and rats. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 20*(4), 593-605.

Zverev, Y. P. (2006). Spatial parameters of walking gait and footedness. *Annals of Human Biology, 33*(2), 161-176.

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Čas (s) od vypuštění předloktí do jeho zastavení
Tabulka 2 Čas (s) od vypuštění bérce do jeho zastavení
Tabulka 3 Minimální úhel v loketním kloubu dosažený po pádu předloktí
Tabulka 4 Minimální úhel v kolenním kloubu dosažený po pádu bérce
Tabulka 5 Čas (s) od vypuštění předloktí do jeho zastavení – referenční hodnota ze součtu měření
Tabulka 6 Čas (s) od vypuštění bérce do jeho zastavení – referenční hodnota ze součtu měření
Tabulka 7 Minimální úhel v loketním kloubu dosažený při synkinéze horních končetin
Tabulka 8 Rozkyv pažní kosti při synkinéze horních končetin
Tabulka 9 Vztah mezi minimálním úhlem v loketním kloubu a rozkyvem pažní kosti při chůzi
Tabulka 10 Hodnoty všech sledovaných parametrů u horních končetin separátně pro leváky a praváky
Tabulka 11 Hodnoty všech sledovaných parametrů u dolních končetin separátně pro leváky a praváky

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Yakovlevian anticlokwise torque
Obrázek 2 Zařízení pro zkoumání vizuálních, hmatových, řečových a vztahových funkcí u chirurgicky separovaných hemisfér
Obrázek 3 Motorický homunculus
Obrázek 4 Zaznamenané trajektorie ramene (acromion), lokte a zápěstí u horních končetin jednoho z levorukých probandů při chůzi
Obrázek 5 Padostroj (vlastní fotodokumentace)
Obrázek 6 Grafické zobrazení dolních končetin v Qualisys Track Manager
Obrázek 7 Umístění markerů na těle

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Žádost o vyjádření etické komise

Příloha 2 Vzor informovaného souhlasu

Příloha 3 Selfreported dotazník

Příloha 4 Motorické úkoly pro vyhodnocení preference končetin

PŘÍLOHY

Příloha 1 Žádost o vyjádření etické komise

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE
FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU
José Martího 31, 162 52 Praha 6-Veleslavín
tel.: 220 171 111
http://www.ftvs.cuni.cz/

Žádost o vyjádření
etické komise UK FTVS

k projektu výzkumné, doktorské, diplomové (bakalářské) práce, zahrnující lidské účastníky

Název: Vztah mezi projevem mozečkové dominance v podobě fyziologického zánikového syndromu na horních i dolních končetinách a lateralitou člověka

Forma projektu: diplomová práce

Autor (hlavní řešitel): Adam Rybář

Školitel (v případě studentské práce): Mgr. Martin Musálek, Ph.D.

Popis projektu: Cílem projektu je zjišťování vztahu mezi projevem mozečkové dominance a lateralitou horních a dolních končetin. Ke zkoumání bude použita neinvazivní kinematická analýza řízených pádů horních a dolních končetin a chůze. Probandi budou také podrobeni jednoduchému testování laterality.

Zajištění bezpečnosti pro posouzení odborníky: Budou použity pouze jednoduché neinvazivní metody.

Etické aspekty výzkumu: K účasti na výzkumu nebudou přizváni žádné speciální populace, jako jsou děti, těhotné a kojící ženy, duševně nemocní, vězni a jedinci z málo rozvinutých komunit.

Informovaný souhlas (přiložen)

V Praze dne 17.2.2015 Podpis autora:

Vyjádření etické komise UK FTVS

Složení komise: Prof. Ing. Václav Bunc, CSc.
Prof. PhDr. Pavel Slepička, DrSc.
Doc. MUDr. Jan Heller, CSc.

Projekt práce byl schválen Etickou komisí UK FTVS pod jednacím číslem: 052/2015
dne: 19. 2. 2015

Etická komise UK FTVS zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodní směrnicemi pro provádění biomedicínského výzkumu, zahrnujícího lidské účastníky.

Řešitel projektu splnil podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

razítko školy UNIVERZITA KARLOVA v Praze Fakulta tělesné výchovy a sportu José Martího 31, 162 52, Praha 6 1

podpis předsedy EK

Příloha 2 Vzor informovaného souhlasu

Informovaný souhlas

Vážený pane/paní!

Rád bych Vás jako vhodného probanda požádal o účast ve výzkumu v rámci mé diplomové práce, jejichž cílem je zjišťování vztahu mezi projevem mozečkové dominance a lateralitou. Neinvazivní testování bude provedeno v laboratoři biomechaniky na Fakultě tělesné výchovy a sportu, UK, kde budete podroben kinematické analýze chůze, řízeným pádům horních a dolních končetin a jednoduchému testování laterality. Celková časová náročnost tohoto testování je 30 minut. Získaná data nebudou zneužita a osobní data nebudou zveřejněna

Souhlasím, s mojí účastí v kinantropologickém šetření v rámci diplomové práce Adama Rybáře, studenta Fakulty tělesné výchovy a sportu s cílem zjišťování vztahu mezi projevem mozečkové dominance a lateralitou.

Jméno účastníka výzkumu ……

V Praze dne…….. Podpis ……

Příloha 3 Selfreported dotazník

Věk:

Pohlaví:

Zranění: horní končetina…… dolní končetina……

A)

Dotazníková část:

1. **V které ruce držíte hřebík při zatloukání do podložky?**

   vždy v pravé ruce ☐ raději v pravé ruce ☐ nemám pro tuto činnost preferovanou ruku ☐
   raději v levé ruce ☐ vždy v levé ruce ☐

2. **V které ruce držíte gumu při gumování?**

   vždy v levé ruce ☐ raději v levé ruce ☐ nemám pro tuto činnost preferovanou ruku ☐
   raději v pravé ruce ☐ vždy v pravé ruce ☐

3. **V které ruce držíte zubní kartáček při čištění zubů?**

   vždy v levé ruce ☐ raději v levé ruce ☐ nemám pro tuto činnost preferovanou ruku ☐
   raději v pravé ruce ☐ vždy v pravé ruce ☐

4. **V které ruce držíte kuchyňský nůž při krájení ?**

   vždy v levé ruce ☐ raději v levé ruce ☐ nemám pro tuto činnost preferovanou ruku ☐
   raději v pravé ruce ☐ vždy v pravé ruce ☐

5. **V které ruce držíte klíče, když odemykáte dveře?**

   vždy v levé ruce ☐ raději v levé ruce ☐ nemám pro tuto činnost preferovanou ruku ☐
   raději v pravé ruce ☐ vždy v pravé ruce ☐

6. **Kterou nohou kopete do míče?**

   vždy levou nohou ☐ raději levou nohou ☐ nemám preferovanou nohu pro tuto činnost ☐
   raději pravou nohou ☐ vždy pravou nohou ☐

7. **Kterou dolní končetinu máte vepředu, když se chcete sklouznout ve stoje bez opory rukou?**

   vždy levou nohu ☐ raději levou nohu ☐ nemám preferovanou nohu pro tuto činnost ☐
   raději pravou nohu ☐ vždy pravou nohu ☐

Příloha 4 Motorické úkoly pro vyhodnocení preference končetin

Jméno: **Věk:** **Zranění:**

Horní končetiny

1. Hod míčkem na cíl

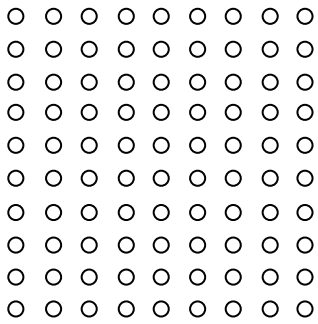
Výsledek:

2. Gumování čáry

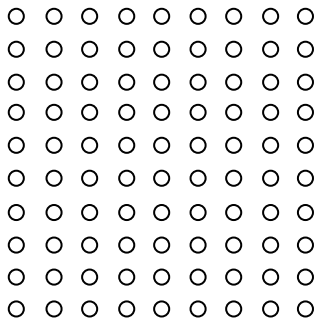
Výsledek:

3. Tečkování

Pole pro levou ruku – výsledek:



Pole pro pravou ruku – výsledek:



Dolní končetiny

4. Kop do míče

Výsledek:

5. Napsání písmene T

Výsledek:

6. Dvojitý obrat (360°)

Výsledek:

Oko

7. Oční dominance – zaostření na objekt přes vytvořené hledí

Výsledek:

8. Oční preference – pohled přes tubus na předmět

Výsledek: