

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav Fyzioterapie

ZÁVISLOST VIZUOMOTORICKÉ KOORDINACE NA LATERALITĚ HK

Diplomová práce

Autor: Bc. Zuzana Rýdlová,

Vedoucí práce: Mgr. Hana Měrková

Olomouc, 2016

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

Olomouc, 14.5.2017

.....
podpis

ANOTACE

Typ závěrečné práce: diplomová práce

Téma práce: Závislost vizuomotorické koordinace na lateralitě HK

Název práce: Závislost vizuomotorické koordinace na lateralitě HK

Název práce v AJ: Dependency of visuomotor coordination on laterality of upper arm

Datum zadání: 31.01.2016

Datum odevzdání: 15.5.2017

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických studií

Ústav fyzioterapie

Autor práce: Bc. Zuzana Rýdlová

Vedoucí práce: Mgr. Hana Měrková

Oponent práce: Mgr. Kateřina Wolfová

Rozsah: 101 stran

Abstrakt v ČJ:

POZADÍ: V diplomové práci jsme zkoumali leváctví jako fenomén a porovnávali performační výkonnost zdravých dospělých leváků a praváků v úkolech jemné motoriky. Pro posouzení této rozdílnosti jsme použili testování vyžadující vysokou koordinační schopnost, která je vedená vizuální zpětnou vazbou. Dále jsme zkoumali nepřímo související lateralitu hemisfér a její projevy v řízení motoriky. **METODIKA:** Vyšetřili jsme skupinu leváků (n=15) a praváků (n=15) testem typu hotwire, horký drát, pomocí aparátu AZ Labyrint. Dále jsme testovali na tomtéž aparátu Test rychlosti a na aparátu Hůlka jsme hodnotili test Klidové přesnosti. **VÝSLEDKY:** Performace preferovaných končetin leváků a praváků se neliší ani v jedné modalitě. Nenalzáme v našem 3D VMK úkolu (TP) výhodu pro systém pravá HK/levá hemisféra, který by byl nezávislý na rukovosti. Signifikantní rozdíl nalzáme pouze v rychlejším provedení TP u mužů vůči ženám. **ZÁVĚR:** Leváci a praváci dosahují srovnatelných výkonů v performaci svých preferovaných končetin a proto konstatujeme, že výkonnost ve vizuomotorickém úkolu není závislá na lateralitě HK. Nepodařilo se nám potvrdit existenci systému pravá HK/levá hemisféra v koordinačně náročném úkolu.

Abstrakt v AJ:

BACKGROUND: In diploma thesis we studied phenomenon of left-handedness. So we compared performance between healthy adult left-handers and right-handers in fine motor skill tasks. For assessment of the difference in visuomotor coordination performance we used the method requiring high coordination skill. Next we explored brain laterality and it's involvement in motor control. **METHODS:** We examined group of left-handers (n=15) and right-handers (n=15) in hotwire task using AZ Labyrinth apparatus. Than we measured Speed test on AZ Labyrinth and Accuracy test on Hůlka apparatus. **RESULTS:** Left-handers and right-handers do not differ in any modality of tasks that we assessed. In our 3D visuomotor task (hotwire task) we did not find an advantage for left brain/right hand system independent of handedness. There is significant result only in speed performance between men and women in sense of higher speed in men. **CONCLUSION:** Left-handers and right-handers are equal in performance of their preferred arms so we conclude that visuomotor performance is not dependent on hand laterality. We did not confirm left brain/right hand system advantage for highly coordinated task.

Klíčová slova v ČJ: lateralita, vizuomotorická koordinace, labyrint, systém pravá ruka/levá hemisféra, hypotéza dynamické dominance

Klíčová slova v AJ: laterality, visuomotor coordination, hotwire task, right hand/left brain system, dynamic dominance hypothesis

Poděkování

Jsem vděčná všem mým vedoucím práce, doc. Aloisu Krobotovi za zajímavé a složité téma, MUDr. Bronislavě Schusterové za velmi pozitivní podporu v tématu a Mgr. Haně Měrkové za přijetí vedení již rozepsané diplomky, za její toleranci ke všemu rozpracovanému i za její bryskní a trefné připomínky. Vděk cítím také k T. A. Reslovi, který mi pomohl s technickým zázemím a také k pánům z Elektra na Kateřinské, kteří mi neúnavně prodávali žárovičky a objímky do obvodu. Korekturní připomínky mi poskytla K. Musilová. Anglickou korekturu provedl Aashirwaad Mahajan. Všem Vám ze srdce děkuji.

Obsah

Úvod	8
1 Teoretická část	10
1.1 Lateralita	10
1.1.1 Lateralita horní končetiny (HK)	15
1.1.2 Lateralita mozkových hemisfér	19
1.2 Vizuomotorická koordinace	24
1.2.1 Neurofyziologický podklad - vizuomotorická integrace	25
1.2.2 Oblasti aktivace kortexu při VM úkolu	26
1.2.3 Testy vizuomotorické koordinace	30
1.3 Souvislost VM koordinace a laterality	30
1.3.1 Hypotéza dynamické dominance	31
1.3.2 Anatomické a funkční rozdíly mozku leváků a praváků	34
1.3.3 Nezávislost performace na lateralitě HK	36
2 Cíle a hypotézy	41
2.1 Cíl	41
2.2 Hypotézy	41
3 Metodika	44
3.1 Charakteristika souboru probandů	44
3.2 Metody výzkumu	44
3.2.1 Metody měření VMI	45
3.2.2 Metody měření laterality	47
3.3 Statistické zpracování	48
3.3.1 Úprava dat	49
3.3.2 Lateralita	49
3.3.3 VMK	49
3.4 Technické parametry	49
4 Výsledky	51
4.1 Popisné statistiky	51
4.2 Výsledky Hypotézy č.1	53

4.2.1	Subhypotéza č.2, Test přesnosti - čas	54
4.2.2	Korelace Testu přesnosti, čas x chyby	55
4.2.3	Subhypotéza č.3, Test rychlosti	55
4.2.4	Subhypotéza č.4, test Klidové přesnosti	56
4.3	Výsledky Hypotézy č.2	57
4.3.1	Subhypotéza č.6, Test přesnosti pro pravou a levou HK ve skupině leváků	58
4.3.2	Subhypotéza č.7, Test přesnosti pro pravou a levou HK ve skupině praváků	59
4.4	Hypotéza č.3	60
4.5	Doplňková měření	61
4.5.1	Test Přesnosti, rozdíl mezi muži a ženami	61
4.5.2	Rozdíl preferovaných a nepreferovaných končetin v závislosti na latera- litě HK	63
5	Diskuse	64
	Závěr	75
	Referenční seznam	77
	Seznam zkratk	96
	Seznam tabulek	97
	Seznam obrázků	98
	Příloha	99

Úvod

Člověk je vybaven nejvyspělejším exemplářem nervové soustavy - míchou a mozkiem s rozvitým kortexem. To mu dává mimo jiné možnost vysoké integrace senzorických vjemů, které je poté možné asociovat s motorickou kúrou a výsledným projevem efektoru, tedy motorickou aktivitou. Integrace probíhá ve složitých okruzích mozkové kúry, které je možné sledovat pomocí vyspělých zobrazovacích metod a interpretovat se znalostmi neurofyzologie a neuropsychologie. Na tomto místě se setkává více vědních oborů, je potřeba porozumět neurofyzologii mozkové aktivity, způsobu buněčné komunikace, tvorby asociačních spojení a v neposlední řadě také principu zpětnovazebných mechanismů.

Zpětná vazba je základním principem online úpravy pohybu. Díky ní je možné pohyb uzpůsobovat proměnlivým podmínkám vnějšího i vnitřního prostředí. Poskytuje nám neustálý tok informací o nás samotných i o dění v okolním světě, tudíž jsme schopní v případě potřeby, ať už vnější nebo naší vlastní, adekvátně reagovat. V této práci se budeme věnovat specifickému pohybu, který vyžaduje velmi přesnou spolupráci se zrakovou kontrolou. Jde o vysoce koordinované úkony jemné motoriky, jejichž preciznost řídí právě vizuální zpětná vazba.

Jedním z motivů této práce byla destigmatizace levé strany na vědecké úrovni. Zkostnatělé a leckdy xenofóbní odmítání všeho, co se uchyluje od většinového výskytu, připravuje společnost o rozmanitost a krásu, kterou může přinést právě ona odlišnost od většiny. Je trendem moderní doby stále více uvolňovat stará uměle vytvořená pravidla a návyky a začít budovat upřímnou otevřenost k věcem takovým, jak ve své podstatě jsou. K tomu jsou vedle vnitřní odvahy potřeba také podložené důkazy, které vnášejí světlo na pravdivý základ daného tématu. O tom je část této práce pojednávající o lateralitě.

Práce čerpala převážně z anglických online periodik vyhledávaných v databázích Science Direct, PubMed, HighWire, Ebsco, ResearchGate, Springer Link, ProQuest. Použili jsme 124 anglických článků a 2 české. Pro vyhledávání byla použita hesla: „visuomotor coordination“, „laterality“, „hotwire task“, „visuomotor integration“, „hand preference“, „handedness“. Významným zdrojem byly také referenční odkazy. Dále práce čerpala z 10 publikací, z nichž 3 jsou anglické.

1 Teoretická část

Rien ne sert autant le cœur comme la symétrie.

Nic neskličuje srdce tolik jako symetrie.

(Victor Hugo, Bídňici)

1.1 Lateralita

My lidé patříme v naší živočišné říši mezi bilateria, tedy organismy dvojstranně symetrické podle podélné osy těla. Není pochyb, že dvoustranný vzhled lidského těla nabízí vyvážené a harmonické vzezření, avšak toto zdání trvá pouze dokud ho nepodrobíme důkladnějšímu zkoumání. Pak totiž zjistíme, že jevící se symetrie člověka je celková iluze pocházející z naší vrozené nepozornosti k mnohým snadno pozorovatelným nevyrovnanostem lidského těla (Porac et Cohen, 2011).

Upřesnění pojmů

Lateralitu v základu rozdělujeme na tvarovou a funkční. Lateralita funkční se váže k rozdílné výkonnosti párových orgánů motorických a smyslových. Lateralita tvarová (nebo také anatomická či strukturální) se projevuje v rozdílech ve stavbě těla, velikosti, objemu orgánů. Funkční lateralita se neprojevuje hned od narození, ale začíná se zřetelněji rýsovat teprve během individuálního vývoje (Sovák, 1962, s. 40). V této práci bude pod pojmem lateralita vždy míněna lateralita funkční, pokud nebude řečeno jinak.

Lateralitou v kontextu mozkové činnosti se zabývá obor neuropsychologie a jeho součástí je též psychologické studium asymetrie mozkové aktivity pomocí EEG vyšetřování. I na tomto poli najdeme mnohé asymetrie svědčící o tendencích k určitému emočnímu ladění apod. (Tesař, 2014, s. 38-39).

Lateralita je tedy upřednostňování jednoho z párových orgánů (oko, ucho, ruka, noha). Lateralitu vykazují také mozkové hemisféry. Klasicky zavedené pojmosloví od doby Paula Broca (konec 19. stol) bylo založené na přítomnosti, resp. nepřítomnosti řečového centra v jedné z hemisfér, čímž se zdánlivě dostala ta, která jej má (obvykle levá), do pozice dominance. Stejně tak i jedna ruka má vždy lepší schopnost určitého výkonu, zdá se tedy být dominantní. Avšak s objevy funkcí pravé hemisféry se zvláště v souvislosti s mozkem začíná upřednostňovat pojem „specializace” hemisféry. V oblasti párových orgánů pak nalézáme spíše pojem „preference” (upřednostnění), neboť jde skutečně o různě silně vyjádřenou tendenci k užívání jednoho ze dvou orgánů (Zillmer, 2008, s. 162).

Ze starší české literatury lze najít dělení na preferenci (= mírné upřednostnění) a dominanci (= silné upřednostnění) (Pavlík, J. a kol. 2010).

Slovníkové definice užívají pro výklad slova „lateralita” přibližně ve vyrovnaném poměru pojmy „preference” a „dominance” bez specifikace rozdílu mezi nimi.

Pojem „lateralita”:

- odkazuje k jedné straně těla nebo struktury, konkrétně dominance jedné strany mozku nebo těla (Farlex Partner Medical Dictionary, 2012).
- dominance jedné hemisféry mozku nad druhou (Collins Dictionary of Medicine, 2004, 2005)
- preference v užívání jedné strany těla před stranou druhou (Medical Dictionary for the Health Professions and Nursing, 2012)
- tendence k užívání preferovaného orgánu (ruky, nohy, ucha, oka) té samé strany při výkonu volní motoriky (Dorland’s Medical Dictionary for Health Consumers, 2007)

Vidíme, že se výklad někdy týká pouze párových orgánů, Dorland ji vztahuje dokonce pouze k volní motorice těchto orgánů (přičemž nepřímo připouští volní pohyb sluchu a zraku). Některé výklady zahrnují i mozek a v souvislosti s ním hovoří vždy o dominanci.

Přesto současná nomenklatura užívaná v publikacích tíhne k užívání popisu laterality orgánů jako „preference” než „dominance” a rozdílnost hemisfér pojmenovává jako „specializaci” namísto „dominance”.

V této práci budu užívat jako synonyma slova „dominantní“ a „preferovaná“ končetina pro končetinu, která je upřednostňovaná pro větší část prováděných úkonů. „Dominantní hemisféra“ používám jako pojem pro hemisféru s lokalizací řečového centra. Nepodařilo se mi najít novější výstižné jednoslovné pojmenování vztahující se k funkci hemisfér a proto se v souladu s literaturou držím tohoto zavedeného (ale také zavádějícího) pojmu.

Preference každého orgánu má v angličtině (i v němčině a dalších jazycích) svůj konkrétní výraz, jehož ekvivalent se v češtině bohužel příliš neujal.

- Pro preferenci ruky je to handedness, česky rukovost.
- Pro preferenci nohy footedness, česky nohost.

(Drnková, 1991, s. 15)

Přehled dělení laterality

Lateralitu dělíme podle různých hledisek. Uvádím zde klasické dělení pocházející původně z přelomových děl speciálních pedagogů.

1. Podle souvislosti jednotlivých lateralizovaných orgánů na laterality

- souhlasnou (převaha jedné strany u všech párových orgánů),
- nesouhlasnou, zkříženou (např. vedoucí ruka levá, vedoucí oko pravé),
- neurčitou, nevyhraněnou.

2. Podle stupně, míry laterality

- vyhraněná,
- převážná,
- nevyhraněná (tj. ambidextrie, obourukost).

(Sovák, 1962, s. 34)

Stupněm laterality je myšlena míra, s jakou se lateralita projevuje. Kříšťanová (1995) popisuje stupně laterality: od nepatrných rozdílů ve výkonnosti párových orgánů až po silně vyhraněné praváctví či leváctví.

3. Druhy laterality podle M. Sováka (1979):

- Vyjádřený a rozený pravák

Pravák s genotypickou pravorukostí vyrůstá v prostředí, které mu zcela vyhovuje a které jej podporuje v rozvoji dominantní ruky a tím také v rozvoji řeči. Obratnost ruky a řeč jsou na jedné mozkové hemisféře, nedochází k narušování přirozeného vývoje laterality a optimálního rozvoje osobnosti.

- Rozený levák

Levák s genotypickou levorukostí čelí pravorukému prostředí, které může ovlivnit jeho fenotyp laterality. Záleží na stupni laterality a na výchovném působení.

- Levák nepřecvičovaný

je vystaven konfrontaci s pravorukým prostředím bez výchovné podpory pro svoji levorukost. Dochází tak ke konfliktním situacím, které mohou vyústit do narušení spolupráce mozkových hemisfér. Narušením dominance vedoucí ruky jsou ovlivněny spoje řeči v dominantní hemisféře. Vznikají „vedlejší“ řečové oblasti na pomocné hemisféře, které ruší či tlumí vývoj i výkon řeči.

- Násilně přecvičovaný levák

je nucen užívat nevedoucí ruku a tím také nedominantní pomocnou hemisféru. Dochází k závažným změnám v rozvoji motoriky i řeči přesunem spojů na nedominantní hemisféru. Narušením rozvoje řeči je potlačena schopnost abstraktního myšlení, schopnost užívat symbolů vědeckých i uměleckých, rozvoj mravních hodnot. Přecvičený levák může projevoval poruchy chování jako vzdorovitost, útočnost, nenávisť či agresi, způsobené snahou se bránit násilným snahám potlačit jeho osobnost.

- Levák přecvičovaný později

tzn. po ukončeném vývoji řeči (8-9 let dítěte), v době, kdy řečová centra již vznikla v dominantní hemisféře. Následky potlačované laterality jsou menší, avšak v řízení motorického výkonu je nutná souhra obou hemisfér. Nedochází k přímému zásahu do struktury osobnosti.

- Patologické leváctví
vzniká z poškození vrozeně vedoucí levé hemisféry v období kolem narození, v důsledku toho převládne nevedoucí hemisféra – nevedoucí levá ruka.
- Levák z nutnosti
má pravou ruku vyřazenou např. amputací, zmrzačením nebo obrnou. Musí tedy přicvičovat levou ruku, i když je genotypický pravák. K narušení dalšího vývoje ale nedochází, protože z dominantní hemisféry nepřicházejí rušivé podněty.
- Vrozená obourukost
je stav, který nevytvořil vyhraněné přednostní užívání jedné z obou rukou – nevyhraněná lateralita. Centrum obratnosti ruky a řečová centra se vytváří na obou mozkových hemisférách. V řeči dochází k tlumení či srážení mluvních popudů.

Poměry laterality jednotlivých orgánů v populaci

Fyziologicky nejsilněji lateralizovanou funkcí je řečové centrum v levé hemisféře (90–95%), pravorukost (90%), pravostranná okulární dominance (75%). Dominance nohy se u dětí školního věku liší v různých úkonech - odraz do dálky (50%), poskakování na jedné noze (70%), kopání do míče (80%), psaní nohou (98%) (Tichý et Běláček, 2008, 2009). Dominance pravého ucha je prokázána v 60% (Porac et Cohen, 2011). Rovněž vestibulární dominance ukazuje nevýraznou asymetrii (Dieterich et al., 2003).

1.1.1 Lateralita horní končetiny (HK)

Ruce jsou hlavní orgán, kterým interagujeme se světem. Pomáhají nám vyjadřovat myšlenky, jsou významným nástrojem sociálního kontaktu pro gestikulaci, komunikaci, péči a boj (Hoover et al., 2016). Na rozdíl od většiny savců lidé vykazují silnou preferenci pro pravou ruku (Bryden et al., 2000). Preferovaná ruka je silnější (Farthing et al., 2005), rychlejší (Annett et al. 1979) a přesnější v různých motorických úkonech (Goble, Brown, 2008).

Vznik dispozice pro pravo- a levo- rukost

Přestože se lidstvo snaží odhalit příčinu rozdílné preference končetin od dob dávno minulých, zatím neznáme uspokojivou odpověď. Z historických poznámek se dozvídáme o různých teoriích založených na astrologii, tlaku většinové populace pro užívání nástrojů, náboženství, hygieně apod. (viz. příloha). Současné přírodovědné snahy vedou k hledání původ rukovosti v genetickém kódu člověka. Podle Brandlera et al. (2013) je leváctví polygenní znak, na němž by se mohl podílet gen PCSK6. Tuto teorii ale zpochybňují další autoři. Ti označují preferenci ruky za lidský behaviorální fenotyp, který se sice zdá být dědičný, ale chybí pro to přesvědčivé důkazy. Na celogenomovém vyšetření téměř 4000 dvojčat se jim nezdařilo identifikovat lokus, který by byl jednoznačně spojený s rukovostí.

I přes tuto ostrou kritiku se stále nepodařilo najít příhodnější teorii než je Right-Shift theory podle Annet (Goble, Brown, 2008). Podle Annet existuje alela (RS+), která vede k rozvoji levé hemisféry pro ovládání praxe pravé ruky a zároveň k umístění řečového centra v ní. Druhá alela (RS-) umožňuje náhodnou lokalizaci řečového centra v obou hemisférách (Annett, 1978, 1998). Pro genetickou dispozici rukovosti svědčí i fakt, že preferenci ruky pozorujeme již v embryonálním a fetálním období vývoje dítěte (Oliviera, 2016).

Geschwid-Galaburdova teorie z roku 1987 spojuje výskyt lateralizace hemisfér i rukovost s hladinou fetálního testosteronu. Testosteron podle nich zpomaluje fetální vývoj levé hemisféry, modifikuje lateralizaci hemisfér a vede ke zpomalení nástupu řečových funkcí v postnatálním vývoji. Tato teorie měla svůj přínos v propuknutí zájmu vědeckého světa o tematiku laterality, avšak v dnešní době je považovaná za příliš zjednodušující (McMannus, Bryden, 1991).

Výsledek, který zatím můžeme z existujících studií vyvodit, ukazuje, že na vývoji preference ruky se pravděpodobně podílí jak genetika, tak vlivy zevního prostředí (Goble, Brown, 2008).

Výskyt preference HK v populaci

Data získaná převážně z dotazníků ukazují, že 90% lidí jsou praváci, tj. upřednostňují pravou ruku před levou v manipulaci s objekty a v úlohách dosahování cíle (reaching for a target) (Annett, 1985; Gilbert and Wysocki, 1992; Oldfield, 1971). Rozložení je stejné napříč geografickými lokalitami i kulturami a zůstává neměnné v průběhu času (Bryden et al., 1996; Hatta and Nakatsuka, 1976; Ida and Bryden, 1996; Marchant et al., 1995).

Hana leváků

Od nepaměti až dodnes existuje mnoho nepodložených předsudků i vědeckých výzkumů, které spojují leváctví s negativními, patologickými a defektními projevy. Je to např. vyšší incidence porodního traumatu (Coren, 1996), schizofrenie (Orr et al., 1999), autismu (Fein et al., 1984), astmatu a alergické rhinitis (Krommydas et al., 2003), náchylnost k náhlé smrti a v průměru o 7 let kratší délka života (Coren, Halpern, 1991).

Míra lateralizace ruky a její souvislost se lokalizací dominantní hemisféry

U pravoruké populace je levá hemisféra dominantní pro řeč a zároveň je zodpovědná za senzomotorické funkce preferované HK. Dominantní hemisféra se zároveň stará o vjemy a projevy dominantní HK. Vše je ve shodě. Dříve se předpokládalo, že u leváků to funguje zrcadlově, tedy že se opět shoduje hemisféra dominantní pro řeč s hemisférou ovládající preferovanou ruku. Podívejme se tedy blíže na kontinuum sahající od extrémního praváctví k extrémnímu leváctví s důrazem na střední část jedinců nepraváků (adextrals), tj. leváků a ambidexterů (Zillmer et al., 2008).

Konzistentně s Brocovými předpověďmi nynější výzkumy demonstrují shodu preferované končetiny a hemisférické lateralizace, pokud uvažujeme pravoruké jedince. MRI studie (Springer et al., 1999) 100 zdravých praváků (vyrovnaný počet žen a mužů) prokazuje levostrannou řečovou dominanci v 94%, Szaflarski et al. (2002) 94-96%, Knecht et al. (2000) uvádí pouze 92,5%. Zbýlých několik procent praváků vykazuje v různých studiích buď to pravostrannou hemisferickou dominanci (Knecht et al., 2000, Pujol et al., 1999) nebo bilaterální čili symetrickou lokalizaci řečových center (Springer et al. 1999).

Může být poněkud překvapivé, že leváci shodně s praváky vykazují většinově dominanci levé hemisféry, avšak pouze v 76-78%. Symetrická aktivace je ve 14% a pravostranná (tedy kontralaterální vůči dominantní ruce) pouze u 8-10% leváků (Szaflarski et al. 2002, Pujol et al., 1999). Tři čtvrtiny leváků tedy mají dominantní hemisféru uloženou ipsilaterálně ke své dominantní ruce.

Na základě Edinburgh scale je možné poněkud jemnější dělení (viz kapitola 3.2.2) spektra rukovosti. Větší studie 326 zdravých jedinců prokázala lineární vztah – čím silnější pravorukost, tím vyšší incidence dominance levé hemisféry a naopak. U extrémních leváků byla incidence pravostranné hemisférické dominance 27% oproti tomu u extrémních praváků to byla 4%. Střední část skupiny ukazovala snižující se míru pravostranné hemisférické dominance s rostoucí tendencí k pravorukosti (Knecht et al., 2000).

Existuje pozitivní korelace mezi mírou lateralizace hemisfér (určeno podle testu chimerických obličejů, viz. kapitola 1.1.2 Metody zkoumání) a mírou vyjádření rukovosti (určeno podle Edinburgh scale) u praváků (Bourne, 2008). U leváků nacházíme menší míru lateralizace než u praváků, avšak také ji zde nalézáme (Solodkin et al., 2001).

S přihlédnutím k tomuto detailnějšímu dělení spektra jedinců dle jejich míry lateralizace můžeme přistoupit k poněkud změněnému znění definice preference ruky. „Rukovost je definovaná jako relativní účinnost nebo rychlost ruky.“ Sledujme tedy vývoj termínů - od původní „dominance“ ruky se dostáváme přes „preferenci“ až ke „zdatnosti“ ruky v jejím výkonu (Zillmer et al., 2008).

Shrňme-li na závěr poznatky, můžeme říci, že řeč (dominantní hemisféra) je většinově situovaná u praváků do levé hemisféry (okolo 95% případů) a u leváků také (okolo 70% případů). Incidence bilaterální a pravostranné hemisférické dominance se zvyšuje s oddalováním se od extrémního praváctví, tj. u ambidextrů a leváků (Zillmer et al., 2008).

Anatomická rozdílnost hemisfér vázaná na rukovost

Rozdíl v zastoupení šedé a bílé hmoty v mozkových hemisférách odpovídá typu procesů, pro něž jsou specializované. Pravá hemisféra je těžší a obsahuje více bílé hmoty, kdežto levá obsahuje více šedé hmoty a specifické sensorické kůry. Uspořádání levé hemisféry je uzpůsobeno pro jednomodalitní a intraregionální zpracovávání. Oproti tomu silnější konvergence sensorických

regionů pravé hemisféry ukazuje zvýšenou reprezentaci asociačních spojů, čímž umožňují multimodální a interregionální zpracovávání informací (např. sdružení vizuálního vjemu jablka s taktilním vjemem z dotyku). Na základě těchto anatomických rozdílů se můžeme domnívat, že levá hemisféra je lépe vybavena pro zpracovávání procesů lineárních, sekvenčních, podléhajících pravidlům složeným ze specifických kódů (např. řeč). Pravá hemisféra je pak více holistická a zpracovává procesy jako je předpovídání orientace těla v prostoru nebo prostorové nastavení a orientace předmětů vyžadující komplexní nebo simultánní zpracovávání sensorické a proprioceptivní aference (Zillmer et al., 2008).

Amuts et al. (1996) uvádí poznámku k rozdílnosti hemisfér na úrovni anatomické, která má souvislost s lateralitou ruky. Jedná se o rozdíl v hloubce centrálního sulcu. Je prokázáno, že u praváků je levý centrální sulcus hlubší nežli pravý a u leváků naopak (Oliviera, 2015). Makroskopická strukturální asymetrie odpovídá i mikroskopickým odlišnostem - hlubší sulcus kontralaterální hemisféry koreluje s vyšší denzitou axonů, synapsí a dendritů. Což vztaženo na funkční pohled říká, že hemisféra řídící pohyb dominantní ruky má více vyvinuté možnosti konektivity, které se projevují i v materiální anatomické rovině vyšším zastoupením neurocytů.

Tento fenomén však byl potvrzen pouze u mužů, u žen nebyla nalezena žádná interhemisferální asymetrie. Jako vysvětlení se nabízí rozdílné kortikální uspořádání pro pohyb ruky v závislosti na pohlaví (Amuts et al., 2000).

Typickým anatomickým nálezem interhemisferické asymetrie, který dává morfologický podklad funkční lateralitě, je Yakovlevianovo zakřivení proti směru hodinových ručiček. Nalézáme širší frontální kortex pravé hemisféry a širší okcipitální kortex levé hemisféry (Oliviera, 2015).

1.1.2 Lateralita mozkových hemisfér

Na rozdíl od laterality ruky, která je zjevná, rozdílnost mozkových hemisfér byla objevena teprve před 155 lety. Prvenství v objevu lateralizovaných funkcí hemisfér drží Paul Broca, který v roce 1861 provedl pitvu pacienta, jenž posledních 20 let života nemluvil. Při pitvě Broca objevil nevelkou lézi mozkové tkáně v levém gyrus frontalis inferior. Vyslovil teorii o lateralizaci a dominanci levé hemisféry pro řečové funkce (Plháková, 2006, s. 84). Koncem 19. stol popsal Carl Wernicke lézi temporálního laloku (gyrus temporalis superior) s příznaky receptivní afázie a rozšířil tím Brocův objev.

Ve světle těchto objevů byl Liepmann (1908) první, kdo navrhnul a následně potvrdil (Liepmann, 1920), že se hemisféry od sebe liší způsobem zpracovávání informací a tím si mezi sebe rozdělují řízení některých dovedností. Přisuzoval významnou roli v motorickém projevu obou HK hemisféře kontralaterální k preferované HK. Pozorování prováděl na pacientech s cévní mozkovou příhodou. Při postižení levé hemisféry pacienti nebyli schopni složitých prostorových úkolů a to ani jednou HK. Zavedl pro toto postižení pojem „ideomotorická apraxie” (Goble, Brown, 2008).

Roger Sperry (Nobelova cena 1981) poté provedl pokusy s přetětím corpus callosum u epileptických pacientů a prokázal další odlišnosti ve funkci hemisfér. Pacienti podstoupivší komisuromii jakožto léčebný výkon zabraňující šíření epileptických záchvatů vyvinuli tzv. split-brain syndrom. Při jeho testování se pacientům poskytne vjem s aferencí výhradně do pravé nedominantní hemisféry (tj. obrázek do levého zrakového pole nebo předmět do levé ruky) a poté jsou požádáni, aby tento vjem pojmenovali. Nejsou toho schopni. Avšak určitá nepřímá znalost prokázána je, protože pokud mají na obrázek či předmět poté ukázat levou rukou (řízenou z pravé hemisféry), ukáží správně. Experiment prokazuje, že nemožnost interhemisferální komunikace vede v tomto případě k neschopnosti využití specializace levé hemisféry, tj. verbálního pojmenování vjemu, avšak informace zůstává v pravé hemisféře a ta její znalost umí projevit způsobem sobě vlastním, tj. např. ukázáním na předmět (Hugdahl, 2005).

Teorie o příčině vzniku laterality hemisfér

Pohled evoluční biologie Pro bližší pohled na vývoj laterality mozku zavítáme nejprve do krajin evoluční biologie. Lateralizaci mozku vykazují téměř všichni obratlovci a symetrie je

spíše výjimkou. Je nutné zmínit, že mezi všemi druhy je poměr levo- a pravo- stranných preferencí vždy odlišný od poměru 1:1. Tradiční výklad pro důvod lateralizace mozku říká, že v rámci vývoje efektivity se mozek zbavoval redundantních duplicit v neuronových okruzích, čímž se snížila příležitost k interferenci (narušování) jednotlivých funkcí. Toto vysvětlení je však podle Ghirlandy et Vallontigary (2004) nedostatečné na populační úrovni. Zvýšení individuální efektivity podle nich nesouvisí se změnami v uspořádání lateralizace v rámci všech členů populace. Dokazují na modelu predátor-oběť, že k lateralizaci může vést i prostý sociální tlak ze strany jiných asymetricky založených populací.

Nevyrovnaný poměr pravo- a levo- stranných v populaci může být evolučně stabilní. Tento fakt plyne z rovnováhy, která nastává při plánování strategie antagonistických (kompetitivních) a synergistických (kooperativních) interakcí (Ghirlanda, Frasnelli, Vallortigara, 2009). Konkrétním příkladem je lov ptáka jménem psilia čáponohá. Ukazuje se vyšší úspěšnost, pokud je oběť v pravém zorném poli, oproti tomu při páření byly úspěšnější samičky, který byly spatřeny v levém zorném poli samce (Ventolini et al., 2005).

Teorie vzniku jazyka na základě motorického projevu předpokládá, že hemisféra dominantní pro řeč ovládá také dominantní končetinu. Lateralizace mozku je tedy považovaná za konsekvenci vývoje motorických dovedností. Tyto poznatky již byly překonané (Martin, 2006, s. 155).

Teorie vytěsnění považuje rozdělení funkcí mezi hemisféry za vývojově zjednodušující opatření vedoucí k efektivnějšímu zpracovávání informací za účasti jediné hemisféry, která pak informace nemusí sdílet s hemisférou druhou, také se tím zabrání redundantní duplikaci funkcí. Obě hemisféry tedy mají potenciál k výkonu všech funkcí, ale jedna z nich může tuto schopnost rozvinout lépe. Tuto teorii podporuje fakt, že po poškození jedné hemisféry je možná částečná obnova funkce skrze její převedení do druhé hemisféry (zejména po hemisferectomii v dětském věku), ale zároveň nepodává vysvětlení důvodu pro preferenční lateralizaci (Martin, 2006, str.156)

Funkce pravé a levé hemisféry

Tato kapitola pojednává o rozdělení funkcí mezi dvě hemisféry. Dvě hemisféry, které se na pohled zdají být stejné - a ony vskutku mají mnoho stejných morfologických i funkčních rysů - a přitom má každá své unikátní funkce a odlišný způsob, jakým nakládá s informacemi. Na nejjednodušší úrovni lze levé hemisféře přiřknout specializaci pro nakládání se slovním materiálem, pravé potom výhody v neverbálním a prostorovém vnímání (McGilchrist, 2009; Schwartz, Smith, 1980). Toto rozdělení funkcí se nazývá hemisferickou lateralitou či specializací (Bryden, 1982).

Medical dictionary (2009) uvádí tuto definici: "Hemisferická specializace je kontrola jednotlivých neurologických funkcí pravou nebo levou hemisférou mozku. U většiny lidí levá hemisféra kontroluje užití jazyka, analytické myšlení a abstraktní myšlení. Pravá hemisféra pracuje s vizuálními a prostorovými vztahy, hudebními schopnostmi a dalšími funkcemi."

Detailním rozdělením funkcí hemisfér se zabývali Dean a Reynolds (1997) v review téměř 1000 článků. V následující tabulce je jejich přehled:

pravá hemisféra	levá hemisféra
simultánní	sekvenční
holistické	časové
celkové	místní
vizuální, nonverbální	verbálně analytické
prostorové uvažování	lateralizace řeči/ řečové schopnosti
vnímání hloubky	počítání, aritmetika
melodická percepce	abstraktní verbální myšlení
taktilní percepce	psaní
haptická percepce	komplexní motorické funkce
rozlišení nonverbálních zvuků	orientace v rámci těla
motorická integrace	bdělost
vizuální konstrukce	asociace párů slov
rozeznávání vzorů	vyvolání slov z krátkodobé paměti
neverbální paměť	práce s abstrakcí a konkretizací slov
rozeznání obličejů	přenos slov

Tabulka 1.1: Funkce pravé a levé hemisféry

Dělení funkcí hemisfér se běžně zaměřuje na obsah zpracovávané informace (verbální vs. vizuospeciální), charakteristiku (abstraktní vs. konkrétní), nebo na požadované mentální funkce

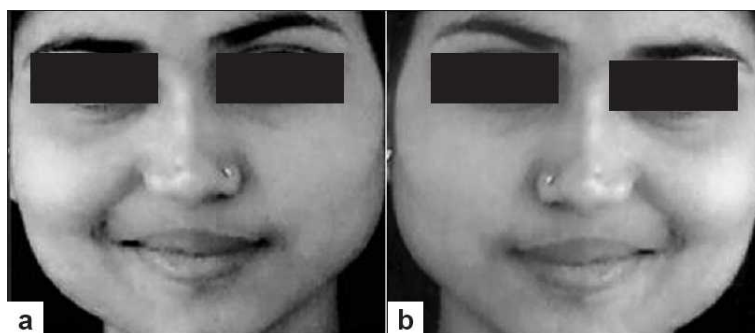
(analytické vs. holistické pochody). Přestože toto rozdělení je zjevné, existuje ještě druhý způsob rozdílnosti funkce, a to je rozdíl ve způsobu zpracovávání daného obsahu. Konkrétním příkladem je dominance pravé hemisféry v ověřování pravdivosti vjemu (přesnost prezentované informace), zatímco levá hemisféra tíhne ke zpracovávání informací z perspektivy vyhodnocování (tvorba hypotéz a interpretací) (Zillmer et al., 2008). Diskutovaným problémem je také vliv pohlaví, resp. pohlavních hormonů, na laterality mozku. Nehledě na minimální projev v performaci je tato závislost prokázána, avšak její podklady nejsou zřejmé (Zillmer et al., 2008).

Specializace parietálního kortexu

Parietální kortex hraje významnou roli v integraci senzorické kontroly a motorického projevu, je to významná asociační oblast (Culham et al., 2006). A právě v parietální oblasti je prokázána vysoká míra lateralizace mezi levou a pravou hemisférou. Je prokázáno, že u praváků je mnoho funkcí potřebných pro řízení pohybu situováno v levém parietálním kortexu. Konkrétně jsou to jednotlivé aspekty praxe - imitace a pantomima gest jako např. užívání nástrojů (Leiguarda, Marsden, 2000), numerické počty (Dehaene, Cohen, 1995) a psaní (Balasubramanian, 2005).

Metody zkoumání

Lateralita mozkových hemisfér je známa přibližně 150 let. Před objevem funkční magnetické rezonance byly jediným zdrojem vypovídajícím o hemisferické specializaci behaviorální testy. Tyto metody závisely na pozorování asymetrií percepce, tedy sluchu, zraku, a méně také hmatu. Nejvíce se rozvinulo testování skrze zrak. Různé vizuální modalities byly prezentovány odděleně levému nebo pravému vizuálnímu poli. Levy et al. (1983) vyvinuli jedno z nejběžněji užívaných testování - chimerické obličej. Při tomto experimentu jsou probandovi prezentovány obličej, které jsou sestaveny ze dvou částí téhož obličej, ovšem jedna polovina má výraz neutrální a druhá se usmívá (obr 1.1). Proband je poté tázán, který obličej mu připadá šťastnější. Tím odhaluje preferované vizuální pole. Tato metoda však došla na úbytě pro svou neschopnost detekovat míru laterality neboli vyhraněnost preference. Pročež obličej byly nahrazeny vždy dvěma šedivými destičkami, z nichž každá má jiný stupeň šedi. Od schopnosti rozeznat sobě blízké odstíny a rozlišit světlejší se odvíjí určení upřednostňovaného vizuálního pole (visual field bias). Tyto testy jsou používané dodnes pro svou jednoduchou klinickou použitelnost bez nutnosti



Obrázek 1.1: Chimerická tvář šťastná-neutrální, (a) šťastná polovina tváře je na levé straně a neutrální polovina tváře je na pravé straně; (b) zrcadlově obrácený obrázek A, šťastná polovina tváře na pravé straně a neutrální polovina tváře na levé straně.

přístrojového vybavení (Voyer, Voyer, Tramonte, 2012, Levy et al. 1983, Mattingley, 1994).

Široce užívané chimerické testy upřednostňování levého či pravého vizuálního pole (left and right visual field bias) jsou mírně závislé na rukovosti. Levy (1983) testoval leváky a praváky. Uvážíme-li z tohoto souboru probandy, kteří upřednostňují levé zrakové pole (tj. dominance levé hemisféry - u praváků 96 %, u leváků 75 %, viz výše), zjistíme, že odpovědi praváků jsou více asymetrické, silněji lateralizované. Totéž prokazuje i Bourne (2008) když prokazuje pozitivní korelaci mezi vyšší skóre v dotazníku pravorukosti a asymetrií v testu chimerických tváří.

Jak již bylo řečeno, kromě vstupu vizuálního lze užít též sluchové nebo taktilní vjemy, které podávají stejnou informaci o specializaci hemisfér. Zvýšenou aktivaci dominantní hemisféry zaznamenáváme u slov nejen čtených (vizuální vjem), ale i slyšených (sluchový vjem) nebo psaných na kůži (taktilní vjem) (Voyer, Voyer, Tramonte, 2012).

1.2 Vizuomotorická koordinace

Vision began not as a system for perceiving the world,
but as a system for the distal control of movement.

Zrak nebyl stvořen jako systém pro vnímání světa,
nýbrž jak systém pro distální kontrolu pohybu.

(M.A. Goodale)

Po dlouho dobu byl zrak považován pouze za zdroj informací o světě kolem nás. Nepostradatelná role zraku pro plánování a kontrolování pohybu byla naprosto opomíjena. Až v 80. letech vznikla první studie, která zdůraznila hlavní roli vizuálního procesu pro konstrukci podnětu a další, jež uvažovala o tom, že obrázek na retině je užíván o trochu více než jen ke konstrukci přicházejícího vizuálního podnětu v mozku. Dlouhou dobu stály osamocně výzkumy motorického a sensorického systému, až se pozvolna objevil termín senzomotorická integrace, přičemž zrak byl i nadále odkázán pouze na funkci tvorby konstrukce interního modelu vnějšího světa. Během posledních 30 let došlo k rozvoji zkoumání a specifikace role zraku při kontrole pohybu končetin a s tím související hledání neurálních spojů, které tuto kontrolu podmiňují (Goodale, 2010). Atkinson (2000) uvádí zrak jako hlavní sensorický systém zodpovědný za koordinaci našeho motorického projevu.

Vymezení pojmu

VMK (vizuomotorická koordinace) je schopnost spolupráce oka a ruky na vysoce specializovaných a efektivních pohybových úkolech. Sestává se z kombinace zrakové percepce a koordinovaného pohybu ruky se zpětnou vizuální kontrolou. Performace vizuomotorické integrace vyžaduje převedení získaného vizuálního vjemu v odpovídající motorický výstup, což vyžaduje přesné řízení motorického pohybu (motor control), motorickou přesnost (motor accuracy), motorickou koordinaci a dostatečné psychomotorické tempo (Sanghavi, 2005).

Vizuomotorická koordinace je schopnost integrace zrakových vjemů s jemnou motorikou, jedná se o specifickou pohybovou aktivitu, při níž hlavní zraková kontrola koordinuje pohyby (zpětná vazba).

Vizuomotorická integrace je definovaná jako stupeň koordinace zrakového vnímání s pohybem ruky a prstů (Beery, 1997, p. 19).

Vizuomotorická transformace je termín k označení převodu zrakového senzorního vstupu v motorickou performaci. Používá se ve studiích využívajících fMRI snímání (Grefkes, 2004).

Vizuomotorický úkol může být několikerého druhu. Nejčastěji narazíme na tento pojem ve spojení se speciálně-pedagogickými zdroji, které se zabývají grafomotorikou, rozvojem čtení, spojení viděného reálného objektu a symbolu, orientaci na ploše a práce v prostoru. V klinických studiích jsou úkoly specifikované jako cílení neboli aiming (Elliott at al., 2017), dosahování a uchopování neboli reaching a grasping (Goodale, 2011), obkreslování trasy a její kopírování neboli tracing a copying (Ogawa, Inui, 2009), repetitivní pohyb ruky např. ve smyslu flexe-extenze zápěstí (Roerdink at al., 2005; Lavrysen et al., 2008).

Při terminologii vizuomotorické koordinace se jednotliví autoři rozcházejí v pojetí samotném. Náš výzkum sleduje VMK jako souhru oka, ruky a těla při manipulaci s předmětem v rámci jemné motoriky. Pojem vizuomotorická integrace ponechávám čistě pro označení integračního procesu v mozkové kůře (což je v rozporu s definicí dle Beeryho), používám ho jako synonymum pro vizuomotorickou transformaci.

1.2.1 Neurofyziologický podklad - vizuomotorická integrace

Vizuomotorická integrace (VMI) je neurofyziologickým podkladem pro vizuomotorickou koordinaci. Jedná se o schopnost spojit zrakové vjemy s motorickými pohyby, pohyby rukou, konkrétně jemnými motorickými pohyby.

Existuje oddělené funkční spojení vizuálního a motorického kortexu. Transkraniální magnetická stimulace umožňuje zkoumání efektu podráždění specifické lokality mozku a tudíž i velmi přesné studium účasti jednotlivých lokalit kortexu na výsledném motorickém výstupu, jakož i jejich propojení. Propojení vizuálního a motorického kortexu je velmi rychlé a to i přesto, že není přímé a má přepojení přes interneurony. V klidu je toto spojení inhibiční, na čemž se

podílí inhibiční interneurony v motorickém kortexu. Při stimulaci s frekvencí 40ms dochází k přerušení inhibice - tedy k facilitaci (Strigaro, 2015). Pokud stimulujeme jemným impulzem (tj. těsně pod hranicí vyvolání zrakových vjemů „hvězdiček před očima“) okcipitální kůru a se zpožděním několika milisekund stimulujeme podprahovým impulzem také primární motorickou areu, stimulace se sumuje a dochází k záškubku svalu. Tato studie dokazuje, že aktivita vizuálního kortexu může modulovat kortikospinální excitabilitu v krátké latenci v klidovém stavu subjektu (Strigaro, 2015).

1.2.2 Oblasti aktivace kortexu při VM úkolu

S objevem fMRI přišel velký rozvoj a upřesňování poznání o funkci jednotlivých částí a oblastí mozku. Z technického hlediska je studium parietálního kortexu tou nejsložitější výzvou, což je dáno mnoha omezeními zobrazované oblasti. Jednak je problém omezeného prostoru v gantry přístroje pro vykonávání VM úkolu. Druhý a náročnější problém vyvstává na základě podmínky pro zobrazování fMRI i PET (pozitronová emisní tomografie), tj. nutnost statického klidu snímkové oblasti. Pohyb HK konající VM úkol se přenáší na pohyb hlavy a i v případě, že hlava zůstane klidná, tak pohybující se hmota HK ruší magnetické pole a vyvolává mnohé artefakty. Z tohoto důvodu jsou studované VM úkoly co nejjednodušší na pohyb v prostoru a dělí se v zásadě na cílení ruky (reaching), kdy dochází k extenzi paže k dosažení cíle, ukazování prstem (pointing), při němž se paže nehýbe a pouze ukazováček dosahuje cíle, a úkoly s joystickem. I toto rozdělení není dokonale přesné, neboť i cílem na konci cílení ruky se studie liší - některé pouze ukazují, jiné vedou k úchopu, což vyžaduje kromě cílení ještě aktivaci přednastavení ruky k úchopu, a tím činí úkol komplexnějším a složitějším (Culham et al., 2006).

Vizuální dráhy

Ventrální a dorzální vizuální dráha Ventrální dráha vede k temporálnímu laloku a slouží k rozpoznávání objektů, odpovídá na otázku „co?“ vidím. O dorzální dráze, která je určena spojením okcipitální a parietální kůry, se dříve mínilo, že slouží k rozeznávání lokalizace objektu. Odpovídá tedy na otázku „kde?“ se pozorovaný objekt nachází. Nyní se však ukazuje, že jeho funkce je odlišná. Goodale and Milner (1992) navrhují alternativní, dnes již potvrzenou, interpretaci. Dráha z vizuálního kortexu do lobus parietalis superior zajišťuje vizuální vedení motorické

aktivity (Culham et al., 2006). Nicméně protože dorzální a ventrální dráha jsou dosti propojené, je velmi náročné u zdravých jedinců určit, zda je zpracovávaná informace vedena pouze dorsální drahou, nebo přichází do parietálního kortexu skrze ventrální vizuální regiony (Hebart et al., 2012).

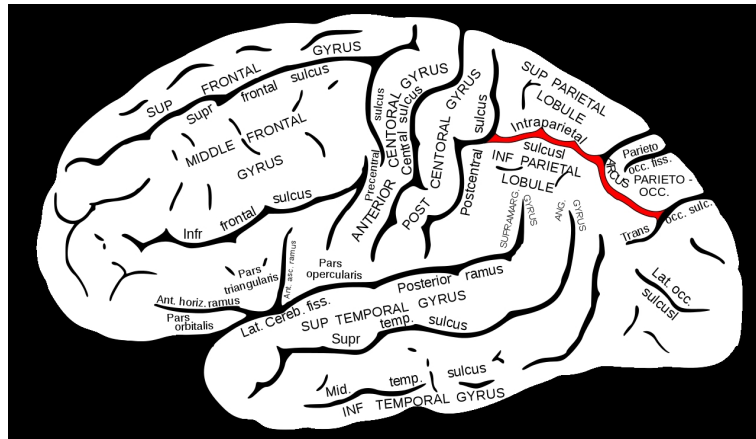
Fronto - okcipitální fascikul Kromě vizuálních drah spojujících okcipitální kortex s parietálním a temporální lalokem existuje ještě spoj s lalokem frontálním, tj. inferiorní fronto - okcipitální fascikul (Catani et al., 2002). Je to dlouhý asociační spoj vedoucí z okcipitální oblasti a přilehlých zadních struktur mozku do frontálního laloku. Je tedy možné, že existuje přímé napojení vizuální informace do frontálních laloků a zpět pro "top-down"kontrolu (Martino et al., 2010).

Struktury podílející se na řízení VMK

Neuronální spojení a aktivace podílející se na řízení VMK jsou podle klasických studií tyto kortikální a subkortikální oblasti: cerebellární arey, vizuální kortex, thalamus a bazální ganglia, sensorické a supplementary motor areas (SMA), parietální a frontální arey a gyrus temporalis superior. Není překvapivé, že nejvyšší aktivace nastává v mozečku, jakožto struktura odpovídající za koordinaci, časování, motorické učení atd. (Lavrysen et al., 2008; Fadiga et al., 2000). Signifikantní účast na řízení pohybu s vizuálním feedbackem je prokázána bilaterálně v PPC (posteriovní parietální cortex), mozečku, středním a inferiorním gyrus frontalis a okcipito-temporálním kortexu nedominantní hemisféry (Ogawa, Inui, Sugio, 2006). Největší pozornost se klade na posteriovní část parietálního kortexu. Její úlohou je integrace multimodální sensorické informace pro plánování a koordinaci komplexních pohybů (Grefkes et al., 2004). Wenderoth et al. (2006) uvádí důležitost superiorního parietálního kortexu pro integraci somatosenzorického a vizuálního vjemu pro monitoraci pozice končetiny v egocentrickém (tj. k sobě vztaženém) prostoru.

Anatomické oblasti parietálního laloku

PPC je situovaný mezi zrakovým kortexem okcipitálního laloku a somatosenzorickým kortexem. Je proto vhodným místem pro získávání informací z obou těchto aferentních zdrojů, které dále převádí do premotorické a motorické oblasti frontálních laloků. Historicky se PPC nazývalo



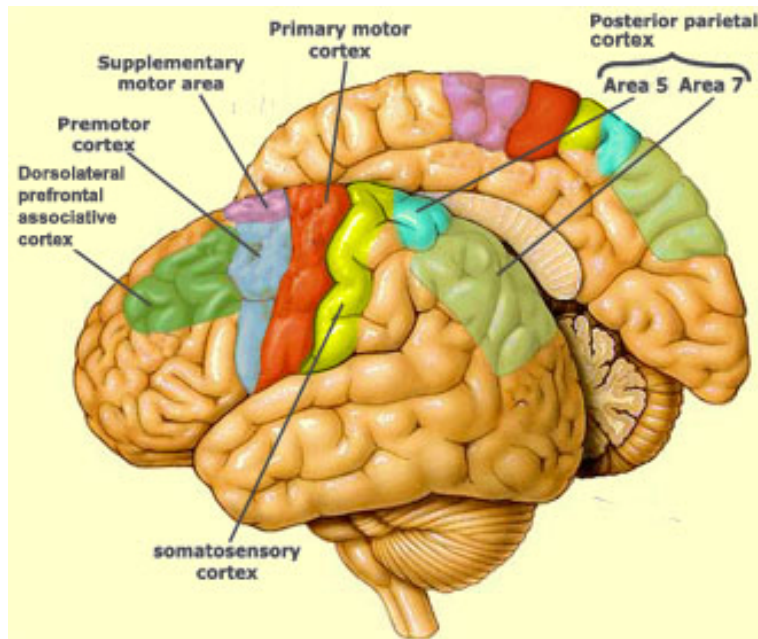
Obrázek 1.2: Intraparietální sulcus

asociační kůrou, jež slouží k integraci informací napříč modalitami, nicméně nyní díky sofistikovanějším výzkumným metodám můžeme rozlišovat funkce jednotlivých menších oblastí parietálního laloku. Anatomicky je PPC rozdělen na lobulus parietalis superior (SPL) a lobulus parietalis inferior (IPL), mezi nimiž probíhá sulcus intraparietalis (IPS) (obr. 1.2). Na mediální straně parietálního laloku nacházíme precuneus neboli lobulus quadratus. Parietální kortex zabírá přibližně 25 % mozkové kůry (Damasio, 2005).

Intraparietální sulcus (IPS) Oblasti naléhající na sulcus intraparietalis slouží ke spojení sensorického a motorického systému, čímž umožňují koordinovaný pohyb v prostoru. Jeho mediální část slouží k vizuomotorické transformaci. Při VM úkolu (úkolem motivovaný pohyb ruky, práce s joystickem) se aktivuje superiorní část lobus parietalis. Lokální maximum neuronální aktivity leží na mediální stěně IPS. I tato lokalizace může být ještě blíže specifikovaná, anteriorní část mediálního IPS se podílá na VM úkolu řízeném dominantně proprioceptivním vstupem, kdežto posteriorní část mediálního IPS je aktivovaná při pohybu řízeném vizuální aferencí (Grefkes et al., 2004).

Mediální IPS umístěný v parietálním kortexu je tedy klíčovou oblastí pro vizuomotorickou integraci. Kromě vizuálně vedeného pohybu se také podílí na koordinaci pohybu pod řízením vstupu proprioceptivního (Grefkes et al., 2004).

Role parietálního kortexu při VM úkolu cílení byla zkoumaná při single-unit recording studiích na opicích makak. Tyto práce ukázaly detailní rozdělení PPC na oblasti selektivně



Obrázek 1.3: PPC, Brodmanova area 5 a 7

ovládající cílení pohybu. Je to:

- mediální intraparietální oblast (MIP) (Johnson, Ferraina, Bianchi, Caminiti, 1996),
- area V6a (Fattori, Gamberini, Kutz, 2001; Galletti, Fattori, Kutz, 1997),
- arey 7a and 7m (Battaglia-Mayer et al., 2000; Johnson et al., 1996; MacKay, 1992)
- area 5 (Ferraina et al., 2001; Kalaska, 1996).

Byl definován také funkční celek s názvem parietální cílicí region (parietal reaching region, PRR), který zahrnuje MIP a V6a (Andersen, Buneo, 2002; Buneo, Jarvis, Batista, 2002) a může být rozšířen o laterální část sulcus intraparietalis (Calton, Dickinson, Snyder, 2002).

Dynamika aktivace

Při VM úkolu ukazování (pointing, tj. pohyb bez komponenty cílení) se aktivuje mediální IPS a precuneus. Během přípravy k ukazování vidíme aktivaci PRR (Connolly et al., 2003), při výkonávání pohybu ukazování se pak výrazně zvyšuje aktivita precunea (Astafiev et al., 2003). Při „opravdovém“ úkolu VMK, tedy cílení ruky (reaching), se aktivuje mediální IPS a region

parieto-okcipitální junkce uložený mírně laterálně od precunea (Prado, Clavagner, Otzenberger, 2005).

1.2.3 Testy vizuomotorické koordinace

Vizuomotorická koordinace se v praxi nejběžněji testuje u dětí, protože většina testování je zaměřena na dětský věk.

Beery-Buktenica Developmental Test of Visual Motor Integration

Beery testuje vizuomotorickou integraci v poněkud užším významu, a to jako schopnost kreslit různě složité geometrické tvary podle předlohy. Vydal testovací sadu pro děti i dospělé, která se stala valně využívanou.

Test obkreslování dle Matějčka

Jde o jeden z nejužívanějších testů k posouzení VMK u dětí předškolního a školního věku. Atributem kresebných metod, které se orientují pouze na posouzení vizuomotorických dovedností, je minimalizování funkce paměti a představivosti (Vágnerová, 2006).

Bender – Gestalt test

Bender – Gestalt test se řadí mezi klasické metody klinické psychodiagnostiky, vychází z gestaltistické teorie berlínské školy. Tato teorie tvrdí, že vývoj vnímání a zobrazování prvotně neuspořádaných komplexů směřuje k postupné percepci celků, které jsou tvarově ohraničené a vnitřně diferencované. Testový materiál se skládá z osmi komplexních obrazců, které má dítě za úkol obkreslit na papír (Vágnerová, 2006).

1.3 Souvislost VM koordinace a laterality

Obecně vzato performance preferované a nepreferované končetiny u leváků i u praváků se liší. Je tedy zřejmé, že nějakou souvislost výkonu VMK s lateralitou budeme pozorovat, přichází však otázka, zda záleží na lateralitě ruky nebo lateralitě hemisfér.

1.3.1 Hypotéza dynamické dominance

Sainburg (2002) uvedl hypotézu dynamické dominance, která je založená na několika zásadních rozdílech v řízení pohybu preferované a nepreferované HK u praváků. Přestože již delší dobu uznává vědecká společnost specializovanou a rovnocennou funkci nedominantní hemisféry, nepreferovaná HK byla vždy v behaviorálních studiích považovaná za méněcennou. Hypotéza dynamické dominance přináší nový pohled na specializaci HKK. Předpokládá, že každá končetina je specializovaná pro jiný druh pohybu navazující na rozdílný způsob motorického řízení. Tato specializace se jeví jako výhodná pro většinu bimanuálních úkonů běžného života. Zatímco funkce pravé preferované ruky je zřejmá a viditelná, funkci levé nepreferované ruky bude potřeba osvětlit. V jejím případě jde o vytváření referenčního rámce pro interakci s preferovanou rukou, což zahrnuje také předvídání pohybu preferované ruky a schopnost přizpůsobení se silám generovaným dominantní končetinou.

Rozdíly v performaci dominantní a nedominantní končetiny závisí na rozdílu ve zpětnovazebné kontrole pohybu. Preferovaná ruka (u praváků) dokáže efektivněji využívat online zpětnou vazbu pro úpravu trajektorie pohybu, což ji činí šikovnou pro dynamické cílené pohyby. Levá ruka těží více z proprioceptivní zpětné vazby, je tedy zručná v udržování pozice (Goble, Brown, 2008).

Úloha druhu zpětné vazby pro performaci

Obecně vzato jsou zrak a propriocepce nejdůležitějšími komponentami zpětné vazby při provádění volního pohybu (Goodale et al., 2004).

Preferovaná ruka (u praváků) je více závislá na vizuální zpětné vazbě, a to zvláště u pohybů na cíl (Goble, Brown, 2008). Nepreferovaná končetina prokázala lepší schopnost spolupráce s proprioceptivní zpětnou vazbou, což se projevilo při úkolu co nejpřesněji napodobit úhel v lokti nebo předvést jiné i vícekloubové nastavení ruky (Goble and Brown, 2007). Dle fMRI testování nutnost využití proprioceptivní zpětné vazby aktivuje pravou hemisféru, a to i u praváků při pohybu jejich pravou HK. Ukazuje to na specializaci pravé nedominantní hemisféry pro proprioceptivní zpětnovazebné řízení pohybu (Butler et al., 2004).

Projevené rozdílné závoslosti na zpětné vazbě odpovídá i aktivace mozkových areí. Při použití preferované ruky (pravé) je více aktivována okcipitální area, což potvrzuje významnou

účasť vizuálneho vjemu pro koordinaci pohybu. Při užití levé nedominantní ruky se aktivuje senzomotorická oblast, frontální area a mozeček. Pohyb je pro nedominantní končetinu více závislý na propriocepci, což vysvětluje aktivitu senzomotorické arey. Aktivace frontálního laloku a mozečku je zřejmě dána vyšší náročností pro koordinaci pohybu nedominantní končetiny, je potřeba více úsilí, což se projeví zapojením více mozkových center (Lavrysen et al., 2008).

Rozdílná specializace preferované a nepreferované HK

Existuje předpoklad, že pro řízení dominantní a nedominantní končetiny jsou využívány rozdílné mechanismy neurální kontroly. Vyplývají z různých strategií využívaných při cíleném pohybu (Bagesteiro, Sainburg, 2002). Strategie pro jednotlivé končetiny odpovídají rozdílné schopnosti intersegmentální dynamiky, která je řízena z CNS. Řízení pohybu a koordinace jednotlivých svalů se podstatně liší pro dominantní a nedominantní končetinu, odlišná je trajektorie pohybu, která vypovídá o unikátní koordinaci kloubních vzorců pozorovaných při pohybu (Sainburg, Kalakanis, 2000).

1. Dominantní systém specializovaný pro koordinaci dynamického pohybu

Dominantní končetina dokáže využívat efektivnější koordinační vzorce. Dominantní ruka vede pohyb z ramenního kloubu, tím se zvětší interakční krouživé síly (torques) lokte a loket samotný potřebuje menší svalovou koordinační sílu. Intersegmentální interakce dovolují dominantní ruce pohyb, který je výhodnější z hlediska krouživých sil působících v oblasti lokte (Elliott, Khan, 2010, s. 229).

Vlivem koordinace pohybu vedených ze svalů ramenního pletence je trajektorie pohybu nezávislá na interakční impulsch z lokte (Sainburg, Kalakanis, 2000). Také EMG nález potvrzuje výhodnější strategii, která snižuje účinek vychylujících krouživých sil (Bagesteiro, Sainburg, 2002).

2. Nedominantní systém specializovaný pro kontrolu impedance HK

V minulosti nebyly známy výhody, z nichž může čerpat nedominantní systém hemisféra/ruka, a proto byl považován za primitivní až neschopný v porovnání se systémem dominantním. Až studie ze začátku tisíciletí přinesly poznatky o funkčních přednostech nedominantního systému. Jsou jimi přesnost v zaujímání pozice (Bagesteiro, Sainburg,

2002), kompenzace vychylujících sil na podkladě somatosenzorické zpětné vazby a reflexe kontroly impedance (Bagesteiro, Sainburg, 2003). Tyto komponenty se skládají ve funkční celek, který zajišťuje specializaci nedominantní končetiny pro dosažení a udržení stabilní pozice. Využití v praxi je dvojího druhu, jednak pro stabilizaci končetiny v závěru cíleného pohybu, a také pro stabilizaci objektu, s nímž operuje dominantní končetina při bimanuálních činnostech. Příkladem je krájení krajíce chleba. Dominantní ruka vede nůž a předvádí koordinovaný pohyb, který produkuje střížné síly nutné k narušení integrity bochníku. Nedominantní ruka klade odpor těmto silám, aby udržela chléb v klidu. Udržování pozice navzdory vnějším silám působícím ve variabilních směrech vyžaduje aktivní motorický projev, který je adaptovaný pro nakládání s proměnlivým zatížením. Nedominantní systém je tedy specializovaný na tlumení vychylujících sil a stabilizaci končetiny v prostoru, k čemuž využívá tedy převážně proprioceptivní zpětnou vazbu (Elliott, Khan, 2010, s. 229).

Horší výkonnost nedominantní končetiny v cílených pohybech prokazuje např. Lavrysen et al. (2008). Nedominantní končetina projevuje v rámci repetitivního cíleného pohybu dříve známky diskoordinace jako jsou sakády a snížení nejvyšší dosažené rychlosti pohybu. Tím nepřímo dokazuje specializaci nedominantní končetiny pro stabilizační funkci.

Unilaterální léze mozku

Výzkum lateralizace motorických funkcí nám dává vysvětlení pro motorické deficity, které pozorujeme u pacientů po unilaterální cévní mozkové příhodě (CMP). Při lézi senzomotorického kortexu dochází k hemiparéze kontralaterální končetiny, avšak jisté postižení funkce bude vykazovat i ruka ipsilezionální. Toto postižení je předvídatelné na základě hypotézy dynamické dominance (Elliott, Khan, 2010). Pravoručí pacienti s lézí levé dominantní hemisféry prokazují deficit v rychlosti pohybu, pokud je ale léze lokalizovaná do pravého kortexu, projeví se zásadní chybovost v dosahování cílové pozice ruky (Wetter et al., 2005). Tento klinický nálezn potvrzuje specializovanost hemisfér pro různé aspekty řízení pohybu a také podporuje hypotézu, která proklamuje důležitou roli obou hemisfér pro řízení unimanuálního pohybu (Elliott, Khan, 2010).

1.3.2 Anatomické a funkční rozdíly mozku leváků a praváků

Jak upozorňují již starší studie, organizace mozku se může dramaticky lišit v závislosti na rukovosti (Culham et al., 2006). Doteď jsme se věnovali lateralitě hemisfér a dělení rukou na dominantní/preferovanou a nedominantní/nepreferovanou. Uváděná fakta se vztahovala na praváky jakožto většinovou společnost. Nyní nastane poněkud složitější situace, neboť vložíme do hry další hráče - a těmi jsou leváci. Tato kapitola je složitá na představivost, proto prosím laskavého čtenáře, aby si uvědomil, že budeme operovat se čtyřmi situacemi ohledně HK:

- pro praváky: preferovaná pravá HK a nepreferovaná levá HK
- pro leváky: preferovaná levá HK a nepreferovaná pravá HK

Dále se vyjmenované kombinace budou snoubit s pravou či levou hemisférou označovanou pro přehlednost jako dominantní a nedominantní vzhledem k rukovosti jedince. (Zde bohužel nastává u leváků problém. Autoři málokdy uvádějí přesnou specifikaci toho, z jakého hlediska považují některou z hemisfér leváků za dominantní - zda podle lokalizace řečového centra, nebo podle spojitosti s funkčním ovládním preferované HK. My zde jako dominantní hemisféru leváků označujeme tu, která stojí kontralaterálně k preferované ruce, tedy vždy hemisféru pravou.)

PET a fMRI: rozdíly aktivace hemisfér u leváků a praváků při unimanuálním pohybu

V závislosti na preferenci ruky existují rozdíly v kortikální asymetrii pro řízení pohybu. Většina studií pracuje s pravorukými probandy a všechny dosud prezentované studie odpovídají výsledkům pravoruké populace. Ovšem Kawashima et al. (1997) přichází s informací, že leváci mají jiné než zrcadlové aktivační oblasti oproti pravákům, což je zajímavé. Jako úkol používá flexi a extenzi ukazováčku. Pool et al. (2014) doplňuje informace z fMRI, úkolem jeho probandů byl stisk pěsti.

SMA a premotorická oblast U leváků pohyb kontralaterální i ipsilaterální HK souvisí se zvýšením aktivity pravé premotorické oblasti. Oproti tomu levá premotorická area byla aktivovaná pouze u pohybu kontralaterální nepreferované končetiny (Kawashima et al., 1997). Pohyb dominantní pravé končetiny je u praváků, na rozdíl od leváků, sdružen se silnou aktivací

interhemisferálního páru ipsi- s kontra- laterální SMA, ipsilaterální premotorické oblasti s kontralaterální M1 (Pool et al., 2014).

M1 (primární motorická kůra) Kawashima et al., (1997) prokazuje bilaterální aktivaci M1 při pohybu nedominantní levé ruky u praváků. Jaký je účel aktivity ipsilaterální M1 pro pohyb? Podle předchozích studií je patrná účast M1 ipsilaterální hemisféry na pohybu ruky u praváků i leváků. Účast obou M1 se projevuje zvláště u komplikovanějších unimanuálních pohybech. Zapojení ipsilaterální M1 je asymetrické, tedy nedochází ke stejně vysoké aktivaci ipsilaterální M1 při pohybu jednou či druhou rukou. U praváků se více aktivuje levá M1 při pohybu levé ruky, než se aktivuje ipsilaterální pravá M1 při pohybu pravé ruky. Z toho lze usoudit na specializaci levé hemisféry na motorické řízení obou rukou (van den Berg et al., 2011).

Leváci se dělí na dvě skupiny, pro jednu je výraznější aktivace levé ipsilaterální hemisféry při pohybu levé ruky, pro druhou je naopak vyšší podíl účasti pravé hemisféry na pohybu pravé ruky. Vzhledem k nekonzistenci lokalizace dominantní (řečové) hemisféry není tento výsledek u leváků překvapivý. Z těchto výsledků autoři usuzují, že asymetrické zapojení ipsilaterální M1 je vázáno spíše na specializaci levé hemisféry. Rukovost jej také ovlivní, avšak méně výrazně (van den Berg et al., 2011).

Dříve se mýnilo, že bilaterální aktivace hemisfér nastává pouze při pohybu preferovanou rukou (testováno u praváků). Jinými slovy, že se levá hemisféra podílí na pohybu obou rukou, kdežto pravá hemisféra pouze na pohybu kontralaterální nepreferované končetiny (Kim et al., 1993). Stejně tak při transkraniální magnetické stimulaci podrážděním levé hemisféry u praváků může dojít k pohybu obou končetin, ale dráždění pravé hemisféry vede vždy pouze k pohybu levé ruky (Ghacibeh et al., 2007). Důvod aktivity levé dominantní hemisféry při pohybu levé nedominantní ruky u praváků zůstává nevyjasněný (Goble, Brown, 2008). Existují názory, že jde o neschopnost pravé hemisféry tlumit činnost levé hemisféry (Kobayashi et al., 2003). Alternativním vysvětlením je již uvedená hypotéza dynamické dominance (viz. kapitola 1.3.1)

Novější studie využívající transkraniální stimulaci však potvrzuje bilaterální aktivaci při pohybech obou končetin, a to u praváků i u leváků. Tato aktivace vykazuje asymetrii excitability

pro nedominantní (kontralaterální k nepreferované ruce) hemisféry u praváků i leváků, nezávisle na rukovosti (Daligadu et al., 2013).

Závěr: funkční asymetrie mozku se liší u leváků a praváků. U leváků je výraznější v oblasti premotorické, u praváků pak v primární motorické areji (Kawashima et al., 1997). U praváků nacházíme výrazně silnější interhemisferální propojení obou SMA (Pool et al., 2014). Je zajímavé, že při bilaterálním pohybu (a bilaterální aktivaci mozku), aktivace levé (nedominantní) končetiny u praváků byla vyšší než aktivace pravé M1 u leváků. Z toho totiž plyne, že i na neuronální úrovni je pohyb nedominantní končetinou náročnější pro praváky než pro leváky, což se projeví tedy nutností většího neuronálního úsilí v M1 (Kawashima et al., 1997).

Index laterality

Pro zjednodušení situace s popisem jednotlivých oblastí aktivace hemisfér při fMRI se zavedl pojem index laterality. V rámci měření se určí lokality, které jsou snímané symetricky z obou hemisfér. Výsledkem je číslo, které odpovídá aktivitě dané oblasti (např. prefrontální oblast), vyjádřené ve voxidech. Hodnoty jednotlivých lokalit dané hemisféry se sečtou a vypočítá se index laterality. Hodnota - 100 znamená kompletní levostrannou lateralizaci, hodnota + 100 znamená kompletní pravostrannou lateralizaci.

1.3.3 Nezávislost performace na lateralitě HK

Behaviorální výzkumy spolu se studiemi mozku odhalily konzistentní rozdíly mezi pohyby levé a pravé ruky pod vizuální kontrolou u praváků. Existuje výrazná a experimentálně podložená souvislost mezi dominantním systémem hemisféra/ruka a preferovaným způsobem vykonávání činnosti, resp. výhodou čerpat z vizuální či proprioceptivní zpětné vazby. Zůstává ale otázkou, zda jsou tyto odlišnosti opravdu založené na funkční specializaci hemisfér. Mohlo by se totiž jednat jednoduše o projev lepší výkonnosti té šikovnější, lépe trénované, preferované ruky. Proto přináší Lavrysen et al. (2012) sledování extrémních leváků při úkolech repetitivního cíleného pohybu flexe a extenze zápěstí.

Aktivační vzory u leváků (fMRI)

Při pohybech pravou nepreferovanou rukou se výrazně aktivoval ipsilaterální postcentralní a intraparietální sulcus. Tento jev vede k domněnce, že leváci potřebují větší senzomotorickou aktivaci při použití své nepreferované HK.

Při pohybu preferovanou levou končetinou se vyskytla přídatná aktivace kontralaterální hemisféry, konkrétně zvýšená aktivace kontralaterálního precentrálního gyru. Tento nárůst zřejmě reflektuje zvýšený senzomotorický dohled během repetitivního pohybu, což by svědčilo pro podřízenou roli komplexu levá ruka/pravá hemisféra u tohoto druhu pohybu (eye-hand coordination) nezávisle na preferenci ruky (Lavrysen et al., 2012).

Hypotéza dynamické dominance u leváků

Odlišnosti hemisferické specializace se prokázaly nejen v aktivačních vzorech dle fMRI, ale drobné rozdíly se ukázaly i v kinematice pohybu levé a pravé ruky. Jedná se o dosažení maximální rychlosti. U obou skupin, leváků i praváků, byla dosažena pravou rukou později, což svědčí pro koncept dynamické dominance. Pozdější výskyt vrcholu rychlosti ubírá končetině čas na závěrečné zacílení a vyžaduje preciznější schopnost využití zpětné vazby (Lavrysen et al., 2008). Komplex pravá ruka/levá hemisféra je zřejmě tedy rychlejší v užívání zpětné vazby i při absenci zraku u leváků shodně s praváky (Lavrysen et al., 2012).

Podle fMRI je perceptuomotorický výkon při jednoduchém a koordinovaném pohybu levé ruky komplikovanější shodně u leváků i u praváků. Závěr studie porovnání leváků a praváků ukazuje, že specializace komplexu levá hemisféra/pravá ruka pro rychlý motorický výkon se jeví jako nezávislá na preferenci ruky a překoná při jednoduchém pohybu i výhodu preferované ruky danou jejím častějším tréninkem v běžném životě (Lavrysen et al., 2012). EEG studie sice ukazují rozdílné vzory náboru neuronů u leváků a praváků, avšak výsledný behaviorální projev potvrzuje vyšší efektivitu při pohybu řízeném z levé hemisféry. Řízení složitých pohybů ruky tedy závisí na jiných neurálních vzorech než rukovost, přičemž vyšší behaviorální úspěšnost je navázaná na komplex levá hemisféra/pravá ruka (Serrien, Sovijärvi-Spapé, 2016).

Przybyla, Good et Sainburg (2012) zkoumali leváky v původním testování, z něhož vzešla hypotéza dynamické dominance. Prokázali lepší koordinaci pro preferovanou ruku u leváků

i praváků (přesnější trajektorie pohybu, nižší iniciální chybovost). Nepreferovaná HK leváků prokázala výrazně lepší výsledky než nepreferovaná HK praváků. U leváků tedy pozorujeme stejný vzorec lépe koordinované motorické dovednosti pro preferovanou končetinu, avšak míra lateralizace je zřejmě vlivem tlaku pravorukého prostředí nižší, což se ukazuje v menším rozdílu performace obou HK u leváků.

Leváci a praváci v performaci

Mnoho studií se věnuje vyšetřování manuálních asymetrií v motorických úkonech. U praváků je dobře zdokumentovaná výhoda performace pro preferovanou ruku. Jejich pravá ruka je rychlejší a přesnější v testovaných úkonech kolíčkového testu, ťukání prstem, ťukání tužkou. Také má silnější stisk (Bryden et al., 2012).

Během pohybu vedeného vizuální zpětnou vazbou se u praváků prokázal fenomén hemispaciálního efektu - každá končetina reaguje rychleji, pokud je cíl jejího pohybu na její straně od středové linie vedené prostorem před tělem. Jinými slovy je výhodou, pokud je cíl v prostoru ipsilaterálním k ruce. Zároveň na podnět ve svém poli reaguje rychleji pravá preferovaná ruka, zatímco levá nepreferovaná je pomalejší (Bryden et al., 2012). Pravá ruka také v ipsilaterálním prostoru vykazuje vyšší přesnost. Tyto výhody jsou založené zřejmě na intrahemisferické integraci vizuálního vjemu cíle v rámci té samé hemisféry, která řídí pohyb končetiny. Např. cíl je v pravém zrakovém poli (tj. vpravo od středové linie prostoru), jeho obraz se tedy promítá do levé hemisféry. Levá hemisféra řídí pohyb pravé končetiny, tudíž cíl je uložen v ipsilaterálním (zde pravém) poli s končetinou a bude proto snadnější jej rychle a přesně dosáhnout (Carey, Otto-de Haart, 2001)

Při pohybech motivovaných úkolem (goal-directed movement) se u praváků prokázaly dva typy motorické asymetrie. Je to kratší reakční čas pro levou nepreferovanou ruku, což je zřejmě dáno specializací pravé hemisféry pro přípravu pohybu a prostorové procesy. Druhá asymetrie ukazuje celkově vyšší rychlost pravé preferované končetiny pro vykonání celého úkolu, vykazuje větší přesnost, a to zvláště při náročnějších úkonech, kde hraje roli rychlost (Elliott, Chua, 1996). Systém levá hemisféra/pravá ruka typicky prokazuje výhodu pro rychlost při cílených pohybech (Bryden et al., 2012).

Existuje několik studií porovnávajících praváky a leváky v motorických úkonech jako je

ťukání prstem, síla stisku, test kolíčků, následování trasy po čtvercovém obvodu, psaní. Prokázaly výsledek, který by se dal předpokládat prostou úvahou, a totiž že leváci mají menší rozdíly mezi performancí dominantní a nedominantní končetiny než praváci (Judge, Stirling, 2003; Serrien, Sovijärvi-Spapé, 2016). Navíc nepreferovaná ruka je šikavnější a rychlejší u leváků než u praváků (Steenhuis, Bryden, 1999).

Aktivační vzory u leváků a praváků

Zajímavá studie se zabývala fMRI snímkováním leváků a praváků při pantomimickém užívání nástrojů. Ke snímkování vybrali 4 oblasti, pro které předpokládali největší rozdíl v aktivaci (prefrontální kortex, premotorický kortex, superiorní a inferiorní části parietálního kortexu) vytvořili index laterality.

Výsledky potvrzují levostrannou hemisferickou lateralizaci nezávislou na tom, která ruka je používána. Při unimanuální pantomimě je asymetrická hemisférická aktivace stejná u leváků i praváků. Z toho plyne hypotéza říkající, že pro pantomimické vyjádření dobře naučených gest používaných v běžném životě se zapojují stejné aktivační vzory u levorukých i pravorukých lidí. Rukovost ovlivní pouze míru levostranné lateralizace aktivačního vzoru, ne však jeho stranu. Leváci vykazují menší asymetrii, což je patrné zvláště v posteriorní parietální oblasti. Společně s poznatky o výskytu řečových a vizuálních center a procesů můžeme uvažovat o obecném tvrzení, že leváci vykazují nižší míru asymetrie lateralizace funkcí (Vingerhoets et al., 2012).

Solodkin et al. (2001) uvádí identické asymetrické aktivační vzory pro praváky a leváky pouze u jednoduchých manuálních úkonů (pohyb prstem), ale už u sekvenčního pohybu prstu prokazuje rozdílnost aktivace ve smyslu zapojení více částí mozku u leváků.

Lavrysen et al. (2012) uvádí stejně komplikovanou aktivaci levé hemisféry u leváků a praváků u jednoduchých i složitějších pohybů.

Tracing tasks

Tracing je obkreslování trasy. Tužkou (v reálném prostředí) či kurzorem (na počítači) se proband drží v dané trase, kterou je nutno projít bez překročení linie. Obkreslování je silně závislé na zpětnovazebné vizuální kontrole. Trajektorie kreslení musí být stále srovnávaná s originálem trasy, čímž je prakticky nemožné, aby generovaný pohyb byl rychlý. Pro jeho precizní vy-

konávání je nutné zapojení prediktivního motorického řízení. Je prokázáno, že v tomto procesu vnitřního odhadu (internal estimation) pro volný pohyb hraje významnou roli PPC (Ogawa, Inui, 2007).

Obkreslování (tracing) a jeho neurologický podklad můžeme nejlépe vysledovat na obtížích v performaci, které přinese poškození jednotlivých oblastí mozku. Ve fyziologickém vývoji se obkreslování jakožto část vizuomotorických dovedností prudce vyvíjí mezi 3. - 4. rokem v souvislosti s plným vývinem schopnosti uvědomování si zrakového vjemu. Zdravý dospělý jedinec dokáže obkreslovat precizně, kdežto dospělý pacient s poškozením mozku zasahujícím do oblastí spojených s vizuomotorickou koordinací bude prokazovat slabou obkreslovací schopnost (Ogawa, Chyino, Inui, 2010).

Piper (2011) ve virtuálním prostředí prokázal u dětí (věk 9-13 let) menší chybovost pro pravou ruku u leváků (jejich nepreferovaná) i u praváků (jejich preferovaná). Výsledek odpovídá specializaci levé hemisféry pro cílený pohyb nezávisle na rukovosti.

2 Cíle a hypotézy

2.1 Cíl

Cílem této studie je ověřit, zda má lateralita HK vliv na vizuomotorické schopnosti zdravého dospělého jedince.

2.2 Hypotézy

Hlavní hypotéza č.1 se vztahuje k posouzení performace dominantních HK praváků a leváků v úkolech vyžadujících vizuomotorickou koordinaci. Dílčí subhypotézy pojednávají o výkonu v jednotlivých testech - chybovost v Testu přesnosti (TP), čas v Testu přesnosti, Test rychlosti (TR), test Klidové přesnosti (KP).

H_01 : Praváci a leváci se neliší v performaci vizuomotorické koordinace svou dominantní končetinou.

H_{A1} : Praváci a leváci se liší v performaci vizuomotorické koordinace svou dominantní končetinou.

sH_01 : Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - chyby“ se u leváků a praváků neliší.

sH_{A1} : Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - chyby“ se u leváků a praváků liší.

sH₀2: Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - čas” se u leváků a praváků neliší.

sH_A2: Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - čas” se u leváků a praváků liší.

sH₀3: Performace dominantní končetiny v „Testu rychlosti” se u leváků a praváků neliší.

sH_A3 : Performace dominantní končetiny v „Testu rychlosti” se u leváků a praváků liší.

sH₀4: Performace dominantní končetiny v „testu Klidové přesnosti” se u leváků a praváků neliší.

sH_A4: Performace dominantní končetiny v „testu Klidové přesnosti” se u leváků a praváků liší.

Hlavní hypotéza č.2 vychází z hypotézy o existenci motoricky úspěšnějšího systému pravá ruka/levá hemisféra nezávislého na rukovosti. Klade si za cíl zkoumat performaci levé a pravé HK nezávisle na lateralitě HK. Pro hodnocení využívá „Test přesnosti - chyby”.

H₀2 : Performace VMK levé HK se neliší od performace pravé HK nezávisle na preferenci HK.

H_A2 : Performace VMK levé HK se liší od performace pravé HK nezávisle na preferenci HK.

sH₀5: Performace VMK levé HK se neliší od performace pravé HK v souboru leváků a praváků jako celku v „Testu přesnosti - chyby”.

sH_A5: Performace VMK levé HK se liší od performace pravé HK v souboru leváků a praváků jako celku v „Testu přesnosti - chyby”.

sH₀6: Performace pravé HK není úspěšnější než performace levé HK ve skupině leváků v „Testu přesnosti - chyby”.

sH_A6: Performace pravé HK je úspěšnější než performace levé HK ve skupině leváků

v „Testu přesnosti - chyby”.

sH_07 : Performace pravé HK není úspěšnější než performace levé HK ve skupině praváků v „Testu přesnosti - chyby”.

sH_A7 : Performace pravé HK je úspěšnější než performace levé HK ve skupině praváků v „Testu přesnosti - chyby”.

Hlavní hypotéza č. 3 pojednává o existenci výhody dominantního systému HK/hemisféra pro vizuální zpětnou vazbu. Využíváme „Test přesnosti - chyby”.

H_03 : Performace VMK dominantního systému HK/hemisféra se neliší od performace nedominantního systému HK/hemisféra.

H_A3 : Performace VMK dominantního systému HK/hemisféra se liší od performace nedominantního systému HK/hemisféra.

3 Metodika

3.1 Charakteristika souboru probandů

Studie se zúčastnilo 30 probandů, kteří byli rozděleni do dvou skupin dle rukovosti. Skupina A s preferencí levé ruky (n=15) a skupina B probandů s preferencí pravé ruky (n=15). V rámci každé skupiny by mělo být obdobné rozložení věkové i podobné zastoupení obou pohlaví.

Kritéria pro přijetí do studie jsou věk 20 - 30 let, plné zdraví. Vylučovací kritéria jsou onemocnění neurologického, ortopedického, psychiatrického spektra ovlivňující funkci HK, dále nekompensované oční vady.

3.2 Metody výzkumu

Nejprve jsme verifikovali laterality, poté jsme provedli testy VMK.

Laterality jsme ověřili podle běžně užívané Edinburské škály s úpravami podle Tichého a Běláčka (2008). Stupeň laterality jsme ověřili testem Dexterity Quotient podle Matějčka.

VMK test jsme prováděli podle našeho vlastního testu zvaného AZ Labyrint a Hůlka (obr. 3.1, 3.2) Měřili jsme 3 testy - Test přesnosti (AZ labyrint), Test rychlosti (AZ labyrint), test Klidové přesnosti (Hůlka).

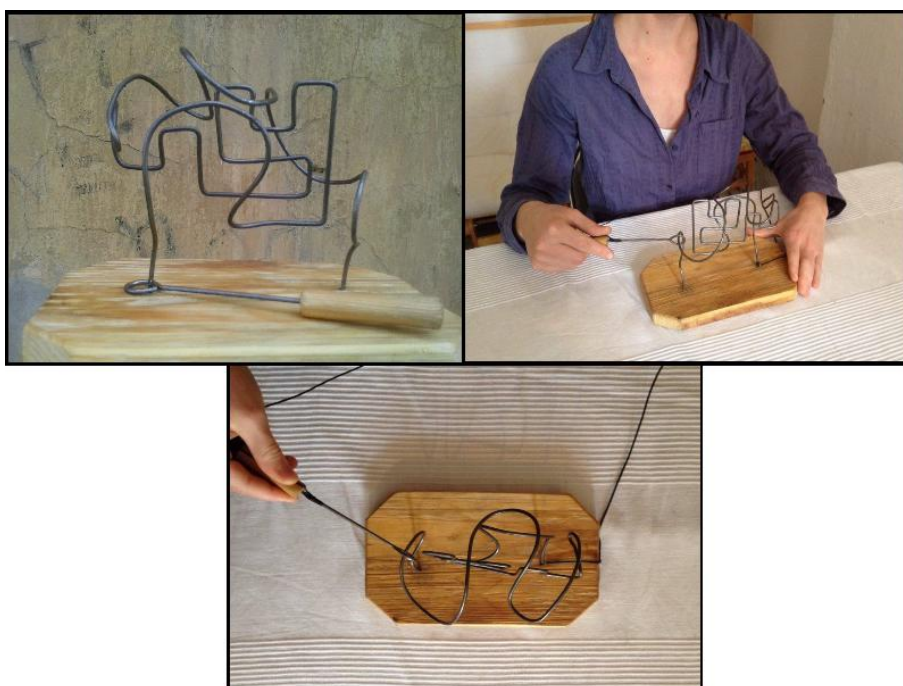
Celou baterii tří testů jsme prováděli dvakrát, nejprve pro preferovanou končetinu a poté pro nepreferovanou. Před každým testem měl proband možnost si jej jedenkrát vyzkoušet. Testy si zachovávaly své pořadí tak, jak je zde uvádíme a probíhaly v přirozeném sledu po sobě. Mezi dotazníkem laterality a samotným testováním byla krátká pauza pro přípravu aparátů, zbytek

testování probíhal v klidném tempu s pauzami pro vysvětlení úkonu.

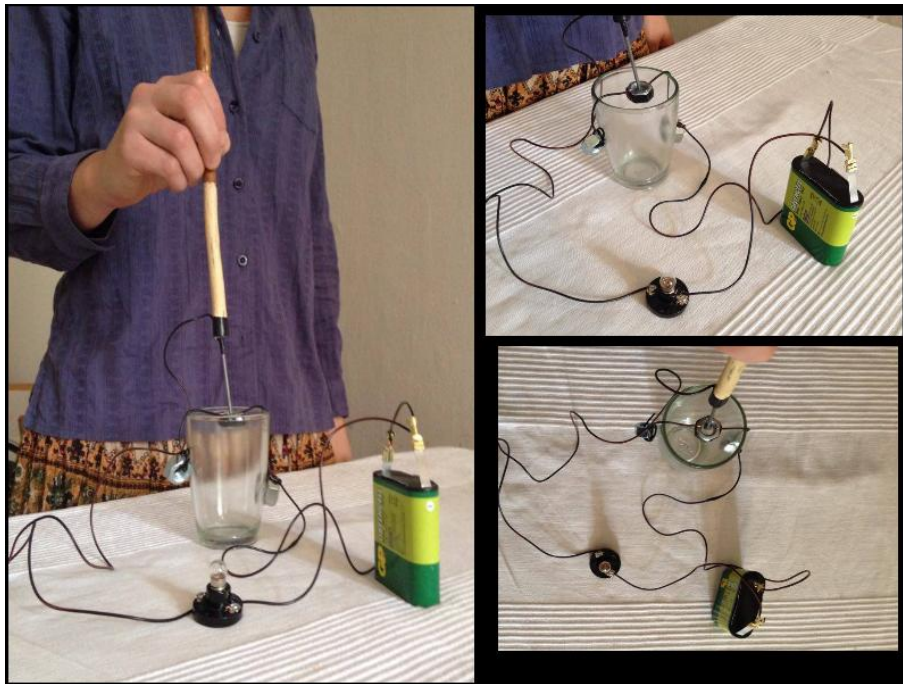
Jedno měření trvalo přibližně 20 min. Probíhalo v klidném prostředí s minimalizací všech rušivých elementů, při dobrém osvětlení. Protože měření probíhalo v zimě, prvních 5 min jsme věnovali dotazníku laterality, aby se probandovy HKK teplotně aklimatizovaly.

3.2.1 Metody měření VMI

Metodiku měření jsme vytvořili na základě inspirace komplexním psychodiagnostickým Vienna Test Systémem, který je primárně vytvořený k diagnostice psychické způsobilosti řidičů. S tímto testem jsem se setkala a seznámila, ovšem okolnosti mi nedovolily jej použít. Proto jsem vyvinula na základě této znalosti vlastní baterii, která přímo přejala test Hůlka pro určení udržení klidové pozice ruky. AZ Labyrint jsme potom vyrobili jako převedení 2D virtuálního úkolu do 3D úkolu v reálném prostředí. Podkladem pro něj byly aparáty z literatury zvané hotwire task (Drugge et al., 2006; Wang et al., 2009).



Obrázek 3.1: AZ labyrint



Obrázek 3.2: Hůlka

Test přesnosti - TP

V tomto testování proband provádí pomalý složitý koordinovaný pohyb s cílem protáhnout očko skrze svrchní cestu AZ Labyrintu tak, aniž by se očko dotklo vodícího drátu. Délka trasy je 58 cm. Zakřivení je kombinované ve všech 3 rovinách.

Proband zaujme pozici v sedě u úměrně vysokého stolu. Používá pouze horní cestu labyrintu. Po zadání instrukcí má 1 zkušební pokus, poté se vrátí zpět na začátek labyrintu, je vyzván k soustředěnosti a ze svého vlastního impulzu začne test. Začátek měření času závisí na probandovi samotném, nespouští ho testující osoba. Pomocí světelných signálů AZ Labyrint signalizuje "chybu", tedy dotek očka. Započítá se počet chyb a čas provedení. Celý test se provádí dvakrát, a to tam a zpět.

Tento test považujeme za stěžejní bod této práce, neboť nám podává informaci o schopnosti vysoce koordinovaného pohybu ve 3D prostoru s nutností využití online zpětné vazby.

Test rychlosti - TR

Zadáním tohoto testu je protáhnout očko AZ Labyrintem za co nejkratší čas. Při tomto testu je povolen dotyk očka a drátu, využívá se plná trasa labyrintu. Délka trasy je 147 cm.

Test se provádí v sedě u stolu. Netestovanou končetinou si proband přidržuje dřevěnou podsadu labyrintu. Má 1 zkušební pokus, aby našel cestu labyrintem tam i zpět. Poté měřící osoba motivuje probanda k rychlosti a odstartuje měření. V tomto testu jsme vypnuli světelnou signalizaci chyb, aby nerušila ve výkonu. Výsledkem měření je dosažený čas. Celý test se provádí dvakrát, a to tam a zpět.

Test klidové přesnosti - KP

Cílem tohoto testu je udržet Hůlku vprostřed úzkého kroužku po dobu 30 s tak, aby se ho nedotkla.

Testuje se ve stoji, proband stojí rovně, paže je volně pokrčená v lokti, ten se nesmí zapírat o tělo. Na hůlce je vyznačená linie nad níž je možné hůlku uchopit. Poté proband vsune hrot hůlky svisle do kroužku a začne odměření 30 s. Výstupem tohoto testu je počet chyb. Test provádíme jednou.

3.2.2 Metody měření laterality

Edinburg scale

V dotazníku proband vyplňuje kterou ruku preferuje pro vykonávání dané činnosti. Dotazník je založen na široce využívaném Edinburgském dotazníku, jehož autorem je Oldfield (1971), je doplněný o další položky dle Tichého a Běláčka (2008).

Dextrity Quotient

Dextrity Quotient slouží ke zjištění pravostranných reakcí v procentech. K výpočtu se používá vzorec, který obsahuje proměnné: P – což je součet všech pouze pravostranných reakcí zjištěných při diagnostice, $A/2$ – znamená polovinu úkonů, které byly provedeny oběma rukama, pravou i levou, tzn. nevyhraněně, n – je počet všech úkonů.

psaní	L	P	obě
kreslení	L	P	obě
házení	L	P	obě
stříhání nůžkami	L	P	obě
držení kartáčku na zuby	L	P	obě
krájení nožem	L	P	obě
držení lžice	L	P	obě
škrtání sirkou	L	P	obě
odemykání klíčem	L	P	obě
držení nitě při navlékání do jehly	L	P	obě
držení hřebínku	L	P	obě
kopající noha do balonu	L	P	obě
kterým okem koukáte do klíčové dírky	L	P	obě

Tabulka 3.1: Edinburghský dotazník

$$DQ = (P + A/2 \cdot 100)/n$$

Výsledek kvocientu pravorukosti je rozložen ve stupnici od 0 do 100:

DQ = 100 – 90 P vyhraněné, výrazné praváctví

DQ = 89 – 75 P méně vyhraněné praváctví

DQ = 74 – 50 A nevyhraněná laterálita

DQ = 49 – 25 L méně vyhraněné leváctví

DQ = 24 – 0 L vyhraněné leváctví

(Matějček, 1972)

3.3 Statistické zpracování

K záznamu dat jsme použili MS Excel, poté byla data exportována a vyhodnocena v programu STATISTICA 12Cz.

3.3.1 Úprava dat

V TP a TR jsme naměřili dvě hodnoty, z nichž jsme spočítali průměr. Ke statistickému zpracování používáme tuto průměrnou hodnotu. Tímto opatřením snižujeme pravděpodobnost výskytu extrémních hodnot, které by v malém vzorku probandů mohly způsobit zkreslení dat. Výstupem tedy máme hodnoty TP - čas, TP - chyby, TR (čas), KP (chyby) pro čtyři měření - preferovaná končetina leváků, nepreferovaná končetina leváků, preferovaná končetina praváků a nepreferovaná končetina praváků.

Provedli jsme popisné statistiky pro soubor leváků a praváků.

3.3.2 Lateralita

Hodnotu DQ určíme podle rovnice

$$DQ = (P + A/2 \cdot 100)/n \text{ (viz. výše)}$$

Na základě výsledků rozdělíme probandy do skupin A = praváci, B = nepraváci, tj. leváci a ambidexteři. Pro zjednodušení používáme pojmenování skupin „praváci“ a „leváci“.

3.3.3 VMK

Testovali jsme normalitu dat Shapiro-Wilkovým testem. Jediný TP-čas měl normální rozložení v obou skupinách, mohli jsme tedy použít pro ověření sH č. 2 parametrický t-test. Všechny ostatní soubory neměly normální rozložení, testovali jsme proto podle neparametrického Wilcoxonova testu. V případě potřeby jsme doplnili názorným krabicovým grafem.

3.4 Technické parametry

AZ Labyrint je vyroben z elektricky vodivého drátu, je celý zapojen do jednoduchého obvodu napájeného přes adaptér ze zásuvky. Když se kroužek dotkne vodivého drátu, dojde k uzavření obvodu a sepnutí světelného signálu. Celý labyrint je zasazen do dřevěné desky, kterou je možno si během testování přidržovat.

Test Hůlka funguje obdobně, zdrojem je 4,5 V baterie. Obvod se uzavírá při kontaktu hrotu hůlky a kroužku. Linie držadla je 17 cm od hrotu hůlky, průměr hůlky je 0,7 cm, vnitřní průměr kroužku je 1 cm.

4 Výsledky

Soubor probandů se dělí na dvě skupiny, vedoucí k porovnání performace preferované HK praváků a leváků, z nichž každá čítá 15 jedinců. Pro druhou hypotézu jsou data rozdělena na dvě části, na performaci pravé a levé HK nezávisle na tom, zda je končetina preferovaná nebo nepreferovaná.

Statistická významnost byla standardně stanovena na hladinu 5 % ($p < 0,05$).

4.1 Popisné statistiky

Věk

Soubor probandů se podařilo sestavit velmi vyváženě pro proměnnou věku. Průměrný věk celého souboru je $23,76 \pm 2,45$ (SD) let, průměrný věk leváků je $23,1 \text{ let} \pm 1,96$ (SD) a praváků $24,4 \text{ let} \pm 2,03$ (SD). Minimum v obou skupinách nalézáme na hodnotě dvacet let, maximum pak u praváků 29 let a u leváků 27 let.

Tabulka 4.1: Popisné statistiky I

Proměnná	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Sm.odch.
věk celkově (roky)	30	23,76	20	29	2,45
věk L (roky)	15	23,10	20	27	1,96
věk P (roky)	15	24,42	20	29	2,03

Pohlaví

Vyrovnané jsou obě skupiny i v počtu mužů a žen v mírný prospěch žen. Ve skupně leváků se nachází 12 žen a 3 muži, ve skupině praváků je to 11 žen a 4 muži. Převaha žen zřejmě odpovídá prostředí, z něhož byli probandi vybíraní.

Tabulka 4.2: Popisné statistiky II

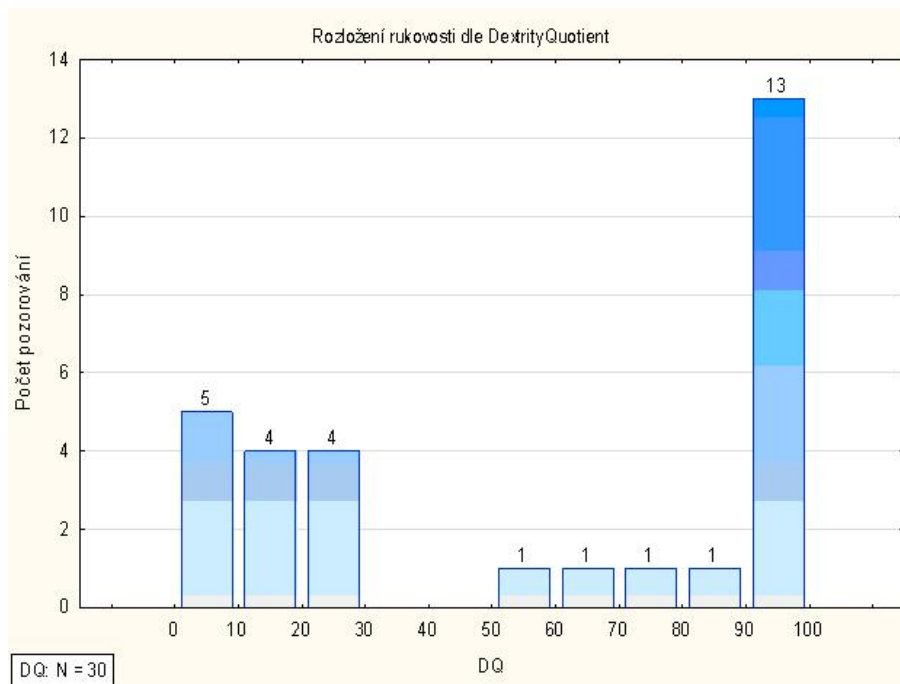
Proměnná	leváci	praváci	celkem
ženy	12	11	23
muži	3	4	7
celkem	15	15	30

Dexterity quotient

Rozdělení podle míry laterality je uspokojivě symetrické pro skupinu leváků a praváků. Praváci jsou nepatrně výrazněji lateralizovaní, 13/15 praváků je v kategorii vyhraněné praváctví, v kategorii vyhraněné leváctví je 10/15. 2 probandi spadají do kategorií ambidexter, nevyhraněná lateralita. Zařazujeme je do skupiny leváků, čímž by se pro tuto skupinu přiléhavěji hodil název nepraváci (z angličtiny "adextrals"). Pro přehlednost jsme tento pojem nezaužívali.

Tabulka 4.3: Dexterity quotient

Kategorie DQ	Četnost	Kumulativní četnost	Rel.četn. (platných)	Kumul. % (platných)	Rel.četn. všech	Kumul. %,všech
0	2	2	6,66667	6,6667	6,25000	6,2500
1 - 20	7	9	23,33333	30,0000	21,87500	28,1250
21 - 40	4	13	13,33333	43,3333	12,50000	40,6250
41 - 60	1	14	3,33333	46,6667	3,12500	43,7500
61 - 80	2	16	6,66667	53,3333	6,25000	50,0000
81 - 100	14	30	46,66667	100,0000	43,75000	93,7500



Obrázek 4.1: Dexterity quotient

4.2 Výsledky Hypotézy č.1

H_0 1: Praváci a leváci se neliší v performaci vizuomotorické koordinace svou dominantní končetinou.

H_A 1: Praváci a leváci se liší v performaci vizuomotorické koordinace svou dominantní končetinou.

Následující subhypotézy postupně potvrzují, že ve všech třech testech neexistuje signifikantní rozdíl mezi performancí dominantních HK leváků a praváků. Znamená to tedy, že performance obou skupin je srovnatelná. Na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ nemůžeme zamítnout ani jednu subhypotézu.

Platí:

H_0 1: Praváci a leváci se neliší v performaci vizuomotorické koordinace svou dominantní končetinou.

Subhypotéza č.1, Test přesnosti - chyby

sH_01 : Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - chyby” se u leváků a praváků neliší.

sH_{A1} : Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - chyby” se u leváků a praváků liší.

Test přesnosti jsme rozdělili na dvě položky, testování času a chybovosti. Chybovost nemá normální rozložení v obou souborech, použili jsme pro její porovnání Mann-Whitneyův U-Test. Na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ se ukázal jako nevýznamný, tudíž sH_01 nemůžeme zamítnout.

Platí:

sH_01 : Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - chyby” se u leváků a praváků neliší.

Nejmenší počet chyb měl levák, v desítkách s nejmenší chybovostí jsou 4 leváci a 6 praváků. 4 nejvyšší hodnoty nalézáme u praváků se dvěma extrémními hodnotami 25 a 30 chyb.

Tabulka 4.4: Test přesnosti - chyby, dominantní HKK praváků a leváků

Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost)										
Grupováno dle proměnné: lateralita										
Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$										
Proměnná	Sčet poř. skup. 1	Sčet poř. skup. 2	U	Z	p-hodn.	Z upravené	p-hodn.	N platn. skup. 1	N platn. skup. 2	2x1str. přesné p
TP chyby	270,0000	195,0000	75,0	1,53	0,124861	1,53932	0,123728	15	15	0,126147

4.2.1 Subhypotéza č.2, Test přesnosti - čas

sH_02 : Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - čas” se u leváků a praváků neliší.

sH_{A2} : Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - čas” se u leváků a praváků liší.

Test přesnosti - čas má normální rozložení, můžeme použít parametrický t-test. Na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ se ukázal jako nevýznamný, tudíž sH_02 nemůžeme

zamítnout.

Platí:

sH_02 : Performace dominantní končetiny v „Testu přesnosti - čas” se u leváků a praváků neliší.

Leváci a praváci se neliší v rychlosti s níž provedli TP.

Tabulka 4.5: Test přesnosti - čas, dominantní HKK praváků a leváků

t-testy; grupováno podle: lateralita											
Proměnná	Průměr 1	Průměr 2	t	sv	p	Poč.plat 1	Poč.plat. 2	SD. 1	SD. 2	F-poměr Rozptyly	p Rozpt.
D TP čas	37,72	36,72	0,19	28	0,85	15	15	14,63	13,94	1,1018	0,8585

4.2.2 Korelace Testu přesnosti, čas x chyby

Test přesnosti - chyby nemá normální rozložení, pročež koreluje neparametricky podle Spearmanova korelačního koeficientu. Testujeme zda existuje závislost mezi časem a chybovostí v Testu přesnosti pro dominantní končetiny leváků a praváků.

Na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ se ukázal jako nevýznamný, tudíž můžeme konstatovat, že neexistuje souvislost mezi rychlostí a chybovostí v TP. Můžeme je tedy hodnotit samostatně.

Tabulka 4.6: Spearmanova korelace TP - čas x chyby, preferovaná HKK praváků a leváků

	Spearmanovy korelace ChD vynechány párově Označ. korelace jsou významné na hl. $p < 0,05$			
Dvojice proměnných	Počet plat.	Spearman R	t(N-2)	p-hodn.
TP čas & TP chyby	30	0,014950	0,079119	0,937501

4.2.3 Subhypotéza č.3, Test rychlosti

sH_03 : Performace dominantní končetiny v „Testu rychlosti” se u leváků a praváků neliší.

sH_{A3} : Performace dominantní končetiny v „Testu rychlosti” se u leváků a praváků neliší.

Test rychlosti nemá normální rozložení, použijeme neparametrický Mann-Whitney U Test. Na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ se ukázal jako nevýznamný, tudíž sH_03 nemůžeme zamítnout.

Platí:

sH_03 : Performace dominantní končetiny v „Testu rychlosti“ se u leváků a praváků neliší.

Praváci a leváci se neliší v čase TR.

Tabulka 4.7: Test rychlosti, dominantní HKK praváků a leváků

Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) Grupováno dle proměnné: lateralita Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$										
Proměnná	Sčet poř. skup. 1	Sčet poř. skup. 2	U	Z	p-hodn.	Z upravené	p-hodn.	N platn. skup. 1	N platn. skup. 2	2x1str. přesné p
TR průměr	254,0000	211,0000	91,0	0,87	0,383733	0,87104	0,383733	15	15	0,389233

4.2.4 Subhypotéza č.4, test Klidové přesnosti

sH_04 : Performace dominantní končetiny v „testu Klidové přesnosti“ se u leváků a praváků neliší.

sH_{A4} : Performace dominantní končetiny v „testu Klidové přesnosti“ se u leváků a praváků neliší.

Test Klidové přesnosti nemá normální rozložení, použijeme neparametrický Mann-Whitney U Test. Na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ se ukázal jako nevýznamný, tudíž sH_04 nemůžeme zamítnout.

Platí:

sH_04 : Performace dominantní končetiny v „testu Klidové přesnosti“ se u leváků a praváků neliší.

Leváci a praváci se neliší v počtu chyb, které utržili v testu KP.

Tabulka 4.8: test Klidové přesnosti, dominantní HKK praváků a leváků

Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) Grupováno dle proměnné: lateralita Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$										
Proměnná	Sčet poř. skup. 1	Sčet poř. skup. 2	U	Z	p-hodn.	Z upravené	p-hodn.	N plat. sk. 1	N plat. sk. 2	2x1str. přesné p
KP chyby	201,0	264,0	81,0	-1,28	0,198507	-1,30333	0,192461	15	15	0,201679

4.3 Výsledky Hypotézy č.2

Pro tuto hypotézu jsme rozdělili soubor na dva závislé vzorky, kterými jsou performance levé HK a performance pravé HK u týchž probandů v "Testu přesnosti - chyby". Testujeme hypotézu o souvislosti systému pravá HK/levá hemisféra a to dvakrát ve třech subhypotézách pro celý soubor (n=30), pouze pro leváky (n=15) a pouze pro praváky (n=15).

H_{02} : Performance VMK levé HK se neliší od performance pravé HK nezávisle na lateralitě HK.

H_{A2} : Performance VMK levé HK se liší od performance pravé HK nezávisle na lateralitě HK.

Nalézáme signifikantně významnou preferenci systému pravá HK/levá hemisféra ve skupině praváků i v celém souboru, pokud je hodnocen souhrnně. U skupiny leváků ale výhodu pro tento systém nenalézáme, nemůžeme tedy potvrdit nezávislost na lateralitě. Na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ nemůžeme zamítnout H_{02} .

Platí:

H_{A2} : Performance VMK levé HK se liší od performance pravé HK nezávisle na lateralitě HK.

Subhypotéza č.5, Test přesnosti pro pravou a levou ruku celého souboru

sH_{05} : Performance VMK levé HK se neliší od performance pravé HK v souboru leváků a praváků jako celku v „Testu přesnosti - chyby”.

sH_{A5} : Performance VMK levé HK se liší od performance pravé HK v souboru leváků a praváků jako celku v „Testu přesnosti - chyby”.

Chybovost pro výkon pravé a levé HK v rámci celého souboru nemá normální rozložení, testujeme proto podle neparametrické statistiky Mann-Whitney U-test. Na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ zamítáme sH_{05} a přijímáme alternativní hypotézu.

Platí:

sH_{A5}: Performace VMK levé HK se liší od performace pravé HK v souboru leváků a praváků jako celku v „Testu přesnosti - chyby”.

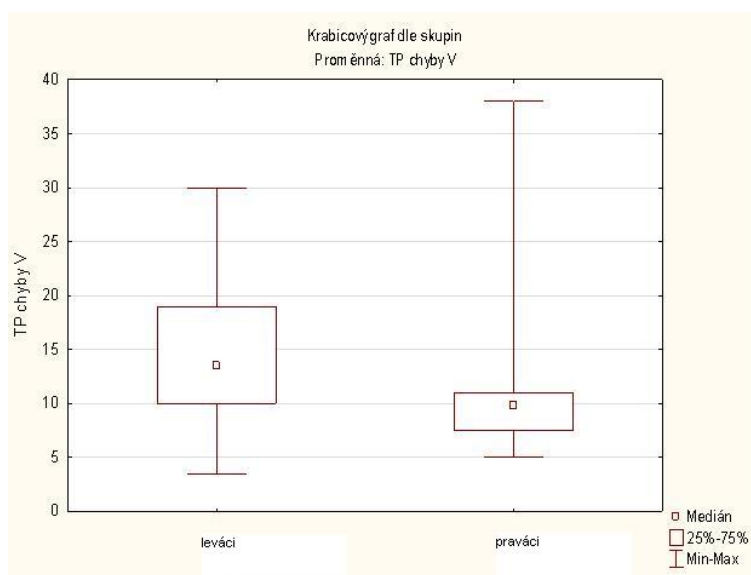
V souboru leváků a praváků nacházíme výhodnější motorickou úspěšnost pro systém pravá ruka/levá hemisféra ve vysoce koordinovaném úkolu VMK - „Test přesnosti - chyby”.

Tabulka 4.9: Popisná statistika pro performaci levé a pravé HK v celém souboru

Proměnná	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Sm.odch.
TP chyby	60	12,89167	3,5	38,0	6,532897

Tabulka 4.10: Test přesnosti pro pravou a levou ruku celého souboru

Proměnná	Sčet poř. skup. 1	Sčet poř. skup. 2	U	Z	p-hodn.	Z upravené	p-hodn.	N platn. skup. 1	N platn. skup. 2	2x1str. přesné p
TP chyby	1104,500	725,5000	260,5	2,7942	0,0052	2,799473	0,005119	30	30	0,004530



Obrázek 4.2: Test přesnosti pro pravou a levou HK ve společném souboru leváků a praváků

4.3.1 Subhypotéza č.6, Test přesnosti pro pravou a levou HK ve skupině leváků

sH₀₆: Performace pravé HK není úspěšnější než performace levé HK ve skupině leváků v „Testu přesnosti - chyby”.

sH_{A6} : Performace pravé HK je úspěšnější než performace levé HK ve skupině leváků v „Testu přesnosti - chyby”.

Porovnáváme výkon preferované a nepreferované končetiny leváků za účelem zjistit, zda-li u nich nalezneme v koordinačně náročném úkoku TP-chyby výhodu pro systém pravá ruka/levá hemisféra. Rozložení je nenormálně, testujeme neparametrickým Mann-Witney U Testem.

Ve skupině leváků nenalzááme na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ signifikantní rozíl, sH_06 nemůžeme zamítnou. U leváků nalzááme úspěšnější performaci levé HK.

Platí:

sH_06 : Performace pravé HK není úspěšnější než performace levé HK ve skupině leváků v „Testu přesnosti - chyby”.

4.3.2 Subhypotéza č.7, Test přesnosti pro pravou a levou HK ve skupině praváků

sH_07 : Performace pravé HK není úspěšnější než performace levé HK ve skupině praváků v „Testu přesnosti - chyby”.

sH_{A7} : Performace pravé HK je úspěšnější než performace levé HK ve skupině praváků v „Testu přesnosti - chyby”.

Porovnáváme výkon preferované a nepreferované končetiny praváků za účelem zjistit, zda-li u nich nalezneme v koordinačně náročném úkoku TP-chyby výhodu pro systém pravá ruka/levá hemisféra. Rozložení je nenormálně, testujeme neparametrickým Mann-Witney U Testem.

Ve skupině praváků nalzááme na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ signifikantní rozíl, sH_07 zamítáme a přijímáme sH_{A7} . U praváků nalzááme signifikantně nižší chybovost, tedy úspěšnější performaci pravé HK.

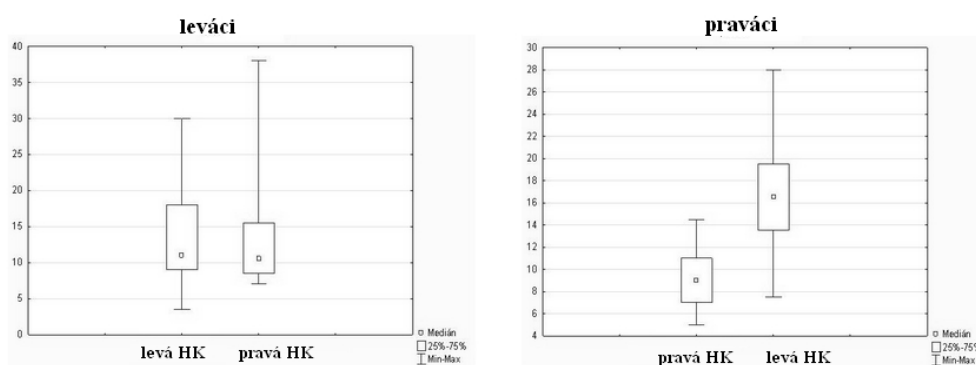
Platí:

sH_{A7} : Performace pravé HK je úspěšnější než performace levé HK ve skupině praváků v ”Testu přesnosti - chyby”.

Tabulka 4.11: systém pravá ruka/levá hemisféra, leváci a praváci

Wilcoxonův párový test (Záznamový arch celk_final)				
Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$				
D TP, chyby & N TP průměr chyby	Počet platných	T	Z	p-hodn.
leváci	13	44,00000	0,104828	0,916512
praváci	15	1,000000	3,350975	0,000805

**H2: pravá HK/levá hemisféra
TP chyby**



Obrázek 4.3: systém pravá ruka/levá hemisféra u leváků a praváků

4.4 Hypotéza č.3

Tato hypotéza se vyrovnává s otázkou, zda existuje výhoda dominantního systému HK/hemisféra před nedominantním pro vizuální zpětnou vazbu. Využíváme „Test přesnosti - chyby”.

H_03 : Performace VMK dominantního systému HK/hemisféra se neliší od performace nedominantního systému HK/hemisféra.

H_{A3} : Performace VMK dominantního systému HK/hemisféra se liší od performace nedominantního systému HK/hemisféra.

Ve skupině leváků a praváků dohromady nalézáme na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ signifikantní rozdíl, H_03 zamítáme a přijímáme H_{A3} . Nalézáme napříč rukovostí signifikantně nižší výskyt chyb v TP. Rozdíl nalézáme u leváků i u praváků, u praváků je výrazněji vyjádřen.

Platí:

H_{A3} : Performace VMK dominantního systému HK/hemisféra se liší od performace nedominantního systému HK/hemisféra.

Tabulka 4.12: Preferované vs nepreferované HK společného souboru leváků a praváků

Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (excel - pro DomNedom) Dle proměn. D/N v celkovém souboru leváků a praváků Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$										
Proměnná	Sčt poř. D	Sčt poř. N	U	Z	p-hodn.	Z upr.	p-hodn.	N platn. D	N platn. N	2x1str. přesné p
TP chyby	753,5	1076,5	288,5	-2,3	0,017299	2,385	0,017092	30	30	0,016178

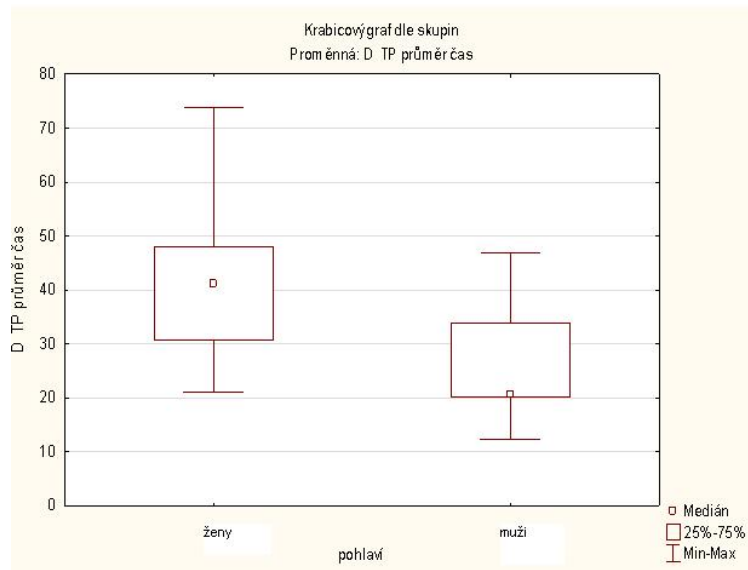
4.5 Doplnková měření

4.5.1 Test Přesnosti, rozdíl mezi muži a ženami

Performace dominantních končetin mužů a žen v TP - chyby nemá normální rozložení. Na hladině statistické významnosti $p < 0,05$ nacházíme signifikantní rozdíl pro čas, ne však pro chybovost. Muži dosahují obecně rychlejšího času než ženy, aniž by prokazovali signifikantě vyšší chybovost. Medián rychlosti pro muže se pohybuje okolo 20 s, pro ženy je to více než dvojnásobek. Ženy také dosahují extrémnějších hodnot.

Tabulka 4.13: Test Přesnosti - čas, rozdíl mezi muži a ženami v rámci celého souboru

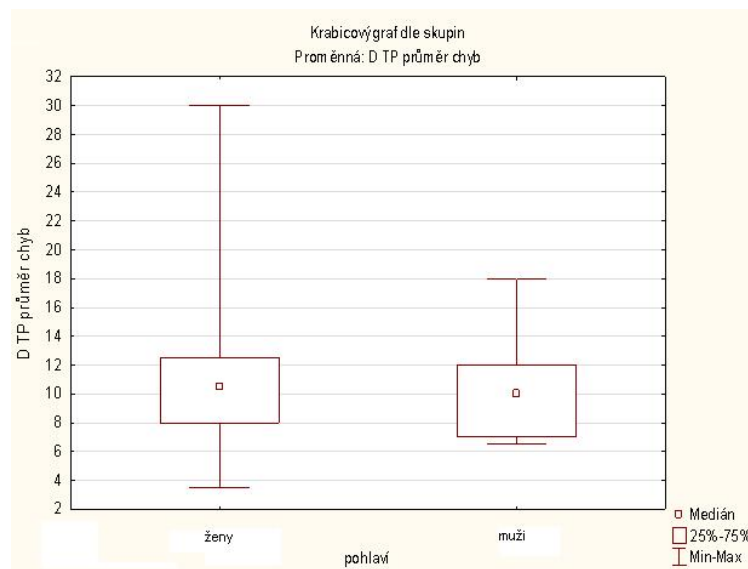
Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (excel - celý soubor) Dle proměn. pohlaví v celkovém souboru leváků a praváků Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$										
Proměnná	Sčt poř. 1	Sčt poř. 2	U	Z	p-hodn.	Z upr	p-hodn.	N plat. 1	N plat. 2	2x1str. přesné p
D TP čas	411,0000	54,00000	26,0	2,647	0,008101	2,647833	0,008101	23	7	0,005906



Obrázek 4.4: Závislost času na pohlaví, TP-čas.

Tabulka 4.14: Test Přesnosti - chyby, rozdíl performací mezi muži a ženami v rámci celého souboru

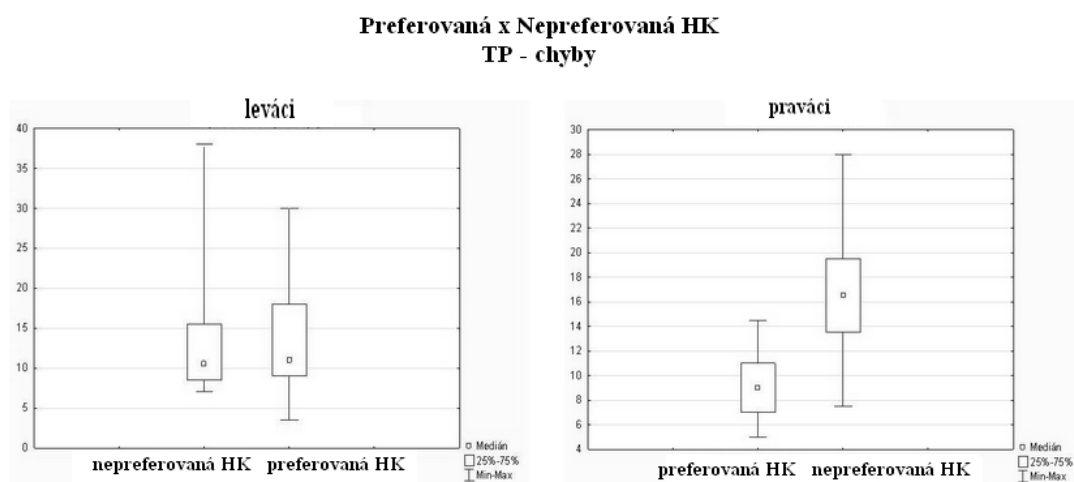
Mann-Whitneyův U Test (w/ oprava na spojitost) (excel - celý soubor) Dle proměn. pohlaví v celkovém souboru leváků a praváků Označené testy jsou významné na hladině $p < 0,05000$										
Proměnná	Sčt poř. 1	Sčt poř. 2	U	Z	p-hodn.	Z upr	p-hodn.	N plat. 1	N plat. 2	2x1str. přesné p
D TP chyby	366,0000	99,00000	71,0	0,441	0,658992	0,442637	0,658029	23	7	0,665995



Obrázek 4.5: Závislost chybovosti na pohlaví, TP-chyby.

4.5.2 Rozdíl preferovaných a nepreferovaných končetin v závislosti na lateralitě HK

Krabicový graf ukazuje na výrazný intermanuální rozdíl v závislosti na lateralitě. Rozdíl performance praváků jejich preferovanou a nepreferovanou končetinou je velmi silný s mediánem 9 chyb pro pravou preferovanou HK a 16,5 chyby pro nepreferovanou levou HK. Naopak leváci vykazují poměrně vyrovnaný výkon oběma HKK, s mediánem 10,5 chyb a 11 chyb pro levou a pravou HK.



Obrázek 4.6: Preferovaná a nepreferovaná HK u leváků a praváků

5 Diskuse

Tato diplomová práce se zabývala otázkou, zda a jak souvisí lateralita s performací vizuomotorické koordinace. K tomuto účelu jsme si zvolili sadu testů inspirovanou Vienna Test Systémem, která se sestává z úloh, jež odpovídají specializaci hemisfér. Díky tomu můžeme z výsledků kromě explicitního hodnocení performace dominantních HKK leváků a praváků usuzovat též na projev specializace hemisfér, což se ukázalo jako výhodné.

Diskuse k výsledkům měření

První a stěžejní hypotéza naší práce se týkala otázky, jestli existuje opodstatněný důvod se domnívat, že jsou praváci šikovnější než leváci nebo naopak. Zda opravdu existuje rozdíl ve výkonnosti preferované ruky, který by byl závislý na rukovosti. Tato myšlenka vzešla ze zmínky ve studii Tichého a Běláčka (2013), kteří v testu hrubé motoriky konstatovali lepší přesnost leváků. Naše práce však potvrdila rovnost mezi oběma rukovostními skupinami a to v plném rozsahu testové baterie. Výkony dominantních končetin byly vyrovnané a tudíž není důvod se domnívat, že by lateralita HK mohla vést k obecným závěrům o schopnosti jedince vykonávat koordinované pohyby jemné motoriky pod vizuální kontrolou.

Druhá hypotéza byla inspirovaná výzkumem Lavrysen et al. (2012), který popisuje nezávislost aktivačních neurálních vzorů na lateralitě. V tomto výzkumu prokázali levorucí i pravorucí probandi stejné neurální aktivační vzory pro pohyb své levé a pravé HK. Tento výzkum se lišil od našeho zejména koordinační jednoduchostí dotazovaného úkolu, což mohlo zapříčinit rozdíl ve výsledku, který jsme shledali (viz. s. 67). Lavrysen et al. (2012) pracuje na úrovni aktivace mozku, my jsme šli od mozku dále k efektoru, a aplikovali tento předpoklad na performaci HK. Pro toto měření jsme vybrali pouze TP-chyby, jakožto koordinačně

nejnáročnější test, který tedy bude schopný nejméně rozlišit rozdíly. Výhodu systému pravá HK/levá hemisféra jsme našli pro praváky, což není překvapivé, neboť jde o performaci jejich preferované končetiny. Našli jsme významnou výhodu pro performaci pravé HK také v rámci celého souboru. Tento výsledek také není tolik překvapivý, neboť leváci přidání do zkoumaného souboru vykazují menší míru lateralizace než praváci, tj. z performačního hlediska jsou výkony jejich HK vyrovnanější a tím by se dalo říci, že nepreferovaná končetina je šikovnější a tudíž méně zatěžuje výsledný rozdíl. Nicméně jsme ale neshledali výhodu pravé HK u leváků, tudíž hypotézu o výhodě systému pravá HK/levá hemisféra nemůžeme potvrdit jako nezávislou na ruce.

Výsledek třetí hypotézy potvrzuje závěr, který bychom mohli učinit prostou úvahou, tj. výkon preferované končetiny vždy předčí výkon nepreferované končetiny, ať už se jedná o leváky či praváky. Intermanuální rozdíl je výraznější u praváků, což můžeme vysvětlit větší mírou lateralizace praváků (Bourne, 2008).

Limity studie

Potenciálním limitem studie byl výběr specifického vzorku populace z řad studentů fyzioterapie, u něhož lze předpokládat nadprůměrnou koordinační schopnost. Tohoto limitu jsme se záměrně vyvarovali a skupinu praváků i leváků sestavili z řad probandů rozličného zaměření. Stále ale všichni účastníci jsou studenti vysoké školy, což může ovlivňovat celkové mentální a psychomotorické vlastnosti.

Testovaný soubor 15 + 15 probandů není široký a některé extrémní hodnoty narušovaly normalitu dat, což vedlo k nutnosti testování podle neparametrických testů. Extrémní hodnoty také mohly v nepřítomnosti rozsáhlého vzorku nepatříčně ovlivnit jeho výsledek.

Testovací sada je složená z testů inspirovaných literaturou, nejde tedy o nové testy, avšak samotné testovací aparáty nemají ověřené standardní psychometrické vlastnosti. Pro účely naší studie je vyhovující, že v principu tyto testování psychometricky ověřené jsou a tudíž jsme je mohli využít ve vlastním provedení.

Přínos pro praxi

V praxi jsou výsledky naší studie aplikovatelné zvláště na pacienty po CMP, další možnost využití je potom pro sportovce.

Hodnocení laterality

Hodnocení laterality jsme prováděli podle Edinburské škály (Oldfield, 1971). Tato škála je v literatuře dlouhodobě nejběžněji užívaná. Vedle ní je také dobře zavedený dotazník podle Annett, užívaný převážně v USA (Williams, 1991). Klasický 10 položkový dotazník jsme rozšířili podle Tichého a Běláčka (2008) o další čtyři položky. Dotazovali jsme také preferenci nohy a oka pro případné další využití dat.

Kromě dotazníkových vyšetření je možné použít k určení rukovosti přímo testy performance (např. ťukání prstem a kuličkový test), které ale musí být použité v kombinaci, neboť samy o sobě nejsou dostatečně citlivé. Rukovost je pravděpodobně vícedimenzionální projev a musí být proto testovaná pro různé aspekty performance HK (Corey et al., 2001). Pro jednoduchost a komplexnost jsme zvolili dotazníkové testování.

Skupina praváků je podle výsledků více lateralizovaná, v pásmu DQ 90-100 se nalézají 13/15 probandů, proti tomu v extrémním pásmu leváctví 0-10 pouze 7/15 probandů. K levákům jsme přiřadili v souladu s literaturou (př. Carey et al., 2014) také ambidextry, jakožto "nepraváky", tudíž míra laterality skupin je odlišná ve smyslu nižší lateralizace leváků. Tato situace odpovídá reálnému rozložení míry laterality v populačním měřítku - leváci jsou zřejmě tlakem pravorukého prostředí podstatně méně lateralizovaní než praváci (Przybyla, Good et Sainburg, 2012).

Konsekvence laterality

Je zajímavé pohlédnout na souvislosti stojící za příčinou rozdílnosti preference končetin. Kulturní tlak se nabízí jako jednoduché vysvětlení. Proč ale ve světě přizpůsobeném pravákům leváctví stále přetrvává? Perelle a Ehrman (1994) ukazují na sílu přítomnosti leváctví v člověku. Na Blízkém Východě bylo a dosud ještě je leváctví velmi nevhodné a proto pokud batole projevilo známky leváctví, rodiče mu ruku přivazovali za záda. Dokonce se nebáli mu ji zlomit

ve snaze dítě naučit, aby preferovalo pravou HK. Přesto se nepodařilo leváctví ani v těchto krajích vymýtit. Musíme tedy přijmout fakt, že tak jako si člověk nevybírá dominantní hemisféru pro řeč, nemůže si vybrat ani svoji rukovost (Elliott, Khan, 2010, s. 221). Je nutné také vzít v potaz lateralizaci např. vestibulární, na kterou žádný kulturní tlak není vyvíjen a přesto existuje (Dieterich et al., 2003). V kontrastu k hypotéze kulturního tlaku stojí biologický pohled, který by mohl vysvětlovat rukovost jako projev lateralizace jiných orgánů, konkrétně řečového centra v mozku. Bylo by přece velmi výhodné mít v jedné a té samé hemisféře centrum pro řeč a zároveň řídicí centra pro motoriku HK, která vykonává motorické funkce spojené s řečí - tj. psaní, gesta. Nicméně existují podstatné důkazy pro to, že podle lokalizace řečového centra nelze predikovat rukovost. Protiargument nalézáme nejen v levostranné lokalizaci řečového centra u většiny leváků, ale také v přítomnosti silné pravostranné preference HK u šimpanzů a dalších nonhumanoïdních primátů (Hopkins, 2006). Lateralizaci na populační úrovni můžeme vysledovat napříč celou živočišnou říší. A proto se nelze domnívat, že by rukovost byla pouhým vedlejším produktem řečové lateralizace hemisfér, ale stojí svébytně (Elliott, Khan, 2010, s. 221). Po popření těchto dvou teorií docházíme tedy k myšlence, že upřednostňování jedné končetiny musím mít přirozenou příčinu. Je zajímavé, že lze najít souvislost mezi rukovostí a směrem orientace víru ve vlasech, a to v celém světě nezávisle na kultuře. Gen pro rukovost není přes veškerou snahu nalezený, dokonce na studiích dvojčat je popřený. Jako vyústění situace se nabízí poněkud liberální a křehká domněnka, která pracuje se zráním neurálního systému. Jde o interakci genetiky a raně získané zkušenosti, která předurčí vztah struktury a funkce. Konkrétně tento mechanismus je prokázán u kořat, u nichž dochází v prvních týdnech po narození k apoptóze neuronů v závislosti na neurobehaviorální aktivitě (Friel, Drew, Martin, 2007). S rozvojem neurovědy se jistě podklad preference končetin v budoucnosti objeví.

Testování VMK

Naše studie se zdá být v náročnosti na komplexitu performace VMK jedinečná, proto budeme diskutovat nejprve výhody a úskalí vybrané metodiky a poté budeme části měření porovnávat s výsledky těch nejlépe odpovídajících studií z literatury.

Pro testování první hypotézy o rozdílnosti VMK u leváků a praváků jsme zvolili poměrně neobvyklý klinický test. Test přesnosti AZ Labyrintu klade vysoké nároky na koordinaci, což považujeme za jeho výrazný klad. VMK bývá paradoxně nejběžněji testovaná buď v koordinačně stereotypních úkonech nebo ve virtuálním prostředí. Starý a klasický test je Rotatory-pursuit performance, v němž proband kreslí perem po rotujícím kruhu. Test probíhá v reálném prostředí a vyžaduje koordinaci celé paže. Jeho limitem je performance ve 2D prostoru (Ammons, 1950). Sainburg (2002) provádí testování také ve 2D, testovaná paže je umístěna na pohyblivou podpěrku, aby bylo možné sledovat trajektorii pohybu, čímž je končetina fixovaná ve vertikálním pohybu a dostává oporu, tudíž nemusí pracovat s gravitací. Tím je testovaný pohyb o něco vzdálenější od pohybu reálného. Pohyb v našem testu není ničím omezený a vyžaduje precizní práci ve 3D.

Soudobá technická vyspělost poskytuje možnosti testování ve virtuálním prostředí. K ovládní slouží buď ruka samotná opatřená snímačem, počítačová myš nebo joystick. Úkol pak může být několikerého druhu - chytání cíle (Elliott, 2017; Sainburg, 2002), sledování předem dané trasy po kruhu (Piper, 2011), po klikaté cestě typu alterovaného písmene M (Vujaníc et al., 2016), po pravidelné klikaté čáře (Ogawa et al., 2010). Další možností je udržování kurzoru myši v malé ohraničené oblasti, která se pohybuje po kruhu (Dorokhov, 2013). Výhodou virtuálního testování je možnost provedení úkolu v komplikovanějších podmínkách během snímkování fMRI či PET. Problematika snímkování však nezasáhla naši práci, tudíž jsme si mohli dovolit úkol jakož součástí je relativně velký pohyb v prostoru.

Další oblast činností spadajících pod VMK jsou grafomotorické dovednosti. Jde především o samotné psaní a dále pak kreslení. Rozpracované testování vizuomotorických dovedností představuje Beery-Buktenica Vývojový test vizuomotorické integrace (Developmental Test of Visual-motor Integration). Jde o kresbu symbolů podle předlohy. Symboly se se zvyšující se obtížností prolínají a rozbíhají do prostoru. Testovací sada existuje ve vydáních pro děti i pro dospělé. Tento test se liší od našeho pojetí VMK, vyžaduje jiné aspekty VMK, jako například rotace obrázku (Jong et al., 1999) a protože jde o kreslení podle předlohy tak také přenos z vnějšího prostředí do vlastního prostředí (Ogawa, Inui, 2007). Potgieser et al. (2015) dokládá

rozdíl v aktivaci mozku při malování a při ťukání prstem. Proto jsme obkreslování obrázku nezařadili do testovaných dovedností.

Stěžejním testem pro porovnání VMK dominantních HK leváků a praváků byl Test Přesnosti AZ Labyrintu. V literatuře najdeme jeho obdoby pod názvem dětské hry "horký drát" (hotwire task). Tento test jsme zvolili jako stěžejní, protože klade vysoké požadavky na vizuomotorické plánování, 3D koordinaci a online kontrolu pohybu (Drugge et al., 2006). Metodika testování se shoduje se studii používajícími hotwire task (Drugge et al., 2006; Wang et al., 2009) ve většině bodů, jedinou výraznější odlišností je způsob detekce doteku (tedy chyby), která v našem případě byla signalizovaná vizuálním světelným signálem. Drugge et al. (2006) i používají auditivní zpětnou vazbu. Využití percepčního systému, který se neúčastní požadovaného úkolu, považujeme za výhodné, avšak vzhledem k možnostem technického zázemí jsme zvolili pro naši studii vizuální signalizaci chyby, což považujeme za dostatečné.

Drugge et al. (2006) užívá hotwire task pro hodnocení vlivu vnější interrupce na jednotlivé výstupné hodnoty úkolu, na čas a chybovost. Nachází pozitivní korelaci mezi těmito dvěma hodnotami. Tuto závislost interpretuje jako zvýšený výskyt chybovosti v závislosti na čase stráveném na trati. V naší studii jsme kladli důraz na to, aby k žádnému vyrušení nedocházelo, tudíž probandi strávili na trati jen tak dlouhý čas, který odpovídal jimi zvolenému tempu. Lze pozorovat, že muži volili strategii signifikantně rychlejšího výkonu, ženy inklinovaly k pečlivější a výrazně pomalejší strategii. Tento rozdíl v čase se však neodrazil na chybovosti, která neukazuje signifikantní rozdíl mezi muži a ženami. Závislost rychlosti performace na pohlaví uvádí Ruff a Parker (1993), přičemž v testu ťukání prstem byli rychlejší muži, ale v kolíčkovém testu projevily podstatně rychlejší výkonnost ženy. My rozšiřujeme teorii o rozdílu mezi muži a ženami v performaci VMK úkolu horkého drátu o konstatování signifikantně vyšší rychlosti performace u mužů. Korelaci mezi časem a chybovostí v našem měření nepozorujeme.

Wang et al. (2009) sestavili baterii testování VMK pro měření motorické performace, která sestává z 5 úloh. Jejich performační náročnost postupně graduje, každý další test vyžaduje vyšší stupeň intersegmentální kontroly, čímž klade zvyšující se nároky na řízení koordinace.

Prvním testem je ťukání ukazováčkem, poté rychlé ukazovací pohyby ukazováku, test dosažení-úchop-zdvihnutí, dvoudimenzionální VMK test práce s joystickem, trojdimenzionální VMK test hotwire. Jedná se o velmi komplexní testování VMK, na jehož základě dostáváme výsledky širokého spektra aspektů motorické performace pod vizuální zpětnou vazbou. Konkrétně se jedná o rychlost pohybu jednotlivých segmentů a jejich dynamiku, sílu stisku, zjišťujeme reakční časy a míru preciznosti performace.

V testu 3D performace typu horký drát prokazuje u dvou měření (probandi s užitím no-radrenergního léčiva a s užitím placebo) rozdílnost času, která je ale nezávislá na množství chyb (Wang et al., 2009). V souladu s ním i my konstatujeme, že čas a chybovost v Testu přesnosti (tj. test hotwire task) nemají pozitivní korelaci v performaci dominantních HKK leváků a praváků. Pravděpodobně existuje práh, na němž se láme výhodnost či nevýhodnost délky provedení. Muži vůči ženám v naší studii a medikovaní vůči falešně medikovaným (Wang et al., 2009) prokázali schopnost rychlejší performace bez signifikantního zvýšení počtu chyb. Pokud ale probandi ve snaze o precizní provedení setrvávají na trase příliš dlouho, nevede to ke snížení chybovosti, naopak Drugge et al. (2006) dokazuje zvýšení chybovosti při prolongované performaci.

Ve prospěch testování VMK na jednoduchých pohybech hovoří jejich resistance k více druhům možného ovlivnění. Na testu ťukání prstem dokazuje Lavrysen et al. (2012) schopnost uchovat si esenciální, možná vrozenou, schopnost performačního projevu neovlivněnou tréninkem výkonnosti, ke kterému dochází častějším užíváním preferované končetiny. Tato esenciální schopnost je daná specializací hemisféry, která danou končetinu, resp. její prst, řídí v motorickém projevu. Vlivem tohoto těsnějšího spojení se na performaci ťukání prstem neprojevilo ani podání léčiva stimulující simpatikus, přestože toto léčivo mělo signifikantní vliv na pohyby komplikovanější (Wang et al., 2009).

Nacházíme proto využití obou druhů testování VMK - jednoduché pohyby pro testování laterality hemisfér (Willems, Hagoort, 2009) a komplexnější pohyby pro testování laterality HK.

Hypotéza dynamické dominance

V žádném z našich testování (Testu přesnosti, Testu rychlosti a testu Klidové přesnosti) nenalzáme výhodu pro dominantní končetinu pro praváky ani pro leváky. Vzhledem k tomu,

že rozložení žen a mužů je mezi skupinami shodné, považujeme výsledek za relevantní. Vingerhoets et al., (2016) taktéž prokazuje nezávislost performance pantomimických úkolů na preferenci HK, v souladu s Hypotézou dynamické dominance.

Informace získané fMRI o rozdílnosti leváků a praváků mají jeden zásadní problém, kterým je nekonzistence lokalizace řečové dominantní hemisféry u leváků (van den Berg et al., 2011). Základní studie o aktivaci mozkových oblastí levorukých jedinců (Kawashima et al., 1997; Kim et al., 1993) se lokalizací dominantní hemisféry pro řeč nezabývají. Možná také proto nalézají bilaterální aktivaci u leváků pouze pro pohyb nepreferované končetiny, zatímco pozdější studie dokládají bilaterální aktivaci při pohybech preferované i nepreferované končetiny u leváků i u praváků. Bilaterální aktivita však není symetrická, vykazuje shodně pro leváky a praváky vyšší hladinu excitability pro nedominantní hemisféru (Daligadu et al., 2013). Nedominantní hemisférou je zda míněna kontralaterální hemisféra k nepreferované HK, tj. opět dochází k situaci, kdy ve skupině leváků jsou dohromady jedinci s levostrannou, pravostrannou a potenciálně i bilaterální dominancí hemisféry.

Je tedy obtížné se vyjádřit k rozdílnosti mozkové aktivity leváků a praváků, protože nejsou jednotně daná rozlišení skupin. Rozlišení leváků a praváků podle performačních kritérií nezávisle na lateralitě hemisfér přináší riziko zakalení dat vlivem 27% pravděpodobnosti výskytu opačné hemisferické specializace u leváků. Přesto Lavrysen et al. (2012) uvádí u leváků stejný vzorec výhody systému pravá ruka/levá hemisféra pro jednoduchý VM úkol, čímž prokazuje specializaci řízení tohoto systému nezávislou na preferenci ruky. Bylo by zajímavé ověřit tyto hypotézy na skupině osob (zřejmě výhradně leváků) s pravostrannou hemisferickou dominancí.

EEG záznamy nám přináší informaci o intenzitě funkčního spojení jednotlivých částí mozku, vypovídající o přítomnosti komunikačních spojů mezi nimi. Serrien, Sovijärvi-Spapé (2016) podle EEG prokazují lepší motorickou úspěšnost vázanou na levostrannou hemisféru, a to nezávisle na rukovosti.

Tyto výsledky vedou k úvaze o rozdílném principu preference HK a motorické efektivity HK. Motorická efektivita je, jak bylo pojednáno výše, vázaná na systém levá hemisféra/pravá

HK. Tento princip ale nebyl dokázán u koordinačně náročnějších úkonů, do nichž by mohla právě zasáhnout vytrénovaná dovednost preferované končetiny. Naše studie je prvotinou, která potvrzuje výhodu systému levá hemisféra/pravá HK v koordinačně náročném VM úkolu typu hotwire, v naší nomenklatuře je to "Test přesnosti - chyby". Nemůžeme však potvrdit nezávislost na rukovosti, neboť signifikantního výsledku jsme dosáhli v celém souboru leváků a praváků dohromady, nikoli však v samostatné skupině leváků. V literatuře je však tento výsledek považovaný za dostatečný (Apker et al, 2015).

Výhoda tréninku

Výkonnost rukou, performace, šikovnost, efektivita pohybu - to všechno jsou dovednosti, které je možné ovlivnit tréninkem. Leváci žijící v prostředí přizpůsobeném pro pravoruké osoby mají trénování dovedností pro svou nedominantní končetinu jako nedílnou součást života (Lavrysen et al., 2012). Počet chyb v Testu přesnosti (horký drát) pro preferovanou a nepreferovanou HK se u leváků v souladu s tímto předpokladem liší jen nepatrně. Oproti tomu praváci prokázali výrazný rozdíl v performaci své preferované a nepreferované HK.

Výkonnost nepreferovaných HK pohledem Hypotézy dynamické dominance se liší v přesnosti a zakřivení trajektorie pohybu ve stejném smyslu jako v našem měření - v performaci nepreferované končetiny vynikají leváci nad praváky. A zároveň výkony obou končetin leváků jsou si velmi blízko, kdežto praváci prokazují podstatný rozdíl mezi svou preferovanou a nepreferovanou HK (Przybyla, Good et Sainburg, 2012).

Princip preference HK z neurologického hlediska je stále zamlžen, zatím můžeme jen konstatovat, že není plně spojen s řízením jemné motoriky, která vede k vyšší performační úspěšnosti (Serrien, Sovijärvi-Spapé, 2016). Zajímavou a stále nejasnou otázkou je také vztah mezi lateralitou HK a lateralizací mozkových hemisfér.

Specializace hemisfér a typy zpětné vazby

Je zajímavě neobvyklé hledět na lateralitu čistě jako na vyrovnané rozdělení funkcí a přiznat nepreferované končetině výhody, které preferovaná HK nemá. Tento rovnoprávný model se

skrývá v Hypotéze dynamické dominance. Podle ní není preferovaná HK celkově šikovnější, je pouze šikovnější na lépe viditelném a uchopitelném poli - tj. v dynamice (Sainburg in Elliott, Khan, 2010, p.236). Naše VMK úkoly Test přesnosti a Test rychlosti odpovídaly rámci výhodném pro dominantní systém hemisféra/HK, a to jednak dynamickým provedením a jednak závislostí na vizuální zpětné vazbě (Apker et al., 2015). Plně tato tvrzení platí pro stěžejní Test přesnosti. Test rychlosti vyžadoval opravdu hodně dynamické dovednosti, čímž dával výhodu dominantnímu systému, na druhou stranu ale poskytoval i proprioceptivní zpětnou vazbu, jejíž citlivé vnímání mohlo provedení testu velmi usnadnit. V tomto testování proband mohl využívat oba dva zpětnovazebné systémy, bylo by zajímavé zkoumat jejich podíly. Zároveň se tím ale znehledňuje vlivem jeho nespecifičnosti na jeden nebo druhý systém interpretace výsledku testu. Test Klidové přesnosti se lišil od předchozích dvou, neboť pro jeho úspěšné provedení již nebyl zásadní dynamický pohyb a vizuální zpětná vazba, nýbrž dobrá stabilizační funkce HK související s proprioceptivní zpětnou vazbou. Z tohoto rámce by podle literatury měl těžit nedominantní systém hemisféra/HK (Goble, Brown, 2008; Sainburg in Elliott, Khan, 2010, p.236). Jeho samostatné statistické testování jsme neprováděli, neboť se nevztahuje k tématu práce, resp. pouze velice okrajově jakožto projev laterality hemisféry a též jako doplnění párového principu k dominantnímu systému hemisféra/HK, který už se vlivem závislosti na vizuální zpětné vazby k práci vztahuje.

I z hlediska výhody ve využívání druhu zpětné by bylo zajímavé posoudit mezi sebou probandy s pravostrannou a levostrannou řečovou dominancí a posoudit, zda spolu souvisí řečová dominance hemisfér a motorická dominance hemisfér. Z pohledu specializace totiž dochází ke shodě mezi těmito dvěma pohledy, která je ale pouze zdánlivá. Z pohledu řečové dominance je dominantní hemisféra specializovaná pro komplexní motorické funkce, časové a sekvenční pohyby, tedy pro dynamiku, a zároveň je dominance definovaná jako lokalizace řečového centra. To znamená, že cca 3/4 leváků, kteří vykazují levostrannou hemisferickou dominanci pro řeč, by podle této teorie mělo mít sídlo komplexních motorických funkcí ve své levé hemisféře a prostorové vnímání v hemisféře pravé shodně s praváky (tab. 1.1).

Z pohledu motorické dominance však leváci ve svém motorickém projevu vystupují zrcadlově vůči pravákům, tj. jejich levá hemisféra prokazuje specializaci pro statické a stabilizační funkce

(impedance, udržování pozice) a je to pravá hemisféra, která je specializovaná pro dynamický koordinovaný pohyb (tj. komplexní motorickou funkci) (Przybyla, Good et Sainburg, 2012).

Zde přichází ten levácký paradox, který situuje řízení koordinovaných pohybů do pravé hemisféry (pohled motorické dominance) a sídlo komplexních motorických funkcí do levé hemisféry (pohled řečové dominance). Carey et al., (2015) uvažuje většinovou levostrannou řečovou dominanci u leváků a potvrzuje předpoklad, že pohyb řízený z levé hemisféry bude vykazovat stejné performační kvality u leváků i praváků, tj. konkrétně výhodu levé ruky pro rychlost reakce a výhodu pravé ruky pro dosažení maximální rychlosti.

Soudobý trend však nakonec hovoří o bilaterální aktivitě pro pohyb preferované i nepreferované končetiny a souvislost aktivace jednotlivých areí v ipsi- i kontra- laterální hemisféře s ruko-
vostí je stále nevyjasněný a vyžaduje další zkoumání (Wang et al., 2014). Také na anatomické a morfologické úrovni je motoricky dominantní hemisféra přizpůsobená pro dynamickou funkci (vyšší denzita axonů, tj. vyšší možnosti konektivity)(Amuts et al. 1996), což ale nemusí nutně vypovídat o původní specializaci motoricky dominantní hemisféry. Může to být dáno neuroplastickými úpravami vcházejícími z vyššího užívání preferované končetiny v rámci života jedince.

Závěr

Tato práce se zabývá fyziologií. Balancuje na hranici speciální pedagogiky, neurofyziologie a zvláště pak neuropsychologie. Její přínos je velmi vědecko-teoretický a je podkladem pro návazné konkrétní aplikace u patologických stavů, jako je např. CMP.

Performace leváků a praváků se neliší, můžeme tedy opustit teorie o spojitosti leváctví s koordinačními obtížemi. Na druhou stranu z pozorování při měření vyplynul jeden fakt, který je nezaznamatelný do dat a přesto existuje. Jedná se o toto, při performaci TP se vyskytovaly velmi odlišné výkony co se týče kvality provedení. I když u dvou probandů byl výsledný počet chyb třeba i shodný, jeden z nich provedl celou trasu precizně a hladce a druhý s největším vypětím sil udržel prudce se kývajícím očkem a snad jen shodou náhod se dotkl vodičného drátu pouze několikrát. Tento rozdíl jsem pozorovala u leváků v daleko širším spektru, než u praváků. Naprosto nepodloženě a subjektivně mohu říci, že praváci byli v ladnosti testování více sourodá skupina, než leváci, u nichž se ladnost provedení lišila v závratných rozdílech.

Potvrzujeme, že existuje výhoda systému pravá ruka/levá hemisféra pro vysoce koordinovanou dynamickou motorickou úspěšnost (hotwire task) v celkovém souboru praváků a leváků. Tato výhoda se však nenalézá v odděleném souboru leváků, tudíž nelze říci, že by byla nezávislá na preferenci HK.

Protože teorie systému pravá ruka/levá hemisféra má opodstatnění i ve specializaci hemisfér, považujeme ji za platnou a fakt, že jsme ji nepotvrdili, může být dán tím, že naše měření nebylo sestavené se záměrem testovat tuto hypotézu a tudíž nemusí být dostatečně citlivé.

Lateralizace hemisfér sama o sobě je zajímavým fenoménem na poli zkoumání mozku a jeho aktivity, který je ještě obohacen o možnost převrácené organizace (pravostranná řečová dominance). Lateralizace dalších orgánů se zdá být nezávislá na lateralizaci mozku, což je na první pohled překvapivé, neboť alespoň pokud budeme hovořit o řízení končetin, tak by člověk očekával shodnou lokalizaci motorického řízení preferované končetiny a řečového centra v jedné, dominantní, hemisféře. Ale není tomu tak. Projev lateralizace mozku na řízení končetin se zdá být úplně jiný. Je to specializace končetiny spolu s kontralaterální hemisférou pro využívání určitého druhu zpětné vazby. Tím se lámou poslední domněnky o dominanci, o nadřazené funkci jednoho z páru, ať už hemisfér či rukou, a můžeme plně přijmout koncept rovnocenné specializace.

Shledali jsme stejnou výkonnost mezi lidmi preferujícími rozdílné končetiny a konstatovali jsme rovnocennost specializovaných hemisfér. Boj s předsudky vůči leváctví byl zažehnaný a síla ohně nadřazenosti hemisféry či končetiny dorovnána méně zřetelnou komplementární druhostrannou silou, silou podobající se vodnímu toku. Poznali jsme schopnosti a výhody systémů, které přes svou nepostradatelnou roli nejsou tolik zřetelné a tím jsme rozšířili pojetí chápání těla jako dokonale fungujícího vyrovnaného celku, a to je důvod k radosti.

Referenční seznam

Knihy:

BEERY, K. E. The Beery-Buktenica Developmental Test of Visual-Motor Integration with supplemental developmental tests of visual motor integration and motor coordination: Administration, scoring and teaching manual. 1997, Parsippany, NJ: Modern Curriculum Press.

DRNKOVÁ, Z., SYLLABOVÁ, R.. Záhada leváctví a praváctví. 2. dopl. vyd. Praha: Avicenum, 1991, 88 s. ISBN 8020101136.

ELLIOTT, D., KHAN, M.A. Vision and goal-directed movement: neurobehavioral perspectives. Champaign, Ill.: Human Kinetics, c2010, xv, 438 s. ISBN 978-0-7360-7475-9.

KŘIŠŤANOVÁ, L. Diagnostika laterality a metodika psaní levou rukou. 3.upr.vyd. Hradec Králové : Gaudeamus, 1995. 41 s. ISBN 80-7041-205-4.

MARTIN, G. N. Human neuropsychology. 2nd ed. Harlow: Pearson/Prentice Hall, 2006, 33, 566 s. ISBN 0131974521.

PLHÁKOVÁ, A. Dějiny psychologie. Grada Publishing, 2006. ISBN 978-80-247-0871-3.

PORAC, C., COREN, S. (2011) Lateral preferences and human behavior. S.l.: Springer. ISBN 978-146-1381-419.

ŘÍČAN, P., KREJČÍŘOVÁ D. a kol.. Dětská klinická psychologie. Praha: Grada, 2006, 603 s. ISBN 8024710498

SOVÁK, M. Výchova leváků v rodině : Aktuální problémy speciální pedagogiky. 6.upr.vyd. Praha : SPN, 1979. 116 s.

SOVÁK, Miloš. Lateralita jako pedagogický problém. Vyd.1. Praha : SPN, 1962.
266 s.

Periodika:

AMMONS R. B. Acquisition of motor skill: III. (1950) Effects of initially distributed practice on rotary pursuit performance. *J Exp Psychol.* 1950, vol.40, p. 777–787.
[cit. 21.3.2016] eISSN: 1939-2222

AMUNTS, K., JANCKE, L., MOHLBERG, H., STEINMETZ, H., ZILLES, K. (2000) Interhemispheric asymmetry of the human motor cortex related to handedness and gender (Review). *Neuropsychologia* [online]. 2000, vol. 38, no. 3, s. 304-312 [cit. 21.3.2016]. ISSN: 0028-3932

AMUNTS, K., SCHLAUG, G., SCHLEICHER, A., STEINMETZ, H., DABRINGHAUS, A., ROLAND, P. E. ZILLES, K. (1996) Asymmetry in the human motor cortex and handedness. *NeuroImage* [online]. 1996, vol 4, no 3, s 216-222 [cit. 12.4.2016].

ANDERSEN, R. A., BUNEO, C. A. (2002). Intentional maps in posterior parietal cortex. *Annual Review of Neuroscience* [online]. vol. 25, p. 189–220. [cit. 12.4.2016] ISSN: 0147-006X.

ANNETT J., ANNETT M., HUDSON P. T., TURNER, A. (1979) The control of movement in the preferred and non-preferred hands. *Q J Exp Psychol.* [online]. Vol 31, p. 641–652. eISSN: 1939-2222. Doi:10.1080/14640747908400755

ANNETT, M., (1998). Handedness and cerebral dominance: the right shift theory. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience* [online]. Vol.10, no. 4, p. 459–469.

ANNETT, M., (1985). *Left, Right, Hand and Brain: The Right Shift Theory.* [online] Erlbaum, London.

ANNETT, M., (1978). Genetic and nongenetic influences on handedness. *Behavior Genetics* [online]. Vol. 8, no. 3, p. 227–249.

APKER, G. A., DYSON, K., FRANTZ G., BUNEO, C. A. (2015) Effici-

ency of visual feedback integration differs between dominant and non-dominant arms during a reaching task. *Exp Brain Res.* 2015, vol. 233, p. 317–327. ISSN: 1432-1106. DOI: 10.1007/s00221-014-4116-5. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00221-014-4116-5>

ARMOUR, J. A., DAVIDSON, A., MCMANUS, I.C. (2014) Genome-wide association study of handedness excludes simple genetic models. *Heredity (Edinb)*. 2014, vol.112, no.3, p. 221-5. eISSN: 1365-2540. Doi: 10.1038/hdy.2013.93.

ASTAFIEV, S. V., SHULMAN, G. L., STANLEY, C. M., SNYDER, A. Z., VAN ESSEN, D. C., CORBETTA, M. (2003). Functional organization of human intraparietal and frontal cortex for attending, looking, and pointing. *Journal of Neuroscience*, 23(11), 4689–4699. ISSN: 1529-2401

ATKINSON, J.(2002). *The Developing Visual Brain*. Oxford: Oxford Universtiy Press. ISBN: 9780198525998

BALASUBRAMANIAN, S., RAGHUNATHAN, R., MAHAJAN, V.(2005) Consumers in a multichannel environment: Product utility, process utility, and channel choice. Vol. 19, no. 2, p. 12–30. DOI: 10.1002/dir.20032

BAGESTEIRO, L. B., SAINBURG, R. L. (2003) Nondominant arm advantages in load compensation during rapid elbow joint movements. *J Neurophysiol.* 2003, vol. 90, no. 3, p. 1503-13. ISSN: 1522-1598. DOI: 10.1152/jn.00189.2003 Dostupné z: <http://jn.physiology.org/content/90/3/1503.long>

BAGESTEIRO, L. B., SAINBURG, R. L. (2002) Handedness: Dominant arm advantages in control of limb dynamics (Article) *Journal of Neurophysiology*. Vol 88, no. 5, p. 2408-2421. ISSN: 0022-2895. DOI: 10.1080/00222895.1993.9941636 Dostupné také z: <http://jn.physiology.org/cgi/doi/10.1152/jn.00901.2001>

BATTAGLIA-MAYER, A., FERRAINA, S., MITSUDA, T., MARCONI, B., GENOVESIO, A., ONORATI, P., et al. (2000). Early coding of reaching in the parietooccipital cortex. *Journal of Neurophysiology*. Vol. 83, no. 4, p. 2374–2391. ISSN: 0022-2895.

- BOURNE, V. (2008) Examining the Relationship Between Degree of Handedness and Degree of Cerebral Lateralization for Processing Facial Emotion. *Neuropsychology* 2008, Vol. 22, no. 3, p. 350–356. eISSN: 1931-1559. DOI: 10.1037/0894-4105.22.3.350
- BRANDLER, M. W., MORRIS, A. P., EVANS, D. M., et al. (2013) Common Variants in Left/Right Asymmetry Genes and Pathways Are Associated with Relative Hand Skill. *PLoS Genet.* 2013, vol. 9, no. 9, p. 45-48. ISSN: 1553-7404 DOI: 10.1371/journal.pgen.1003751. Dostupné také z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pgen.1003751>
- BRYDEN, J. P., SCHAROUN, S. M., ROHR, L. E., ROY, E. A. (2012) Hemispatial Effects for Left- and Right-handers on a Pointing Task. *International Journal of Psychological Studies.* Vol. 4, no. 4, p. 233-241. E-ISSN 1918-722X. DOI: 10.5539/ijps.v4n4p46. ISBN 10.5539/ijps.v4n4p46. Dostupné také z: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/ijps/article/view/18155>
- BRYDEN, P. J., PRYDE, K. M., ROY, E. A. (2000) A performance measure of the degree of hand preference. *Brain Cogn.* Vol. 44, p. 402–414. ISSN: 0278-2626. doi:10.1006/brcg.1999.1201
- BRYDEN, M. P., BULMAN-FLEMING, M. B., MACDONALD, V. (1996). The measurement of handedness and its relation to neuropsychological issues. In: Elliott, D., Roy, E.A. (Eds.), *Manual Asymmetries in Motor Performance* . CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 57–81.
- BRYDEN, M. P. (1982). *Laterality: Functional asymmetry in the intact brain*. New York, NY: Academic Press.
- BUNEO, C. A., JARVIS, M. R., BASTISTA, A. P., ANDERSEN, R. A. (2002). Direct visuomotor transformations for reaching. *Nature.* Vol. 416, no. 6881, p. 632–636. ISSN: 1476-4687.
- BUTLER, A. J., FINK, G. R., DOHLE, C., WUNDERLICH, G., TELLMANN, L., SEITZ, R. J., et al., (2004). Neural mechanisms underlying reaching for remembered targets cued kinesthetically or visually in left or right hemispace. *Human*

- Brain Mapping. Vol. 21, no. 3, p. 165–177. ISSN: 1097-0193.
- CALTON, J. L., DICKINSON, A. R., SNYDER, L. H. (2002). Non-spatial, motor-specific activation in posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*. vol.5, no. 6, p. 580–588. ISSN: 1097-6256.
- CAREY, D. P., JOHNSTONE, L.T. (2014) Quantifying cerebral asymmetries for language in dextrals and adextrals with random-effects meta analysis: Edinburgh versus Annett. DOI: 10.3389/fpsyg.2014.01128. ISBN 10.3389/fpsyg.2014.01128. Dostupné také z: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpsyg.2014.01128/abstract> November2014—Volume5—Article1128 p.1-23 *Frontiers of psychology*
- CAREY, D. P., OTTO-DE HAART, E. G., BUCKINGHAM, G., DIJKERMAN, H. CH., HARGREAVES, E.L., GOODALE, M. A. (2015) Are there right hemisphere contributions to visually-guided movement? Manipulating left hand reaction time advantages in dextrals. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.01203. ISBN 10.3389/fpsyg.2015.01203. Dostupné také z: <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fpsyg.2015.01203/abstract>
- CAREY, D. P., OTTO-DE HAART, E. G. (2001). Hemispatial differences in visually guided aiming are neither hemispatial nor visual. *Neuropsychologia*, 39, 885–894. [http://dx.doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00036-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00036-7)
- CATANI, M., HOWARD, R. J., PAJEVIC, S., JONES, D. K. (2002). Virtual in vivo interactive dissection of white matter fasciculi in the human brain. *Neuroimage*. Vol. 17, p. 77–94. ISSN: 1053-8119
- CONNOLLY, J. D., ANDERSEN, R. A., GOODALE, M. A. (2003). FMRI evidence for a ‘parietal reach region’ in the human brain. *Experimental Brain Research*. Vol. 153, no. 2, p. 140–145. ISSN: 1432-1106
- COREN, S., (1996). Pathological causes and consequences of left-handedness. In: Elliott, D., Roy, E.A. (Eds.), *Manual Asymmetries in Motor Performance*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 83–98.

- COREN, S., HALPERN, D.F., (1991). Left-handedness: a marker for decreased survival fitness. *Psychology Bulletin*. Vol. 109, no. 1, p. 90–106. ISSN: 2396-9598.
- COREY, M. D., HURLEY, M. M., FOUNDAS, A. L. (2001) Right and Left Handedness Defined. A Multivariate Approach Using Hand Preference and Hand Performance Measures. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Behavioral Neurology*. Vol. 14, No. 3, p. 144–152. ISSN: 1537-0887
- CULHAM, J. C., CAVINA-PRATESI, C., SINGHAL, A. (2006) The role of parietal cortex in visuomotor control: What have we learned from neuroimaging?. *Neuropsychologia*. Vol. 44, p. 2668–2684. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2005.11.003. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0028393205003568> ISSN: 0028-3932
- DALIGADU, J., MURPHY, B., BROWN, J., RAE, B., YELDER, P. (2013). TMS stimulus-response asymmetry in left- and right-handed individuals. *Experimental Brain Research*. Vol. 224, no. 3, p. 411-416. ISSN: 1432-1106 doi:10.1007/s00221-012-3320-4
- DAMASIO, H. (2005). Human brain anatomy in computerized images (2nd ed.).Oxford, New York: Oxford University Press.
- DEAN, R. S., REYNOLDS, C. R. (1997) Cognitive processing and self-reported lateral preference. *Neuropsychology Review*. Vol. 7, p. 127-142. eISSN: 1931-1559.
- DEHAENE, S., COHEN, L. (1995). Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition*. Vol. 1, p. 83–12
- DEITERICH, M., BENSE, S., LUTZ, S., DRZEZGA, A., STEPHAN, T., BATENSTEIN, P., BRANDT, T. (2003) Dominance for Vestibular Cortical Function on the Non-dominant Hemisphere. *Cereb.Cortex*. Vol. 13, no. 9, p. 994–1007. ISSN: 1460-2199
- DRUGGE, M., WITT, H., PARNES, P., SYNNESE, K. (2006). Using the "HotWire" to

- Study Interruptions in Wearable Computing Primary Tasks. *In Wearable Computers*, 2006 10th IEEE International Symposium on (pp. 37-44). IEEE.
- DOROKHOV, V. B., G. N. ARSENYEV, O. N. TKACHENKO, D. V. ZAKHARCHENKO, T. P. LAVROVA, DEMENTIENKO, V. V. (2013) A Psychomotor Test for Assessment of Visuomotor Coordination during Performance of a Monotonous Target-Tracking Activity: Edinburgh versus Annett. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. Vol. 43, no. 1, p. 34–39. DOI: 10.1007/s11055-012-9687-7.
- ELLIOTT, D., CHUA, R. (1996). Manual asymmetries in goal-directed movement. In D. Elliott E. Roy (Eds.), *Manual asymmetries in motor performance*. Boca Raton : CRC Press.
- ELLIOTT, D., LYONS, J., HAYES, S. J., BURKITT, J. J., ROBERTS, J. W., GRIERSON, L. M., HANSEN, S., BENNETT, S. J. (2017) The multiple process model of goal-directed reaching revisited: Edinburgh versus Annett. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. Vol. 72, p. 95–110. ISSN: 0149-7634. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2016.11.016.
- FADIGA, L., FOGASSI, L., GALLESE, V., RIZZOLATTI, G. (2000) Visuomotor neurons: ambiguity of the discharge or ‘motor’ perception?. *International Journal of Psychophysiology*. Vol. 35, no. 2–3, p. 165–177. DOI: 10.1016/S0167-8760(99)00051-3. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167876099000513>
- FARTHING, J. P., CHILIBECK, P. D., BINSTED, G. (2005) Cross-education of arm muscular strength is unidirectional in right-handed individuals. *Med Sci Sports Exerc*. Vol. 37, p. 1594–1600. ISSN: 0195-9131. DOI:10.1249/01.mss.0000177588.74448.75
- FATTORI, P., GAMBERINI, M., KUTZ, D. F., GALLETTI, C. (2001). ‘Arm-reaching’ neurons in the parietal area V6A of the macaque monkey. *European Journal of Neuroscience*. Vol. 13, no. 12, p. 2309–2313. ISSN: 1529-2401
- FEIN, D., HUMES, M., KAPLAN, E., LUCCI, D., WATERHOUSE, L., (1984). The

- question of left hemisphere dysfunction in infantile autism. *Psychology Bulletin*. Vol. 95, no. 2, p. 258–281. ISSN: 2396-9598
- FERRAINA, S., BATTAGLIA-MAYER, A., GENOVESIO, A., MARCONI, B., ONORATI, P., CAMINITI, R. (2001). Early coding of visuomanual coordination during reaching in parietal area PEc. *Journal of Neurophysiology*. Vol. 85, no. 1, p. 462–467. ISSN: 0022-2895.
- FRIEL, M. K., DRWE, T., MARTIN, J.H. (2007) Differential activity-dependent development of cortico-spinal control of movement and final limb position during visually guided locomotion. *Journal of Neuropsychology*. Vol. 97, p. 3396-3406.
- GHACIBEH, G. A., MIRPURI, R., DRAGO, V., JEONG, Y., HAILMAN, K. M., TRIGGS, W. J. (2007). Ipsilateral motor activation during unimanual and bimanual motor tasks. *Clinical Neurophysiology*. Vol. 118, no. 2, p. 325–332. ISSN: 1388-2457
- GHIRLANDA, S. a G. VALLORTIGARA. (2004) The evolution of brain lateralization: a game-theoretical analysis of population structure. DOI: 10.1098/rspb.2003.2669. [Online] <http://rspb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rspb.2003.2669>
- GHIRLANDA, S., E. FRASNELLI a G. VALLORTIGARA. (2009) Intraspecific competition and coordination in the evolution of lateralization. DOI: 10.1098/rstb.2008.0227. Dostupné také z: <http://rstb.royalsocietypublishing.org/cgi/doi/10.1098/rstb.2008.0227>
- GILBERT, A.N., WYSOCKI, C.J., (1992). Hand preference and age in the United States. *Neuropsychologia*. Vol. 30, no. 7, p. 601–608. ISSN: 0028-3932
- GOBLE, D.J., BROWN, S.H. (2008) The biological and behavioral basis of upper limb asymmetries in sensorimotor performance. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*. Vol. 32, p. 598–610. ISSN: 0149-7634 DOI: 10.1016/j.neubiorev.2007.10.006. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0149763407001388>

- GOBLE, D.J., BROWN, S.H., (2007). Task-dependent asymmetries in the utilization of proprioceptive feedback for goal-directed movement. *Experimental Brain Research*. Vol. 180, no. 4, p. 693–704. ISSN: 1432-1106
- GOODALE, M. A. (2011) Transforming vision into action. *Vision Research*. Vol. 51, p. 1567–1587. DOI: 10.1016/j.visres.2010.07.027. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0042698910003743>
- GOODALE, M. A., MILNER, A. D., (1992) Separate visual pathways for perception and action. *Trends in neuroscience*, 15, p. 20-25
- GOODALE, M. A., WESTWOOD, D. A., MILNER, A. D., (2004). Two distinct modes of control for object-directed action. *Progress in Brain Research*. Vol. 144, p. 131–144. ISSN 1875-7855
- GREFKES, Ch., A. RITZL, K. ZILLES a G. R. FINK. (2004) Human medial intraparietal cortex subserves visuomotor coordinate transformation. *NeuroImage*. Vol. 23, p. 1494–1506. ISSN: 1053-8119. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2004.08.031. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811904004938>
- HATTA, T., NAKATSUKA, Z., (1976). Note on hand preference of Japanese people. *Perceptual and Motor Skills*. Vol. 42, no. 2, p. 530-536.
- HEBART, M. N., HESSELMANN, G. (2012) What Visual Information Is Processed in the Human Dorsal Stream?. *Neurosci*. Vol. 32. no. 24, p. 8107-8109. ISSN: 0306-4522. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1462-12.2012. ISBN 10.1523/JNEUROSCI.1462-12.2012. Dostupné také z: <http://www.jneurosci.org/cgi/doi/10.1523/JNEUROSCI.1462-12.2012>
- HOOVER, Adria E. N., Yasmeenah ELZEIN a Laurence R. HARRIS. (2016) Left-handers show no self-advantage in detecting a delay in visual feedback concerning an active movement. DOI: 10.1007/s00221-016-4595-7. ISBN 10.1007/s00221-016-4595-7. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00221-016-4595-7> Exp Brain Res (2016) Vol.234, s.1915–1923 ISSN: 1432-1106

- HOPKINS, W. D., (2006) Chimpanzee right-handedness: Internal and external validity in the assessment of hand use. *Cortex*, vol. 42, p. 90-93
- HUGDAHL, K. (2005) Symmetry and asymmetry in the human brain. Volume 13, Issue S2 , pp. 119-133 DOI: 10.1017/S1062798705000700. Dostupné také z: http://www.journals.cambridge.org/abstract_S1062798705000700
- IDA, Y., BRYDEN, M.P., (1996). A comparison of hand preference in Japan and Canada. *Canadian Journal of Experimental Psychology*. Vol. 50, no. 22, p. 234–239. ISSN: 1196-1961.
- JOHNSON, P. B., FERRAINA, S., BIANCHI, L., CAMINITI, R. (1996). Cortical networks for visual reaching: Physiological and anatomical organization of frontal and parietal lobe arm regions. *Cerebral Cortex*. Vol. 6, no. 2, p. 102–119. ISSN 1460-2199.
- JONG, B. M., FRACKOWIAK, R. S. J., WILLEMSSEN A. T. M, PAANS A. M. J. (1999) The distribution of cerebral activity related to visuomotor coordination indicating perceptual and executional specialization. *Cognitive Brain Research*. Vol. 8, p. 45–59. ISSN. 1872-6348.
- JUDGE, J., STIRLING, J. (2003). Fine motor skill performance in left- and right-handers: Evidence of an advantage for left-handers. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*. Vol. 8, no. 4., p. 297-306. ISSN 1464-0678. Dostupné také z: <http://dx.doi.org/10.1080/13576500342000022>
- KALASKA, J. F. (1996). Parietal cortex area 5 and visuomotor behavior. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. Vol. 74, p. 483–498. ISSN, 1205-7541.
- KAWASHIMA, R., INOUE, K., SATO, K., FUKUDA, H. (1997) Functional asymmetry of cortical motor control in left-handed subjects. *NeuroReport*. Vol. 8, no. 7, p. 1729–1732. ISSN: 0959-4965.
- KIM, S. G., ASHE, J., HENDRICH, K., ELLERMAN, J. M., MERKLE, H., UGURBIL, K., et al., (1993). Functional magnetic resonance imaging of motor cor-

- tex: hemispheric asymmetry and handedness. *Science*. Vol. 261, no. 5121, p. 615–617.
- KNECHT, S., DEPPE, M., DRAGER, B., BOBE, L., LOHMANN, H., RINGELSTEIN, E. B., HENNINGSSEN, H. (2000) Language lateralization in healthy right-handers. *Brain*. Vol. 123, p. 74–81. ISSN 1460-2156.
- KOBAYASHI, M., HUTCHISON, S., SCHLAUG, G., PASCUAL-LEONE, A., (2003). Ipsilateral motor cortex activation on functional magnetic resonance imaging during unilateral hand movements is related to interhemispheric interactions. *Neuroimage*. Vol. 20, no. 4, p. 2259–2270. ISSN: 1053-8119
- KROMMYDAS, G., GOURGOULIANIS, K. I., ANDREOU, G., MOLYVDAS, P. A. (2003) Left-handedness in asthmatic children. (2003) *Pediatr Allergy Immunol*. Vol. 14, no. 3. p. 234-7. DOI: 10.1034/j.1399-3038.2003.00013.x. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1034/j.1399-3038.2003.00013.x>
- LAVRYSEN, A., HEREMANS, E., PEETERS, R., WENDEROTH, N., FEYS, P., HELSEN. (2012) Hemispheric asymmetries in goal-directed hand movements are independent of hand preference: Functional lateralisation patterns and motor efficiency. *NeuroImage*. Vol. 62, p. 1815–1824. ISSN: 1053-8119. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.05.033. Dostupné také z: <http://www.ccsenet.org/journal/index.php/ijps/article/view/18155>
- LAVRYSEN, A., HEREMANS, E., PEETERS, R., WENDEROTH, N., HELSEN W. N., FEYS, P., SWINNEN, S.P. (2008) Hemispheric asymmetries in eye–hand coordination. *NeuroImage*. Vol. 39, p. 1938–1949. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2007.10.007. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811907008993> [cit. 2017-03-31] ISSN: 1053-8119
- LEIGUARDA, R. C., MARSDEN, C. D. (2000) Limb apraxias: higher order disorders of sensorimotor integration. *Brain*. Vol. 123, p. 860–879. ISSN:1460-2156.
- LEVY, J., HELLER, W., BANICH, M.T., BURTON, L.A. (1983). Asymmetry of perception in free viewing of chimeric faces. *Brain and Cognition*. Vol. 2, p.

404–419. DOI:10.1016/0278-2626(83)90021-0

MACKAY, W. A. (1992). Properties of reach-related neuronal activity in cortical area 7A. *Journal of Neurophysiology*, 67(5), 1335–1345. ISSN: 0022-2895.

MAKIN, T. R., BROZZOLI, C., CARDINALI, L., HOLMES, N. P., FARNÈ, A. (2015) Left or right? Rapid visuomotor coding of hand laterality during motor decisions. *Cortex* [online]. Vol. 64, p. 289-292 [cit. 2017-01-25]. DOI: 10.1016/j.cortex.2014.12.004. ISSN 00109452. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0010945214003876>

MARCHANT, L. F., MCGREW, W. C., EIBL-EIBESFELDT, I., (1995). Is human handedness universal? Ethiological analyses from three traditional cultures. *Ethiology*. Vol. 101, p. 239.

MARTINO J., BROGNA, C., ROBLES, S. G., VERGANI, F., DUFFAU, H. (2010). Anatomic dissection of the inferior fronto-occipital fasciculus revisited in the lights of brain stimulation data. *Cortex*. Vol. 46, p. 691–699.

MATTINGLEY, J. B., BRADSHAW, J. L., NETTLETON, N. C., BRADSHAW, J. A. (1994). Can task specific perceptual bias be distinguished from unilateral neglect? *Neuropsychologia*. Vol. 32, p. 805–817. DOI:10.1016/0028-3932(94)90019-1. ISSN: 0028-3932

McGILCHRIST, I. (2009). The master and his emissary: The divided brain and the making of the Western world. New Haven, CT: Yale University Press

McMANNUS, I. C., BRYDEN, M. P. (1991) Geschwin's theory of cerebral lateralization: Developing a formal, casual model. *Psychological Buletin*. Vol. 110. no. 2, p. 237-253.

OGAWA, K., CHIYOKO N., INUI, T. (2010) Brain mechanisms of visuomotor transformation based on deficits in tracing and copying. *Japanese Psychological Research*. Vol. 52, No. 2, p. 91–106 DOI: 10.1111/j.1468-5884.2010.00427.x. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1468-5884.2010.00427.x>

OGAWA, K., INUI, T. (2009). The role of the posterior parietal cortex in drawing

- by copying. *Neuropsychologia*. Vol. 47, p. 1013–1022. ISSN: 0028-3932
- OGAWA, K., INUI, T. (2007). Lateralization of the posterior parietal cortex for internal monitoring of self- versus externally generated movements. *Journal of Cognitive Neuroscience*. Vol. 19, p. 1827–1835.
- OGAWA, K., INUI, T., SUGIO, T. (2007). Neural correlates of state estimation in visually guided movements: An event-related fMRI study. *Cortex*. Vol. 43, p. 289–300. ISSN: 0010-9452
- OGAWA, K., INUI, T., SUGIO, T. (2006). Separating brain regions involved in internally guided and visual feedback control of moving effectors: An event-related fMRI study. *NeuroImage*. Vol. 32, p. 1760 – 1770. ISSN: 1053-8119. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2006.05.012. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811906005477>
- OLDFIELD, R.C. (1971) The assesment and analysis od handedness. *Neuropsychologia*. Vol. 9, p. 97 - 113. ISSN: 1053-8119.
- OLIVEIRA, E. (2015). Left Brain, Right Brain: Cerebral Asymmetry Beyond the Handedness. An Anatomic Review on Brain Laterality. *European Congress of Radiology*. <https://doi.org/10.1594/ECR2016/C-1559>
- ORR, K. G., CANNON, M., GILVARRY, C. M., JONES, P. B., MURRAY, R. M., (1999). Schizophrenic patients and their first-degree relatives show an excess of mixed-handedness. *Schizophrenia Research*. Vol. 39, no. 3, p. 167–176.
- PERELLE, I. B., EHRMAN, L. (1994) An international study of human handedness: The data *Behav Genet*. Vol. 24, no. 3, p. 217-227. doi:10.1007/BF01067189
- PIPER, B. J. (2011) Age, Handedness, and Sex Contribute to Fine Motor Behavior in Children. *Neurosci Methods*. Vol. 195, no. 1, p. 88–91. doi:10.1016/j.jneumeth.2010.11.018.
- POOL, E.-M., REHME, A. K., FINK, G. R., EICKHOFF, S. B., GREFKES, CH., et al. (2014) Handedness and effective connectivity of the motor system: Functional lateralisation patterns

- and motor efficiency. DOI: 10.1016/j.neuroimage.2014.05.048. ISBN 10.1016/j.neuroimage.2014.05.048. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811914004133> Neuroimage. October 1; 99: 451–460. doi:10.1016/j.neuroimage.2014.05.048.
- POTGIESER, A. R. E., VAN DER HOORN, A., DE JONG D. M., STAMATAKIS, E. A., ROBERTS, J. W., GRIERSON L. E. M., HANSEN, S., BENNETT, S. J. (2015) Cerebral Activations Related to Writing and Drawing with Each Hand: Edinburgh versus Annett. DOI: 10.1371/journal.pone.0126723. ISBN 10.1371/journal.pone.0126723. Dostupné také z: <http://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0126723> , University Of Cambridge, PLoS ONE 10(5), s. 1-25
- PRADO, J., CLAVAGNIER, S., OTZENBERGER, H., SCHEIBER, C., KENNEDY, H., PERENIN, M. T. (2005). Two cortical systems for reaching in central and peripheral vision. *Neuron*, 48(5), 849–858
- PRZYBYLA, A., GOOD, D. C., SAINBURG, R. L. (2012). Dynamic dominance varies with handedness: Reduced interlimb asymmetries in left-handers. *Experimental Brain Research*. Vol. 216, no. 3, p. 419-431. ISSN: 1432-1106 doi:10.1007/s00221-011-2946-y
- PUJOL, J., DEUS, J., LOSILLA, J.M., CAPDEVILA, A. (1999) Cerebral lateralization of language in normal left-handed people studied by functional MRI. *textNeurology*. Vol. 52, no.5, p. 1038, ISBN: 1526-632X
- ROERDINK, M., C.E. PEPPER a P.J. BEEK. (2005) Effects of correct and transformed visual feedback on rhythmic visuo-motor tracking: Tracking performance and visual search behavior. *Human Movement Science* 24 (2005) 379–402 DOI: 10.1016/j.humov.2005.06.007. ISBN 10.1016/j.humov.2005.06.007. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167945705000424>
- RUFF, RONALD M. a STEPHEN B. PARKER. GENDER- AND AGE-SPECIFIC CHANGES IN MOTOR SPEED AND EYE-HAND COORDINATION IN ADULTS: NORMATIVE VALUES FOR THE

- FINGER TAPPING AND GROOVED PEGBOARD TESTS. DOI: 10.2466/pms.1993.76.3c.1219. ISBN 10.2466/pms.1993.76.3c.1219. Dostupné také z: <http://www.amsciepub.com/doi/abs/10.2466/pms.1993.76.3c.1219> Volume: 76 issue: 3, page(s): 1219-1230, 1993 St. Mary's Hospital and Medical Center, University of California, San Francisco
- RUBY, P., DECETY, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: A PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*. Vol. 4, p. 546–550.
- SAINBURG, R. L., 2002. Evidence for a dynamic-dominance hypothesis of handedness. *Experimental Brain Research*. 142 (2), 241–258. ISSN: 1432-1106
- SAINBURG, R. L., KALAKANIS D. Differences in control of limb dynamics during dominant and nondominant arm reaching. *J Neurophysiol*. Vol. 83, no. 5, p. 2661-75. ISSN: 1522-1598. Dostupné z: <http://jn.physiology.org/content/83/5/2661.long>
- SANGHAVI, R., KELKAR, R. (2005) Visual-motor integration and learning disabled children. *The Indian Journal of Occupational Therapy*. Vol. 37, no. 2. ISSN (online): 0973-5674
- SERRIEN, D. J., SOVIJÄRVI-SPAPÉ M. M., PEETERS R., WENDEROTH, N., FEYS, P., SWINNEN S. P., HELSEN, W. F. (2016) Manual dexterity: Functional lateralisation patterns and motor efficiency. *Brain and Cognition*. Vol. 108, p. 42–46. DOI: 10.1016/j.bandc.2016.07.005. ISBN 10.1016/j.bandc.2016.07.005. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S027826261630149X>
- SXHWARTZ, M., SMITH, M. L. (1980). Visual asymmetries with chimeric faces. *Neuropsychologia*. Vol. 18, p. 103–106. doi:10.1016/0028-3932(80)90091-3 ISSN: 0028-3932
- SOLODKIN, A., HLUSTIK, P., NOLL D. C., SMALL, S. L. (2001) Lateralization of motor circuits and handedness during finger movements. *Eur J Neurol*. Vol. 8, no. 5., p. 425-34.

- STEENHUIS, R. E., BRYDEN, M. P. (1999). The relation between hand preference and hand performance: what you get depends on what you measure. *Laterality*. Vol 4, p. 326-329. <http://dx.doi.org/10.1080/713754324>
- STRIGARO, G., RUGE, D., CHEN, J-CH., MARSHALL, L., DESIKAN, M., CANTELLO, R., ROTHWELL, J. C. (2015) Interaction between visual and motor cortex: a transcranial magnetic stimulation study. *The Journal of Physiology* [online]. Vol. 593, no. 10, p. 2365-2377 [cit. 2017-01-25]. DOI: 10.1113/JP270135. ISSN 00223751. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1113/JP270135>
- SZAFLARSKI, J. P., J. R. BINDER, E. T. POSSING, K. A. MCKIERNAN, B. D. WARD a T. A. HAMMEKE. (2002) Language lateralization in left-handed and ambidextrous people: fMRI data. *Neurology*, Jul 23;59(2):238-44. DOI: 10.1212/WNL.59.2.238. ISBN 10.1212/WNL.59.2.238. Dostupné také z: <http://www.neurology.org/cgi/doi/10.1212/WNL.59.2.238>
- TICHÝ, J., BĚLÁČEK, J. (2008) Pravo/levorukost a preference druhostranné dolní končetiny. Testování laterality a mozečkové dominance. *Česká a Slovenská neurologie*. Vol. 71/104, no. 5, s.552-558, ISSN: 1802-4041
- TICHÝ, J., BĚLÁČEK, J. (2009) Laterality in children: cerebellar dominance, handedness, footedness and hair whorl. *Activitas Nervosa Superior rediviva*. Vol. 51, no. 1-2-, s. 9–2.
- VAN DEN BERG, F. E., SWINNEN, S. P., WONDEROTH, N. (2011). Involvement of the primary motor cortex in controlling movements executed with the ipsilateral hand differs between left- and right-handers. *Journal of Cognitive Neuroscience*. Vol 23. no. 11, p. 3456-3469. doi:10.1162/jocn.a_00018
- VENTOLINI, N.; FERRERO, E. A; SPONZA, S.; DELLA CHIESA, A.; ZUCCA, P., VALLORTIGARA, G. (2005) Laterality in the wild: preferential hemifield use during predatory and sexual behaviour in the black-winged stilt. DOI: 10.1016/j.anbehav.2004.09.003. ISBN 10.1016/j.anbehav.2004.09.003. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0003347204004610>
- VINGERHOETS, Guy, Frederic ACKE, Ann-Sofie ALDERWEIRELDT, Jo NYS,

- Pieter VANDEMAELE, Eric ACHTEN a Werner F. HELSEN. (2012) Cerebral lateralization of praxis in right- and left-handedness: Same pattern, different strength. *Human Brain Mapping*. Vol. 3, p. 763–777. DOI: 10.1002/hbm.21247. ISBN 10.1002/hbm.21247. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/hbm.21247>
- VOYER, D., VOYER, S. D., TRAMONTE, L. (2012) Free-viewing laterality tasks: A multilevel meta-analysis. *Neuropsychology*, Vol. 26, No. 5, 551–567, DOI: 10.1037/a0028631. eISSN: 1931-1559. Dostupné také z: <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/a0028631>
- VUJANIĆ, M., ANTIĆ, B., PEŠIĆ, D., SAVIĆEVIĆ, M., ROBERTS, J. W., GRIERSON, L. E. M., HANSEN, S., BENNETT, S. J. (2016) Testing the psychophysical characteristics of professional drivers – Can we identify unsafe drivers?: Edinburgh versus Annett. *Transportation Research Part F*. Vol. 42, p. 104–116 DOI: 10.1016/j.trf.2016.07.003. ISBN 10.1016/j.trf.2016.07.003. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1369847816301413>
- WENDEROTH, N., TONI, I., BEDELEEM, S., DEBAERE, F., SWINNEN, S. P., (2006). Information processing in human parieto-frontal circuits during goal-directed bimanual movements. *NeuroImage*. Vol. 31, no. 1, p. 264–278. ISSN: 1053-8119
- WANG, D., BUCKNER, R. L., LIU, H., BUNEO, CH. A. (2014) Functional Specialization in the Human Brain Estimated By Intrinsic Hemispheric Interaction. *Neurosci*. Vol. 34, no. 37, p. 12341–12352. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.0787-14.2014. ISBN 10.1523/JNEUROSCI.0787-14.2014. Dostupné také z: <http://www.jneurosci.org/cgi/doi/10.1523/JNEUROSCI.0787-14.2014>
- WANG, D., BUCKNER, R. L., LIU, H. (2013) Cerebellar asymmetry and its relation to cerebral asymmetry estimated by intrinsic functional connectivity. *J Neurophysiol*. Vol. 109, p. 46–57. ISSN: 1522-1598. doi: 10.1152/jn.00598.2012.
- WILLEMS, R. M., HAGOORT, P. (2009) Hand preference influences neural correlates of action observation. *Brain Research*. Vol. 1269,

p. 90-104. DOI: 10.1016/j.brainres.2009.02.057. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0006899309004594>

WILLIAMS, S. M. (1991) Handedness inventories: Edinburgh versus Annett. DOI: 10.1037/0894-4105.5.1.43. ISBN 10.1037/0894-4105.5.1.43. *Neuropsychology*, Vol 5, no.1, p. 43-48. eISSN: 1931-1559.

Disertace:

Tesař, M. (2014) NEUROPSYCHOLOGICKÉ KORELÁTY EMOCÍ. Bakalářská práce. České Budějovice, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, pedagogická fakulta, katedra psychologie. 73 stran.

Slovníky:

Collins Dictionary of Medicine. (2004, 2005). Retrieved April 4 2017 from <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/laterality>

Dorland's Medical Dictionary for Health Consumers. (2007). Retrieved April 4 2017 from <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/laterality>

Farlex Partner Medical Dictionary. (2012). Retrieved April 4 2017 from <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/laterality>

Medical Dictionary. (2009). Retrieved April 3 2017 from <http://medical-dictionary.thefreedictionary.com/hemispheric+specialization>

Jiné:

Slovníček odborných psychologických pojmů a speciálně pedagogických pojmů v závěrečných zprávách - pedagogicko psychologická poradna Prachatice. [online] Dostupné také z: www.pppcb.cz/attachment/200902181106221801432461.doc [cit.: 12-3-2017]

Obrázky:

Obrázek 1.1 PANDEY, R., GUPTA, G. Assessment of hemispheric asymmetry: Development and psychometric evaluation of a chimeric face test. *Psychiatry Journal*. Vol. 19, no. 1, p. 30-36. DOI: 10.4103/0972-6748.77632. Dostupné také z: <http://www.industrialpsychiatry.org/text.asp?2010/19/1/30/77632>

Obrázek 1.2 IPS https://en.wikipedia.org/wiki/Intraparietal_sulcus

Obrázek 1.3 PPC area 5, 7 <https://smritacharita.blogspot.cz/2010/02/pada-lobus->

dan-diskursus.html

Obrázek 3.1 vlastní zdroje

Obrázek 3.2 vlastní zdroje

Seznam zkratek

CMP - cévní mozková příhoda

DQ - dexterity quotient

fMRI - funkční magnetická rezonance

M1 - primární motorická area

HK - horní končetina

IPS - intraparietální sulcus

PET - pozitronová emisní tomografie

PPC - posteriorní parietální kortex (posterior parietal cortex)

PRR - parietal reaching region

SMA - supplementary motor area

VM - vizuomotorický

VMK - vizuomotorická koordinace (visuomotor coordination)

VMI - vizuomotorická integrace

Seznam tabulek

1.1	Funkce pravé a levé hemisféry	21
3.1	Edinburghský dotazník	48
4.1	Popisné statistiky I	51
4.2	Popisné statistiky II	52
4.3	Dexterity quotient	52
4.4	Test přesnosti - chyby, dominantní HKK praváků a leváků . . .	54
4.5	Test přesnosti - čas, dominantní HKK praváků a leváků	55
4.6	Spearmanova korelace TP - čas x chyby, pref. HKK praváků a leváků	55
4.7	Test rychlosti, dominantní HKK praváků a leváků	56
4.8	test Klidové přesnosti, dominantní HKK praváků a leváků . . .	56
4.9	Popisná statistika pro performaci levé a pravé HK v celém souboru	58
4.10	Test přesnosti pro pravou a levou ruku celého souboru	58
4.11	systém pravá ruka/levá hemisféra, leváci a praváci	60
4.12	Pref. vs nepref. HKK spol. souboru leváků a praváků	61
4.13	TP - čas, rozdíl mezi muži a ženami v rámci celého souboru . .	61
4.14	Test Přesnosti - chyby, rozdíl performací mezi muži a ženami v rámci celého souboru	62

Seznam obrázků

1.1	Chimerická tvář	23
1.2	Intraparietální sulcus	28
1.3	PPC, Brodmanova area 5 a 7	29
3.1	AZ labyrint	45
3.2	Hůlka	46
4.1	Dextrity quotient	53
4.2	Test přesnosti pro pravou a levou HK ve společném souboru leváků a praváků	58
4.3	systém pravá ruka/levá hemisféra u leváků a praváků	60
4.4	Závislost času na pohlaví, TP-čas.	62
4.5	Závislost chybovosti na pohlaví, TP-chyby.	62
4.6	Preferovaná a nepreferovaná HK u leváků a praváků	63

Příloha

Zamyšlení na téma posunu od dominance k partnerství

Symetrie je hezká (pohleď me na klenbu katedrál) a je funkční (pohybový aparát sestávající se ze dvou nohou a dvou rukou). Asymetrie je hezká (zaujme pozornost) a je funkční (dvě polarity uvádějí věci do pohybu, čehož využívá elektřina - pohyb elektronů. Polarizace světla jako prapůvod živé hmoty). Ideální je rovnovážný vztah mezi symetrií a asymetrií, resp. asymetrie vedoucí k symetrii. Stírá se hodnocení polarit ve smyslu nadřazení jedné nad druhou. Od doby Brocy (19.stol), kdy byla L hemisféra považovaná za dominantní již uběhlo mnoho vody a po ní připlulo prostředí schopné uznat odlišné, možná ne tolik zjevné a přitom stejně důležité, funkce pravé hemisféry. Z hierarchického konceptu dominance-submisivita se stal partnerský koncept specializace hemisfér. Tím se uvolnil prostor pro rozvoj funkce pravé hemisféry, která nyní může plně objevovat a snadněji projevit své nadání. Věci potřebují prostor a uznání, aby se mohly projevit a pokud ho utlačuje silnější polarita, oslabuje svého partnera a ochuzuje sebe samu.

Kreslení pravou hemisférou

Betty Edwardsová popsala koncept, kterak se naučit používat pravou hemisféru v projevu kreslení a psaní. Učí jak rozvinout kreativitu, jak pracovat s představami, jak vnímat tvary, proporce a perspektivu.

Z historie leváctví, teorie o jeho pradávném projevu

Doba kamenná - užívání nástrojů

Jak uvádí Sovák (Výchova leváků v rodině, 1979, str. 15) první známky laterality se datují u člověka do doby kamenné. Podle nástrojů z té doby lze soudit, že tehdy byl přibližně stejný počet lidí obratných na pravou ruku jako lidí obratných na levou ruku. Zpočátku byl tedy zhruba stejný poměr praváků a leváků. Vyráběli si nástroje sami. S příchodem bronzu - výroba nástrojů vyžadovala specializaci a začalo převažovat praváctví. Proč se ale poměr nezváhl směrem k levákům?

Astronomie

”Začátky převahy praváctví tkví v primitivních astronomických poznacích o pohybech nebeských těles. Odtud mělo svůj původ uctívání pravé strany i v starodávných mýtech a pak i v náboženství.” (Sovák, 1979, str. 16). Konkrétním projevem je cesta Slunce, která na severní polokouli vede zleva doprava

Bible

Starý zákon se výrazně liší od Nového zákona. Zatímco ve Starém zákoně nacházíme leváky jako speciální a uznávanou jednotku střelců z praku, Nový zákon již výrazně preferuje praváctví na základě soudobých kulturních zvyklostí a potřeb.

20:15 Onoho dne bylo napočteno Benjamínovců z měst dvacet šest tisíc mužů ozbrojených meči, mimo sedm set vybraných mužů napočtených z obyvatelů Gibeje.

20:16 V celém tom vojsku bylo sedm set znamenitých mužů, leváků, z nichž každý střílel z praku navlas přesně a neminul. (Starý zákon - Kniha Soudců)

pozn. jméno Benjamin, vzniklo spojením slov ben-jamin, tj. syn pravice.

Dále uvádím novozákonní zvrát ve vnímání leváctví:

Matouš 25:33 ovce postaví po pravici a kozly po levici.

Matouš 25:41 Potom řekne těm na levici: 'Jděte ode mne, prokletí, do věčného ohně, připraveného ďáblu a jeho andělům!

Matouš 25:42 Hladověl jsem, a nedali jste mi jíst, žíznil jsem, a nedali jste mi pít,

Matouš 25:46 A půjdou do věčných muk, ale spravedliví do věčného života.”

Staré zápaní civilizace nejenže protěžovaly pravou ruku před levou, ony spojovaly levou ruku s ďáblem, temnotou a s ženskostí. Katolická církev tento předsudek přejala od nich. (zdroj: <https://www.compellingtruth.org/Bible-left-handed.html>)

Perzistující kuriozita

Kuriozní soudobé svědectví z země, kde je všechno možné - z Ameriky - přináší tento text. Landover baptist church nazývá levou ruku rukou Satánovou a fenomén leváctví jako chybný krok společnosti, neboť Bůh podle mnoha důkazů upřednostňuje praváky. Církev vyzývá k potírání leváctví, neboť "exituje mnoho důkazů o tom, že leváci budou hořet v pekle po celou věčnost". (zdroj: <http://www.landoverbaptist.net/showthread.php?t=49703>)

Dnešní trend

Západní svět je čím dál tím přívětivější pro leváky, existují levácké komunity a skupiny (www.levactvi.cz), obchody s potřebami pro leváky (www.anythinglefthanded.co.uk/index.html), a dokonce existuje v Anglii firma, která zaměstnává pouze leváky.