

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav klinické rehabilitace

Bc. David Matoušek

Posturografická analýza stoje při změně velikosti a kvality opěrné báze

Diplomová práce

Vedoucí závěrečné práce: Mgr. Radek Mlíka, Ph.D.

Olomouc 2022

Anotace

Typ závěrečné práce: Diplomová práce

Název práce: Posturografická analýza stoje při změně velikosti a kvality opěrné báze

Název práce v AJ: Posturographic analysis of stance while changing the size and quality of the support base

Datum zadání: 2021-01-31

Datum odevzdání: 2022-05-20

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav klinické rehabilitace

Autor práce: Bc. David Matoušek

Vedoucí práce: Mgr. Radek Mlíka, Ph.D.

Oponent práce: Mgr. Hana Haltmar

Abstrakt v ČJ

Cíl: Cílem práce bylo zjistit, zda laterální hemisféry ovlivňují posturální schopnosti zdravých jedinců ve stoji při změně kvality a velikosti jejich opěrné báze.

Metodika: K dosažení stanoveného cíle podstoupilo všech 25 zdravých jedinců z řad studentů FZV UP vyšetření na tlakové plošině. Během jednoho měření probandi vystřídal sedm různých testových podmínek modifikujících jejich stoj. Hodnoty sledovaných parametrů posturografického vyšetření byly následně statisticky zpracovány.

Výsledky: Analýza dat potvrdila statisticky významnou stranovou asymetrii v zatížení dolních končetin při provádění dřepu a rotaci hlavy ve prospěch pravé dolní končetiny. Naopak unilaterální stoj byl stabilnější při opoře o levou dolní končetinu.

Závěr: Funkční dominance hemisfér má dle výsledků práce vliv na posturální stabilitu zdravých mladých jedinců, při změně kvality a velikosti jejich opěrné báze. V praxi by proto měla být zohledněna dominance jedné strany při hodnocení rovnováhy jedince.

Abstrakt v AJ

Aim: The aim of the study was to investigate whether the laterality of the hemispheres influences the postural stability of healthy subjects in standing while changing the quality and size of their support base.

Methodology: During one measurement, the individuals alternated seventeen different test conditions modifying their standing. The values of the observed posturographic examination parameters were then statistically processed.

Results: Data analysis confirmed a statistically significant lateral asymmetry in lower limb loading during squatting and head rotation in favour of the right leg. In contrast, unilateral standing was more stable when supported by the left lower limb.

Conclusion: According to the results of the study, functional dominance of the hemispheres has an effect on postural stability of healthy young individuals, while changing the quality and size of their support base. Therefore, in practice, the dominance of one side should be taken into account when assessing the balance of an individual.

Klíčová slova v ČJ: rovnováha, dominance oka, dominance dolní končetiny, dominance ruky, lateralita a posturální stabilita

Klíčová slova v AJ: balance, eye dominance, eyedness, leg dominance, footedness, hand dominance, handedness, laterality and postural stability

Rozsah: 73 stran

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 20. května 2022

podpis

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce, panu Mgr. Radku Mlíkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady a připomínky. Dále bych rád poděkoval paní Mgr. Kateřině Langové, Ph.D. za pomoc se statistickým zpracováním dat. V neposlední řadě děkuji všem probandům, kteří se zúčastnili testování, za jejich ochotu, spolupráci a čas.

Obsah

Úvod.....	8
1 Přehled poznatků.....	9
1.1 Posturální stabilita	9
1.1.1 Rovnovážný aparát	10
1.1.2 Vizuální systém	12
1.1.3 Somatosenzorický systém	14
1.1.4 Kognitivní funkce	17
1.2 Lateralita.....	17
1.2.1 Dominance horní končetiny	18
1.2.2 Dominance oka.....	20
1.2.3 Dominance dolní končetiny	20
2 Cíle a hypotézy	22
3 Metodologie	23
3.1 Charakteristika výzkumné skupiny.....	23
3.2 Průběh výzkumu.....	23
3.2.1 Příprava měření	23
3.2.2 Vlastní měření	24
3.3 Použité metody výzkumu.....	26
3.3.1 Edinburgh Handedness Inventory	26
3.3.2 Waterloo Footednes Questionnaire – Revised	26
3.3.3 Zebris FDM-S Multifunction Force Measuring Plate®.....	27
3.4 Metody statistického hodnocení	28
4 Výsledky.....	29
4.1 Výsledky k hypotéze H_{01}	29
4.2 Výsledky k hypotéze H_{02}	32
4.3 Výsledky k hypotéze H_{03}	34

4.4	Výsledky použitých dotazníků	35
5	Diskuse	36
5.1	Dominance horní končetiny jako ukazatel laterality hemisfér	36
5.2	Prvky využitě pro zvýšení obtížnosti testových podmínek	37
5.2.1	Absence zraku	37
5.2.2	Zmenšení opěrné báze	38
5.2.3	Kognitivní úkol	38
5.3	Stoj o normální šířce opěrné báze	38
5.4	Specifické modifikace stoje	40
5.4.1	Lateroflexe hlavy	40
5.4.2	Rotace hlavy	41
5.4.3	Opakované rotace hlavy	42
5.4.4	Unilaterální stoj	43
5.4.5	Dominance oka	44
5.4.6	Dřep	46
5.5	Přínos pro praxi	47
5.6	Limity studie	47
	Závěr	49
	Referenční seznam	50
	Seznam zkratk	63
	Přílohy	64
	Seznam příloh	64
	Seznam obrázků	72
	Seznam tabulek	73

Úvod

Posturální stabilita je jednou z klíčových dovedností člověka, díky které je schopen udržet vzpřímenou pozici těla. Bez této základní schopnosti lidského organismu bychom nebyli schopni fungovat v rámci gravitačního pole planety Země. Na procesu posturální kontroly participují centrální nervový systém, senzorický a motorický systém. Všechny tři složky podílející se na udržení rovnováhy jedince vykazují stranové asymetrie na základě laterality hemisfér. Právě vliv funkční dominance jedné poloviny mozku na posturální stabilitu člověka byl předmětem zájmu diplomové práce.

Ačkoliv se první zmínky o lateralitě hemisfér datují již k pátému století našeho letopočtu (Lokhorst, 1996, s. 299), její vliv na rovnovážné schopnosti člověka nebyl jasně definován a popsán. Určitým zdrojem relevantních informací vztahujících se k tomuto tématu jsou zahraniční studie věnující se možnému promítnutí dominance dolní končetiny (dále jen DK) do posturální stability člověka. Výsledky jednotlivých výzkumů se však navzájem neshodují a není tak možné na jejich základě dojít k jednotnému vědeckému konsenzu. Někteří autoři označují dominantní DK jako více stabilní (Kinsella-Shaw et al., 2013, s. 394; Kiyota a Fujiwara, 2014, s. 9; Noguchi. Demura a Nakagawa, 2013, s. 557). Oproti tomu řada vědeckých prací nepotvrdila přítomnost stranové asymetrie související s preferencí jedné DK (Brown, Brughelli a Lenetsky, 2018, s. 196; DeLang et al., 2021, s. 415; Promsri, Haid a Federolf, 2018, s. 173).

Obdobná situace je popisována i v tuzemské odborné literatuře. Absenci stranové asymetrie mezi dolními končetinami (dále jen DKK) dosvědčují ve své práci Janura et al. (2019, s. 4) na základě posturografické analýzy unilaterálního stoje. Naopak Zaatar a Opavský (2013, s. 189) prostřednictvím povrchové elektromyografie prokázali diferenci mezi dominantní a nedominantní DK během balančních úkolů. Variabilitu výsledků dokládá i závěr prezentovaný v práci Bechyňáka a Čakrta (2017, s. 84), že stoj na nedominantní, v tomto případě levé dolní končetině (dále jen LDK), je v porovnání s kontralaterální DK stabilnější. Cílem diplomové práce bylo zjistit, zda a případně jak laterality hemisfér ovlivňuje posturální schopnosti člověka při změně kvality a velikosti opěrné báze.

K vyhledání relevantních literárních zdrojů byly využity následující internetové online databáze: Google Scholar, Medvik, PubMed, Science Direct a Research Gate. Jako klíčová slova byly zvoleny následující anglické názvy: balance, eye dominance, eyedness, footedness, handedness, laterality, leg dominance a postural stability. Preferovány byly publikace vydané v rámci posledních pěti let.

1 Přehled poznatků

1.1 Posturální stabilita

Posturální stabilita označuje schopnost lidského organismu zachovat těžiště těla v rámci opěrné báze, díky čemu je člověk schopen dosáhnutí a udržení vzpřímené pozice těla. Terminologie v zahraniční literatuře není konzistentní, nejčastěji se používají termíny „balance“ a „equilibrium“. Bizovská et al. (2017, s. 23) označují pod anglickým pojmem „balance“ kontinuální svalovou práci a změnu konfigurace kloubů, potřebnou pro zajištění vzpřímené polohy těla. Výraz „equilibrium“ označuje okamžitý stav těla dosažený souborem statických a dynamických strategií „balance“. Jinými slovy se jedná o situaci, kdy výsledkem působení zevních sil a momentů těchto sil na lidský organismus je minimální pohyb těžiště těla kolem své osy, dosažený prostřednictvím balančních schopností (Bizovská et al., 2017, s. 23; Fu a Lephart, 2000, s. 5; Janura a Janurová, 2011, s. 90).

Rozlišujeme základní dvě složky posturální stability, a to statickou a dynamickou. Statická stabilita se týká stoje s oporou o obě DKK, ale zároveň i všechny možné varianty stoje, jako je například stoj na jedné DK atd. Dynamická součást posturální stability se vztahuje ke všem situacím, kdy je lidské tělo v pohybu, ať už se jedná o chůzi, běh nebo jiné pohyby vykonávané jedincem. Pro obě složky posturální stability je klíčová postura, která je definována jako optimální nastavení jednotlivých segmentů těla ve vztahu k vektoru gravitace působící na jedince (Bizovská et al., 2017, s. 27; Janura a Janurová, 2011, s. 86).

Výše uvedené rozdělení na statickou a dynamickou součást posturální stability je čistě didaktické, jelikož samotný stoj je děj dynamický, během kterého se obě podsložky prolínají. Pro zachování stabilní pozice těla vykonává pohybový systém člověka minimální pohyby nutné k udržení stability a vzpřímené polohy. V angličtině jsou označovány tyto oscilace těžiště jako „postural sway“, které jsou výsledkem schopnosti CNS reagovat na stále se měnící zevní a vnitřní podmínky působící na tělo. Na udržení stability se podílí řada fyziologických mechanismů jejichž společným cílem je vytvoření rovnováhy mezi destabilizačními a stabilizačními silami působícími na tělo (Janura a Janurová, 2011, s. 90; Véle, 2006, s. 97).

Posturální reaktibilita je schopnost lidského organismu vytvořit co nejvíce optimální a stabilní výsledné postavení všech dílčích segmentů pohybového systému tak, aby bylo tělo jako celek schopno odolávat účinkům zevních sil. Cílem je tedy defacto vytvořit co nejméně labilní oporu vzhledem k podmínkám prostředí. Klíčem je vyvážená svalová aktivita v oblasti kloubů, která vede za ideálních podmínek k vytvoření co nejstabilnějšího punctum fixum. Aby bylo

dosaženo podmínek spojených s posturální stabilitou je nutné, aby došlo k účelovému nastavení postury označované jako atituda nebo posturální orientace (Bizovská et al., 2017, s. 24).

Za fyziologického stavu jsou pro udržení stability zásadní informace z vestibulárního, vizuálního a somatosenzorického systému, které jsou vedeny aferentními cestami do centrální nervové soustavy (dále jen CNS). Fiedorová a Mrázková (2020; s. 227) uvádí, že při stoji za normálních podmínek (pevný, osvětlený a stabilní povrch) zdravý jedinec využívá senzorické informace v následujícím poměru: 70 % informace z proprioreceptorů a exteroceptorů, 20 % z vestibulárního aparátu a pouze 10 % ze zrakového systému. Bizovská et al. (2017, s. 28) však uvádí individuální rozdíly v dominanci jednoho z výše zmíněných aferentních systémů mezi jedinci. Dílčí aferentní impulsy z jednotlivých výše zmíněných systémů jsou integrovány a zpracovány v CNS. Po multisenzorické integraci a vyhodnocení informací vyšle CNS adekvátní eferentní signál do svalového aparátu, který provede motorickou odpověď nutnou k zachování stabilní pozice těla. Tento proces se označuje jako posturální kontrola. K integraci a zpracování aferentních signálů a následnému zvolení a exekuci vhodné pohybové odpovědi dochází automaticky. K posturální kontrole nervový systém člověka nepoužívá pouze stereotypní reflexy, jak bylo dříve uváděno, ale využívá automatické posturální reakce popisované také jako tzv. stabilizační synergie. Aby byla zvolena správná synergie je nutná existence základních vzorů uložených supraspinálně. Vzory se následně organizují a vytváří polohový program, na který následně navazuje tvorba cíleného vhodného pohybového programu vzhledem k dané aktuální situaci. Popsaný proces propůjčuje posturální kontrole esenciální vlastnost adaptability na vnitřní a vnější podmínky. Důležitým faktorem ovlivňující celý tento děj je předešlá zkušenost, s čímž úzce souvisí schopnost motorického učení. Posturální kontrola nekončí výběrem správné posturální reakce, ale je nutná její kontrola: buď dochází ke korekci pohybové synergie již během její exekuce, nebo až po jejím provedení. Ať už k vybrání, vykonání nebo zpětnovazební kontrole posturálních reakcí je klíčová přítomnost intaktní senzorické informace z výše zmíněných třech systémů (Bizovská et al., 2017, s. 32-35; Carlberg a Hadders-Algra, 2008, s. 10).

1.1.1 Rovnovážný aparát

Vestibulum se skládá z centrální a periferní komponenty uložené ve vnitřním uchu. Vestibulární ganglion, nerv a jádra tvoří centrální složku rovnovážného systému. Periferní část je složena z pěti senzorických struktur: tři polokruhové kanálky a dva otolitické orgány (sacculus a utriculus). Všech pět zmíněných senzorických složek obsahuje vláskové buňky, které jsou uzpůsobeny k zaznamenání pohybu hlavy v různých rovinách a následnému přepisu informace do nervových impulsů (Bojrab, 2018; s. 3).

Spoj mezi vestibulárními jádry a motorickými jádry okulomotorického, trochleárního a abducentního nervu zprostředkovává důležitý vestibulookulární reflex, jehož prostřednictvím CNS ovládá mimovolní pohyby očí, které jsou vyvolávány pohybem hlavy. Výsledkem pak je stabilní obraz a je umožněna orientace v prostoru (Cuschieri, 2009, s. 20; Bojrab, 2018; s. 10).

Brodmannova area 2v je označována za centrální oblast vestibulárního kortexu u lidí. Jádra vestibula jsou spojena vzestupnými drahami nejen s kortexem, ale i s thalamem. Prostřednictvím propojení rovnovážného aparátu s vyššími centry dochází k vědomému vnímání změn držení těla a pohybů. Současně jsou pak stejnou cestou vedeny vhodné motorické odpovědi upravující prováděný pohyb nebo pozici těla (Cuschieri, 2009, s. 21).

Vzájemný vztah vestibula a mozečku hraje významnou roli při posturální kontrole jedince. Jako archicerebellum nebo vestibulocerebellum pak označujeme nejstarší část mozečku, kam právě ústí aferentní výběžky vestibulárních jader. Eferentní dráhy z Purkyňových buněk uvnitř vestibulocerebella vedou signály do ipsilaterálních vestibulárních jader a ganglií. Zmíněné neurální spojení s mozečkem slouží ke sledování vestibulární aktivity a v případě potřeby pak vestibulocerebellum spouští adaptivní procesy potřebné k regulaci tělesné rovnováhy a držení těla (Cuschieri, 2009, s. 20; Zaleski-King et al., 2019, s. 13-14).

K zajištění stability při neočekávaných změnách polohy těla využívá CNS především reflexní automatické reakce, které označujeme jako vestibulospinální reflex (dále VSR). Jedná se o sérii motorických povelů, iniciovaných senzoryckými vstupy z vestibulárního systému. Informace o pohybu a změně polohy těla z dalších senzoryckých systémů (vizuální a somatosenzorycké) jsou integrovány s aferencí z vestibula cestami centrálního nervového systému. Spolu s VSR je při náhlém vzniku nestability těla aktivován i reflex vestibulospinální, který slouží k udržení stabilního krevního tlaku. Oba reflexy jsou pak vedeny retikulospinální projekcí a laterálním a mediálním vestibulospinálním traktem. Aktivace kontralaterálního vestibula uvádí v činnost mediální vestibulospinální trakt (dále MVT), který je zakončen zhruba v prostředku hrudní míchy. Předpokládá se, že MVT kontroluje polohu hlavy díky reflexnímu řízení svalů krku a ramene. Laterální vestibulospinální trakt (dále LVT) oproti MVT sestupuje po celé délce míchy. V současné době se předpokládá, že LTV reflexně ovlivňuje rovnováhu jedince pomocí korekce nebo produkce pohybové aktivity DKK, konkrétněji se jedná o skupinu proximálních extenzorů. Obě tyto dráhy vycházejí z velkých buněk postranního vestibulárního jádra. Obecně lze říci, že společná aktivita MVT a LVT vyvolá aktivitu extenzorů na ipsilaterální straně a flexorovou aktivitu na kontralaterální straně (McCall et al., 2017, s. 1-3; Cuschieri, 2009, s. 21).

Třetí retikulospinální trakt vzniká v retikulárních formacích v kmeni a sestupuje do míchy, kde končí v prostředních částech šedé hmoty míšní. Vestibulosympatické reflexy jsou zprostředkovány pomocí právě těchto specializovaných skupin retikulospinálních neuronů v rostrální ventrolaterální dřeni, které vyčnívají na sympatické pregangliové neurony v míše. K těmto reakcím však mohou přispět i jiné cesty, včetně těch, které se duálně účastní motorické kontroly a regulace aktivity sympatického nervového systému. Retikulospinální projekce zároveň ovlivňuje pohyby končetin a trupu. Často přehlíženým aspektem vestibulospinálních reflexů je, že jsou zprostředkovány prostřednictvím premotorických interneuronů v míše a nikoli prostřednictvím přímých spojení vestibulospinálních a retikulospinálních neuronů s motoneurony (McCall et al., 2017, s. 1-3; Cuschieri, 2009, s. 21).

Věk má přímý vliv na vestibulum a s ním spojené funkce klíčové pro posturální kontrolu. Bourelle et al. (2017, s. 138) sledovali ve své studii změny posturální stability u dětí s pravostrannou dominancí horní končetiny (dále jen HK) ve věku od 4 do 10 let, rozdělených do tří věkových skupin. Výsledky poukazují na možný vztah mezi zráním vestibulárního aparátu v dětském věku a stabilitou, projevující se stranovou asymetrií stabilizačních funkcí. U dvou třetin dospělé populace pak lze nalézt dle Previc (1991, s. 303) tzv. levostrannou otolitickou výhodu, která vede k nerovnoměrnému rozložení stabilizačních a volních motorických funkcí. Argumenty jsou založeny na prenatálním pozorování asymetrického vývoje ucha, labyrintu a polohy plodu v posledním trimestru. Základním kamenem Previcovy teorie pak je ipsilaterální vztah mezi stejnostranným labyrintem a antigravitačními svaly (Previc, 1991, s. 303).

1.1.2 Vizualní systém

Zrakový systém přijímá informace z prostředí ve formě světla. Nervová tkáň sítnice složitými biochemickými procesy mění světelnou energii na nervový vzruch, který je přenášen neurální dráhou. Signál prochází sítnicí, opouští oko prostřednictvím zrakového nervu a je přenášen do různých částí mozku (zrakové oblasti V1 a V2 lokalizované v okcipitálních lalocích, Brodmannovy areae 17,18 a 19). Informace, vyhodnocené v procesu zvaném zrakové vnímání, ovlivňují řadu lidských funkcí, včetně posturální stability (Naňka a Elišková, 2019, s. 297; Remington, 2012, s. 1-9).

Informace z více senzorických orgánů vedou ke zvýšení kvality a přesnosti výsledné motorické odpovědi. Pokud ale dojde k poruše nebo zhoršení jedné (nebo více) z výše zmíněných aferentních modalit, musí zachovalé systémy tento deficit kompenzovat. Například omezený vizuální vstup ztěžuje statickou i dynamickou posturální stabilitu. V případě trvalých

chronických poruch, jako je tomu u pacientů se slabým zrakem, se jedinci spoléhají na intaktní systémy, které poskytnou aditivní smyslový vstup (Dunleavy a Slowik, 2019; s. 73).

Výše popsaný stav, kdy CNS predilekčně využívá informace z neporušených systému se v angličtině označuje jako „sensory reweighting“, do češtiny lze tento pojem volně přeložit jako „senzorická převaha“ (Peterka, 2002; s. 1115).

Preferenci jednoho senzorického vstupu nad ostatními nevidíme pouze u lidí s chronickou poruchou zraku, ale i u relativně méně závažných stavů. Han et al. (2021, s. 3) sledovali, zda u pacientů s chronickou instabilitou hlezna dojde vlivem zavření očí ke zhoršení rovnováhy. Vycházeli totiž z řady předešlých studií, které dokládají sníženou dynamickou posturální stabilitu právě u osob s chronickou instabilitou kotníku (Wikstrom et al., 2007, s. 401; Hertel et al., 2006, s. 137). I jejich studie prokázala dominanci vizuálního systému nad somatosenzorickým, který je u této skupiny pacientů porušen v oblasti postiženého kotníku. Z toho lze usoudit, že ačkoliv je somatosenzorická aference klíčová a zároveň nadřazená ostatním senzorickým vstupům, tak při její poruše dojde predilekčně ke zvýšení závislosti na signálech z vizuálního systému (Han et al., 2021, s. 3-4).

Lidský organismus je složitý a komplexní systém, z čehož vyplývá, že zná více způsobů adaptace na nově vzniklé podmínky. Studie prokázaly, že u pacientů s chronickými bolestmi v dolní části zad je porušena somatosenzorická aference z příslušných částí trupu oproti zdravým jedincům (Tong et al., 2017, s. 28). Zároveň jedinci s bolestmi v oblasti beder dosahovali horších výsledků během vyšetření posturální stability oproti běžné populaci (Mazaheri et al., 2013, s. 21; Van Daele et al., 2009, s. 1237). Na základě uvedených informací ohledně senzorické převahy by se nabízela hypotéza, že CNS bude preferenčně využívat aferenci z vestibula a zraku. Tuto úvahu zkoumali Mohammadi et al. (2021, s. 267), kdy si dali za cíl zjistit, zda se posturální reakce u pacientů s chronickou bolestí dolní části zad liší od zdravých probandů. Během výzkumu manipulovali s příslušnými senzorickými vstupy, aby zjistili, zda jsou určité stabilizační procesy specifické pro danou modalitu, kterou je manipulováno. Výsledkem bylo zjištění, že u jedinců s bolestmi beder nebyla pozorována žádná preference vestibulárních ani zrakových systémů. Zdá se, že somatosenzorický systém je schopen využít kompenzačních strategií spočívající ve zvýšené aferenci z receptorů z nepostižených, tj. zdravých segmentů jedince (Mohammadi et al., 2021, s. 271). Koubková, Satrapová a Pavlů (2017, s. 10) dokonce došly k závěru, že akvabely vykazují lepší hodnoty v posturografickém vyšetření se zavřenýma očima než s otevřenýma. Autorky studie předpokládají, že prostřednictvím drilu v rámci tréninku pod vodou, kdy mají sportovkyně zavřené oči, jsou kladeny zvýšené nároky na vestibulární a somatosenzorický systém, což vede

k jejich postupné dominanci při řízení rovnováhy. Nutno podotknout, že akvabely se věnovaly sportu na závodní úrovni a změny bylo vidět po devíti let tréninku.

1.1.3 Somatosenzorický systém

Somatosenzorický systém byl v minulosti některými autory chybně označován a zaměňován se systémem propioceptivním. V současnosti souhrnně označuje struktury podílející se na komplexním neurosenzorickém a neuromuskulárním procesu, který vede ke zpracování informací vztahujících se k lidskému tělu. Somatosenzorika vede tři modalitty: kožní cití, propiocepci a bolest (Fu a Lephart, 2000, s. 39; Králíček a Houdek, 2011, s. 94).

Kožní cití je souhrnný název pro termoreceptní a taktilní aferenci. Tepelný vjem je detekován specifickými receptory umístěnými ve volných nervových zakončeních v kůži. Termoreceptory v pokožce se dělí na základě vedené informace. Rozlišujeme termoreceptory tepelné (reagují na teplotu prostředí vyšší, než je teplota těla) a chladové (reagují na teplotu prostředí nižší, než je teplota těla) (Dufour et al., 2020, s. 1509; Králíček a Houdek, 2011, s. 97).

Mechanoreceptory informují CNS o doteku a tlaku. Obě tyto modalitty souhrnně označujeme jako taktilní cití. Tyto receptory jsou schopné detekovat mechanickou energii působící na tělo a přeměnit ji a kódovat do nervových impulzů, které jsou dále vedeny nervovým systémem. Kožní cití je zavádějící označení, jelikož se mechanoreceptory vyskytují jak na povrchu těla, tak v hloubce a detekují tak mechanické podněty působící na tělo. Hmatové receptory se nacházejí na celém povrchu těla, tlakové receptory jsou umístěny pouze pod kůží a v hlubších etážích těla. Oba vjemy spolu úzce souvisí. Velmi slabý tlak na povrchu těla je vnímán receptory v kůži a je vyhodnocen jako dotek. Se zvyšujícím se tlakem jsou stimulovány mechanoreceptory v hlubších vrstvách a vjem je prezentován CNS jako tlak. Rozeznáváme různé typy mechanoreceptorů v kůži a podkoží: Meissnerova, Ruffiniho a Vater-Paciniho tělíska, Merkelovy disky a volná nervová zakončení (Králíček a Houdek, 2011, s. 95; Wolfe, 2021, s. 2).

Dřívější studie prokázaly vyšší koncentraci a rozdíl v rozmístění mechanoreceptorů v dlani a chodidle, oproti zbytku lidské pokožky. Díky svým specifickým funkčním vlastnostem jsou mechanoreceptory z výše uvedených oblastí schopné zakódovat do nervového aferentního impulsu amplitudu a rychlost změn rozkmitu tlaku působícího na kůži. Na základě takto kódovaných dostředivých signálů vyšší etáže vyhodnocují prostorovou orientaci těla v závislosti na čase (Johansson a Vallbo, 1979, s. 295; Kavounoudias, Roll a Roll, 1998, s. 3248).

Informace z mechanoreceptorů v kůži a podkoží chodidla hrají významnou roli v řízení posturální kontroly. Lidské chodidlo je v přímém kontaktu s podložkou, z toho důvodu se stalo předmětem řady studií (Preszner-Domjan et al., 2012, s. 2986; Ruescas-Nicolau et al., 2019, s. 459; Tas a Bek, 2018, s. 33; Viseux et al., 2019; s. 266), které zkoumaly možnost ovlivnění posturální stability jedince prostřednictvím stimulace mechanoreceptorů nacházejících se v kůži plosky nohy. Výzkumy prokázaly, že existuje vztah mezi zlepšením rovnováhy člověka a stimulací plantárních kožních mechanoreceptorů. Zvýšená stimulace vede nejspíš k usnadnění senzorické zpětné vazby z chodidel, vedoucí ke zlepšení jak statické, tak dynamické stability. Dále pak autoři předpokládají, že stimulací chodidel dochází ke zvýšení citlivosti mechanoreceptorů, přispívající k lepší kontrole rozložení tělesné hmotnosti mezi obě chodidla. Stimulovat příslušné kožní mechanoreceptory nohy lze prostřednictvím vibrací, elektrických a neelektrických podnětů. Speciálním, ale velmi účinným způsobem k vyvolání konkrétní reakce v posturální kontrole se osvědčilo podložení příslušných míst plosky. Viseux et al. (2018, s. 2-4) použili malé podložky, vyrobeny z tuhé polyesterové pryskyřice oválného tvaru, které umístili pod oba palce probanda během vyšetření rovnováhy na stabilometrické plošině. Výsledky prokázaly statisticky významné zlepšení parametrů posturální stability, konkrétně došlo ke snížení výchylek Centre of pressure (tj. působíště vektoru reakční síly podložky, dále jen COP) v sagitálním směru. Z neelektrických metod se řada autorů věnuje manuálnímu kontaktu (masáž plosky atd.) a jeho vlivu na bezprostřední zlepšení rovnováhy jedince po stimulaci. Dlouhodobý účinek zatím nebyl potvrzen, avšak výše zmíněné metody otevírají nové možnosti ve snaze zlepšení posturální stability v klinické praxi (Preszner-Domjan et al., 2012, s. 2986; Ruescas-Nicolau et al., 2019, s. 459; Viseux et al., 2019; s. 266).

Propriocepc hraje zásadní roli při řízení lidského pohybu, včetně posturální stability. Jedná se o schopnost vnímání polohy těla a jeho pohybů v trojrozměrném prostoru a je limitována kvalitou aference z proprioceptorů. Mezi proprioceptory řadíme svalová vřeténka a Golgiho šlachová tělíska. Dále sem patří Ruffiniformní a Paciniformní tělíska v kloubních pouzdrech a vazech, informující o pohybu v kloubu. Poslední skupinou proprioceptorů jsou Ruffiniho tělíska lokalizována ve škáře. První tři zmínění zástupci zaznamenávají ustálenou pozici v příslušném kloubu (Han et al., 2016, s. 80-82; Králíček a Houdek, 2011, s. 97). Dvě základní podsložky neboli submodality proprioceptivního systému se označují jako kinestazie a statestazie. První jmenovaná je spojena s vnímáním pohybu kloubu, ať už je pohyb proveden na základě vnitřních sil (aktivní pohyb), nebo vnějších sil (pasivní pohyb). Statestazie naopak informuje CNS o pozici v daném kloubu (Fu a Lephart, 2000, s. 39; Bizovská et al., 2017, s. 29).

Výsledky klinických studií věnující se vztahu mezi plantární fascií a posturální stabilitou nejsou konzistentní a bude potřeba dalších studií k objasnění vzájemných souvislostí. Například Tas a Bek (2018, s. 33) došli k závěru, že snížená vzájemná posunlivost jednotlivých vrstev plantární fascie (tj. zvýšená tuhost) vede ke zhoršení posturální stability (konkrétně se jednalo o zvýšení hodnot výchylek v antero-posteriorním a medio-laterálním směru). Oproti tomu Martínéz-Jiménez et al. (2020, s. 75) uvádí, že manuální ošetření plantární fascie mělo vliv na zvýšení celkového povrchu kontaktu a maximálního tlaku chodidla v jeho přední části, nikoliv však na parametry posturální stability.

Somatosenzorický systém vede i informace z nociceptorů, které můžou být následně vyhodnoceny v CNS jako bolestivý vjem. Vzhledem k tomu, že jsou chronické bolesti v dolní části zad (anglicky „chronic low back pain“, zkratka CLBP) v současnosti nejrozšířenějším muskuloskeletálním problémem, tak právě vlivu CLBP na posturální stabilitu se věnuje většina prostudovaných prací. Dle autorů je u pacientů s CLBP porušena jak statická, tak dynamická posturální stabilita. Radebold et al. (2001, s. 724) ve své studii došli k závěru, že jedinci s CLBP vykazovali prodloužení reakční doby svalů trupu oproti zdravým jedincům v kontrolní skupině. Opožděná reakce trupových struktur je jednou z možných příčin zhoršené stability u pacientů s CLBP. Jedním z možných negativních ovlivnění posturální kontroly u jedinců s CLBP je snížená propriocepce (Leinonen, 2003, s. 847). Autor zároveň uvádí, že stupeň bolesti je dalším faktorem ovlivňující míru zhoršení dynamické stability u pacientů s CLBP. Současně pacienti s výraznou bolestí beder vykazují horší hodnoty dynamické posturální stability, než jedinci se střední až mírnou bolestivostí (Soliman, Shousha a Alayat, 2017, s. 1027). Nejen chronická bolest v oblasti zad, ale i krku negativně ovlivňuje rovnováhu člověka. Sremakaew et al. (2021, s. 7) ve své studii zaznamenali, že jedinci s chronickou nespecifickou bolestí krční páteře ve srovnání se zdravými jedinci, vykazovali zvýšené hodnoty výchylek a nadměrnou svalovou činnost v oblasti krku, trupu a DKK. Hyperaktivita krčních svalů může být výsledkem motorických strategií, dávajících si za cíl ochránit krk při případném vzniku posturální nestability. Vlivu akutní bolesti na posturální stabilitu se ve své práci věnovali Suda et al. (2019, s. 2062). Během aplikovali zdravým jedincům injekčně fyziologický roztok do svalů stehien (konkrétně šlo o vastus medialis a lateralis quadricepsu femoris), aby vyvolali bolestivý vjem. Probandy vyšetřili před a ihned po aplikaci bolestivého stimulu. Výsledky prokázaly, že i akutní bolest negativně ovlivňuje posturální stabilitu. Autoři se domnívají, že nocicepce nejen přímo ovlivňuje motorický systém, ale zároveň může bolestivý impuls „zaměstnat“ kognitivní funkce natolik, že už pak nezbyvá dostatečná kapacita potřebná pro řízení posturální kontroly. Ovlivnění kognice bolestivou informací může být dle autorů jednou z možných příčin horší

posturální stability u jedinců trpící chronickou nebo akutní bolestí (Leinonen, 2003, s. 847; Sremakaew et al., 2021, s. 7; Soliman, Shousha a Alayat, 2017, s. 1027).

1.1.4 Kognitivní funkce

Prostřednictvím kognitivních funkcí je člověk schopen vnímat okolní svět. Vzhledem k posturální stabilitě jsou důležité především následující funkce: pozornost, paměť, orientace v prostoru a exekutivní schopnosti včetně rychlosti, kterou je mozek schopný zpracovat informace (Coviello, 2020, s. 1). Exekutivní funkce jsou definovány jako soubor kognitivních schopností nezbytných k plánování, kontrole a provedení řady složitých dílčích úkonů, potřebných k dosažení příslušného cíle, v tomto případě udržení stability. Multisenzorická integrace zmiňovaná v předešlých kapitolách je ovlivněna jak negativně (kognitivní deficit), tak pozitivně kognitivními faktory (Shumway-Cook a Woollacott, 2012, s. 336; Sullivan, Rose a Rohlfing, 2009, s. 793).

V minulosti se předpokládalo, že při posturální kontrole je zapotřebí minimální úrovně pozornosti, vzhledem k tomu, že řízení rovnováhy za běžných podmínek probíhá automaticky. Studie zkoumající změny parametrů posturální stability, při provádění kognitivního úkolu náročného na pozornost, však došly k závěru, že posturální kontrola vyžaduje značnou míru pozornosti. Výzkumy dále naznačují, že požadavky na pozornost nejsou konstantní, ale liší se v závislosti na posturálním úkolu, na věku jedince a jeho rovnovážných schopnostech (Shumway-Cook a Woollacott, 2012, s. 191-192).

1.2 Lateralita

Rozdílům mezi pravou a levou stranou těla se lidé věnují již stovky let. Nejstarší dohledatelné zmínky o diferenci mezi hemisférami lidského mozku jsou z anonymního lékařského pojednání nesoucí název „*De semine*“ z pátého století našeho letopočtu. Informace, které text obsahuje byly v pozdějších dobách vyvráceny (Lokhorst, 1996, s. 299). První poznatky o asymetrii hemisfér podložené standardním vědeckým výzkumem se datují do druhé poloviny devatenáctého století. Tehdejší zájem o studium stranových rozdílů mozku vznikl na pozadí mnohem většího výzkumu řešícího otázku, zda mají různé funkce (řeč, sluch atd.) různou kortikální lokalizaci. Větu, která započala zájem o výzkum stranové asymetrie hemisfér trvající až do nynější doby, pronesl Pierre-Paul Broca, který na základě svého výzkumu o lokalizaci řečových center v mozku prohlásil, že mluvíme levou polovinou mozku. Objev tzv. „jazykové asymetrie“ měl zásadní význam pro vývoj našeho současného pohledu na stranové rozdíly hemisfér. Za prvé, funkční mozková asymetrie se většinou týká stupně, kterým se daná hemisféra podílí na konkrétní funkci. Za druhé, obě půlky mozku přispívají k příslušné

komplexní lidské schopnosti, jako je jazyk, rozdílným způsobem. Ačkoliv levá polovina má u většiny jedinců převahu při zpracování jazyka, neznamená to, že pravá hemisféra zcela postrádá jakékoli jazykové schopnosti. Existují tři hlavní aspekty mluvené řeči, na kterých se pravá hemisféra kriticky podílí: prozódie, pragmatika a paralingvistika (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 9-25).

Vliv na asymetrii hemisfér má i pohlaví. Strukturální rozdíly jsou známou diferencí mezi mužským a ženským mozkiem a tento rozdíl by mohl mít vliv na dominanci jedné poloviny mozku. Zjednodušená kategorizace na mozek mužského nebo ženského typu je přinejmenším v případě mozkové kůry nemožná. Z hlediska funkčních asymetrií hemisfér lze obecně říci, že existují určité pohlavní rozdíly. Muži vykazují na základě funkční magnetické rezonance (dále jen fMRI) mozku větší rozdíly v zapojení jedné hemisféry na úkor té druhé v určitých úkolech (psaní HK, vizuálně-prostorová orientace atd.). Oproti tomu ženy vykazují spíše bilaterální vzorec, což znamená, že začleňují do vykonání daného úkolu obě poloviny mozku rovnoměrněji než muži (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 297).

Mozkové asymetrie mají z evolučního hlediska bohatou historii. Stranové rozdíly mezi polovinami mozku se ukázaly jako výhodné především z následujících třech důvodů. Zaprvé, asymetrie hemisfér selektivně zvyšuje efekt percepčního a motorického učení v dané polovině mozku. Za druhé, díky tomuto uni-hemisférickému vlivu na učení se snižuje reakční doba potřebná pro funkce řízené příslušnou polovinou mozku. Za třetí, mozkové asymetrie poskytují velkou výhodu paralelního a komplementárního zpracování během provádění úkolu (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 50).

1.2.1 Dominance horní končetiny

U párových orgánů mohou být obě složky (končetiny) na stejné funkční úrovni, nebo může být jedna z nich lepší či horší. To vede k preferenčnímu nadužívání výkonnější složky, která je pak označována jako dominantní (He a Ooi, 2020, s. 25).

Ocklenburg a Güntürkün (2017, s. 125) uvádí, že v důsledku vysoké úrovně jemné motoriky horních končetin (dále jen HKK) došlo u lidí k vytvoření extrémní populační preference pravé horní končetiny (dále jen PHK), a to v takové míře, že 90 % lidí tvoří praváci. Přirozený výběr člověka pravděpodobně během evoluce určil dominantní zastoupení pravorukých jedinců v populaci, z důvodů, které nejsou zcela známy. Papadatou-Pastou et al. (2020, s. 515) ve své meta-analýze došli k závěru, že by celosvětový poměr praváků a leváků měl být zhruba 1:10 ve prospěch dominance pravé horní končetiny (dále PHK). Takto silná stranová preference je popsána pouze u některých druhů papoušků, kteří vykazují stejně silnou populační preferenci k používání levého drápu. Dominance HK je definována jako stranová

preferenci jedné HK na úkor té druhé k provádění úkolů, jako je například psaní, kreslení, házení atd. Zajímavé je, že takto vyhraněná stranová asymetrie v preferenci HK není doprovázena žádnou výraznou asymetrií v biomechanických vlastnostech, jako je například svalová síla (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 125; Ruth, 2020, s. 548).

Preference HK je projevem hemisférické asymetrie v motorických oblastech mozku. Dříve se předpokládalo, že je dominance HK determinována pouze přítomností určitých genů v DNA člověka a je tudíž určeno již před narozením, zda bude jedinec pravákem nebo levákem (Ruth, 2020, s. 549). V současné době však víme, že mechanismus vzniku preference jedné HK je složitější a probíhá i postnatálně. Během ontogeneze ovlivňují dominanci jedné HK genetické a environmentální faktory, které následně vykazují složité vzájemné interakce probíhající mezi geny a prostředím jedince. Události, které ovlivňují epigenetické molekulární procesy modulující genovou expresi, začínáme v současnosti teprve chápat (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 132; Ruth, 2020, s. 548). Mezi vlivy prostředí můžeme například řadit i kulturní faktory, jako bylo přeučování levorukých dětí v minulosti. Tato skutečnost zároveň ovlivňuje prevalenci levorukosti (Papadatou-Pastou et al., 2020, s. 481). Jako další možný zevní faktor ovlivňující vznik dominance PHK autoři uvádí kojení. Studie prokázaly, že kojení dítěte do devíti měsíců věku je spojeno se snížením prevalence levorukosti. Současná zjištění naznačují, že kritické období pro vznik dominance HK začíná zhruba před 3. měsícem v děloze a končí v kojeneckém věku před 9. měsícem (Hepper, 2013, s. 594; Huojel, 2019, s. 595).

Z neurofyzilogického hlediska lze zjednodušeně říci, že pohyby PHK jsou preferenčně řízeny motorickým kortexem levé hemisféry a naopak (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 147). Neurální podstata dominance HK však není stále dostatečně objasněna. Rozdíl v nervové aktivitě motorických center kortexu mezi praváky a leváky popisuje řada studií (Dassonville et al., 1997, s. 14017; Klöppel et al., 2007, s. 280; Pool et al., 2014, s. 459; Van den Berg, Swinnen a Wenderoth, 2011, s. 3467). S využitím fMRI vědci došli k závěru, že během pohybů prováděných dominantní HK dochází k aktivaci kontralaterální motorické kůry, jak u leváků, tak praváků. Míra příslušné aktivace motorického kortexu jedné z hemisfér souvisí se stupněm dominance HK. Jinými slovy aktivita motorické kůry je více laterizována u jedinců s výraznější preferencí HK. Zmíněné výsledky poukazují na možnou existenci vztahu mezi funkční aktivací mozku a motorickým chováním jedince (Dassonville et al., 1997, s. 14017). Studie zabývající se efektivní konektivitou motorické kůry naznačují, že leváci a praváci se mezi sebou neliší pouze z hlediska stranové dominance jedné z polovin mozku, ale byl prokázán i odlišný hemisférický mechanismus řízení pohybů HK mezi oběma skupinami. Například lze sledovat větší zapojení dominantní suplementární motorické oblasti při pohybech HK u leváků

v porovnání s praváky. Dalším důkazem o odlišnosti v organizaci mozku mezi oběma skupinami je, že jedinci s dominantní levou horní končetinou (dále jen LHK) vykazují menší asymetrii v efektivní konektivitě hemisfér než praváci. Možným vysvětlením rozdílu v korové konektivitě je fakt, že leváci žijí v prostředí, v kterém jsou často nuceni používat svou nedominantní (pravou) HK (Klöppel et al., 2007, s. 280; Pool et al., 2014, s. 459).

Výše uvedené poznatky potvrzují hypotézu, že je dominantní HK řízena především kontralaterální půlkou mozku. U nedominantní HK by se analogicky nabízela hypotéza, že je její pohyb primárně kontrolován kontralaterální hemisférou (vzhledem k dané ruce). Snímky fMRI však prokázaly, že na řízení motoriky nepreferované HK se podílí obě hemisféry (Grabowska et al., 2012, s. 449). Stejní autoři došli k závěru, že se zvyšující se úrovní náročnosti pohybu dochází k nárůstu aktivovaných oblastí jak v kontralaterální, tak ipsilaterální půlce mozku.

Preference jedné HK není podmíněna pouze rozdíly na úrovni funkce mezi hemisférami, ale je způsobena i strukturální diferencí obou polovin mozku. Tyto rozdíly jsou v lidském mozku hojné a lze je pozorovat na makroskopické i mikroskopické úrovni. Navzdory velkému počtu strukturálních asymetrií se ukázalo, že je překvapivě obtížné je spolehlivě spojit s funkčními asymetriemi. Limitací může být fakt, že studie plně nezohledňovaly komplexnost lidského mozku a zkoumaly strukturální asymetrie buď v šedé, nebo v bílé hmotě (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 257-258).

1.2.2 Dominance oka

Manifestace dominance oka je závislá na prováděném úkolu. U oka však neřešíme pouze motorický projev dominance, ale předmětem zájmu je i vliv dominance na senzorickou funkci oka. Senzorická a motorická dominance očí spolu ne vždy koreluje. Aferentní senzorické informace oka hrají důležitou roli v posturální kontrole. Současné poznatky naznačují, že senzorická dominance oka se projevuje na řadě míst zrakové dráhy. Vztah mezi senzorickou a motorickou dominancí očí není v současné době ještě jasně popsán (He a Ooi, 2020, s. 25).

1.2.3 Dominance dolní končetiny

Dominance HK není u lidí jedinou stranovou preferencí končetin. Predilekční užívání jedné DK není tak jasně vyjádřeno jako u HK a jedná se o mnohem komplexnější problematiku. Hypotéza, že jedinci s dominantní PHK budou preferovat pravou dolní končetinou (dále jen PDK) je chybná. Mylné by však bylo i hledání zkříženého vztahu mezi dominancí HK a DK, to znamená, že by pravorucí jedinci měli dominantní LDK a naopak. U DK manifestace dominance závisí na úkolu, který má provádět (Virgile a Bishop, 2021, s. 853), kdy například

jedna DK může být použita ke kopnutí do míče, zatímco druhá DK bude hrát důležitou roli v posturální kontrole a stabilitě. Virgile a Bishop (2021, s. 853) ve své metaanalýze dále uvádí, že končetina, která je objektivně lepší v jednom úkolu, může být horší při jiném úkolu, a proto by měly být zvoleny testy na dominanci DK tak, aby odrážely nároky potřebné pro zkoumanou aktivitu. Zmíněné informace lze demonstrovat na studii, kterou provedli Vellota et al. (2011, s. 1038), 90 % probandů si vybralo PDK ve chvíli, kdy byl test manipulačního charakteru, ale když byli požádáni, aby provedli jeden ze dvou testů na rovnováhu a stabilitu, více než polovina subjektů vyměnila PDK za LDK.

Z výše uvedeného vyplývá, že funkční asymetrie hemisfér ovlivňuje lidský organismus na řadě úrovní. Všechny tři složky (CNS, senzorický a motorický systém) potřebné pro zajištění posturální stability vykazují stranové asymetrie na základě laterality hemisfér. To byl i jeden z důvodů proč se v praktické části diplomové práce zkoumá vztah mezi stranovou dominancí a posturální stabilitou při změnách kvality a velikosti opěrné báze.

2 Cíle a hypotézy

Cílem práce je zjistit, zda laterálita hemisfér ovlivňuje posturální schopnosti zdravých jedinců ve stoji při změně kvality a velikosti jejich opěrné báze.

H₀1: Funkční dominance **levé hemisféry nemá** u zdravých jedinců vliv na parametry posturální stability manifestující se během testových podmínek modifikujících **bipedální stoj**.

H₁1: Funkční dominance **levé hemisféry má** u zdravých jedinců vliv na parametry posturální stability manifestující se během testových podmínek modifikujících **bipedální stoj**.

H₀2: Funkční dominance **levé hemisféry nemá** u zdravých jedinců vliv na parametry posturální stability manifestující se během testových podmínek modifikujících **unilaterální stoj**.

H₁2: Funkční dominance **levé hemisféry má** u zdravých jedinců vliv na parametry posturální stability manifestující se během testových podmínek modifikujících **unilaterální stoj**.

H₀3: Funkční dominance **levé hemisféry nemá** u zdravých jedinců vliv na parametry posturální stability manifestující se během testových podmínek modifikujících **dřep**.

H₁3: Funkční dominance **levé hemisféry má** u zdravých jedinců vliv na parametry posturální stability manifestující se během testových podmínek modifikujících **dřep**.

3 Metodologie

Výzkum diplomové práce byl schválen etickou komisí Fakulty zdravotnických věd – Univerzity Palackého v Olomouci (dále jen FZV UP) pod číslem 47637/1070-2021 (viz příloha č. 1).

3.1 Charakteristika výzkumné skupiny

Výzkumu se celkem zúčastnilo 27 zdravých jedinců (tj. bez onemocnění v akutním ani chronickém stádiu, které negativně ovlivňuje funkci senzorického, nervového a pohybového systému jedince) z řad studentů FZV UP, bez rozdělení na experimentální a kontrolní skupinu. Z prevence možného zkreslení výsledků se výzkumu účastnili pouze jedinci, kteří se nevěnují žádné sportovní disciplíně na profesionální úrovni (pouze rekreačně, tj. ve sportovní činnosti nesoutěží a nevěnují se jí každý den). Z důvodu zajištění co největší homogenity výzkumného vzorku s ohledem na cíl práce byla dominance PHK stanovena jako kritérium pro zařazení do výzkumu. Dominance PHK byla stanovena na základě výsledku dosaženého probandy v dotazníku Edinburgh Handedness Inventory (viz kapitola 3.3.1; dále jen EHI). Dva probandi byli na základě nedostačujícího dosaženého skóre (tj. méně než 40 bodů) vyřazeni z výzkumu. Konečný počet probandů splňující kritéria výzkumu je 25 (z toho 20 žen a 5 mužů). Průměrné skóre, kterého probandi dosáhli v dotazníku: 82,53 ($N = 25$; $SD = 13,72$). Věkový interval byl stanoven od 20 do 30 let věku ($N = 25$; průměrný věk = 24,24 let; $SD = 0,9$).

3.2 Průběh výzkumu

Sběr dat probíhal ve výukových prostorách Ústavu fyzioterapie v budově Teoretických ústavů FZV UP.

3.2.1 Příprava měření

Všichni probandi byli před zahájením vlastního měření seznámeni s cílem výzkumu a průběhem měření. Poté podepsali informovaný souhlas (viz příloha č. 2) ve dvou vyhotovení, z nichž si jedno ponechali. Následovalo odebrání anamnézy a vyplnění dotazníku EHI. Poté probandi absolvovali vyšetření posturální stability na tlakové plošině. Z důvodu ochrany osobních údajů byl každý proband v softwarovém rozhraní plošiny veden pod písmenem abecedy, které si náhodně vylosoval před začátkem testování.

3.2.2 Vlastní měření

Každý proband podstoupil jedno měření. Před začátkem si náhodně vylosoval pořadí testových podmínek. Poté byl požádán, aby si na předem vydesinfikovanou plošinu stoupl bos a hleděl před sebe. Před každou testovou podmínkou byl proband slovně instruován. Doba měření nepřesáhla 20 minut. Testových podmínek bylo celkem 17, z toho v 7 případech se jednalo o modifikace bipedálního stoje. Dalších 6 podmínek/ úkolů se věnovalo stoju na jedné DK a na závěr byly 4 podmínky zaměřeny na dřep.

A. modifikace bipedálního stoje: Měření jedné z následujících 7 podmínek trvalo vždy 20 sekund. Krajiní pozice, nebo pohyby hlavy nesměly probandovi způsobovat bolest. Jako kognitivní úkol bylo zvoleno násobení, odčítání čísel od určité hodnoty a odříkání abecedy. Příslušný kognitivní úkol měli probandi dostatečně nahlas interpretovat, aby je vyšetřující slyšel. Přesný popis jednotlivých podmínek:

- T1 obě chodidla umístěna na tlakové plošině na šířku pánve, oči otevřené – pohled přímo před sebe, hlava ve středním postavení (tj. bez úklonu, rotace, předsunu, záklonu a předklonu), HKK volně podél těla, bez kognitivního úkolu,
- T2 stoj spatný, obě oči zavřené, úklon hlavy na pravou stranu (bez současné elevace ramen a rotace hlavy) z výchozího středního postavení (viz testová podmínka č. 1), HKK volně podél těla, bez kognitivního úkolu,
- T3 stoj spatný, obě oči zavřené, úklon hlavy na levou stranu (viz testová podmínka č. 2), HKK volně podél těla, bez kognitivního úkolu,
- T4 stoj spatný, obě oči zavřené, hlava zrotována na levou stranu (proband před zahájením měření rotuje hlavu do krajiní pozice z výchozího středního postavení hlavy, viz testová podmínka č. 1), HKK volně podél těla, s kognitivním úkolem,
- T5 stoj spatný, obě oči zavřené, hlava zrotována na pravou stranu (viz testová podmínka č. 4), HKK volně podél těla, s kognitivním úkolem,
- T6 obě chodidla umístěna na tlakové plošině na šířku pánve, oči otevřené – pohled přímo před sebe, proband během měření testové podmínky po celou dobu kontinuálně provádí rotaci hlavy z jedné strany na druhou v horizontální rovině (bez současného úklonu hlavy a elevace ramen), na začátku je hlava ve středním postavení (viz testová podmínka č. 1), HKK volně podél těla, bez kognitivního úkolu,
- T7 obě chodidla umístěna na tlakové plošině na šířku pánve, obě oči zavřené, proband během měření testové podmínky po celou dobu kontinuálně provádí rotaci hlavy z jedné

strany na druhou v horizontální rovině (viz testová podmínka č. 6), HKK volně podél těla, s kognitivním úkolem.

B. stoj na jedné dolní končetině: Měření jedné z následujících 6 podmínek trvalo vždy 20 sekund. Probandi byli instruováni, aby rozpažili obě HKK do horizontály a nestojnou DK flektovali do 90° v kyčelním a kolenním kloubu. Pokud došlo ke kontaktu obou DKK bylo měření příslušné testové podmínky ukončeno a zopakováno od začátku. Přesný popis jednotlivých podmínek:

T8 stoj na PDK, obě oči otevřené,

T9 stoj na PDK, pravé oko zavřené,

T10 stoj na PDK, levé oko zavřené,

T11 stoj na LDK, obě oči otevřené,

T12 stoj na LDK, pravé oko zavřené,

T13 stoj na LDK, levé oko zavřené.

C. dřep: Měření jedné z následujících 4 podmínek trvalo vždy 10 sekund. Během této doby měli probandi provést 3 dřepy do maximálně 90° flexe v kolenních kloubech. Výchozí pozice dřepu byl bipedální stoj, kdy obě chodidla byla umístěna na tlakové plošině na šířku pánve, hlava se nacházela ve středním postavení (tj. bez úklonu, rotace, záklonu a předklonu). Přesný popis jednotlivých podmínek:

T14 dřep s otevřenýma očima,

T15 dřep se zavřenýma očima,

T16 dřep s otevřenýma očima na měkké podložce,

T17 dřep se zavřenýma očima na měkké podložce.

Každá testová podmínka byla uložena v softwarovém rozhraní plošiny pod příslušným písmenem probanda a číslem daného testu (například poté, co proband s písmenem „F“ absolvoval testovou podmínku č. 14, tj. dřep s otevřenýma očima, byl příslušný test uložen jako F14).

3.3 Použité metody výzkumu

3.3.1 Edinburgh Handedness Inventory

Pro stanovení dominantní HK byl u probandů využit standardizovaný dotazník EHI (viz příloha č. 3). Cílem EHI je objektivní zhodnocení dominance HK při všedních denních aktivitách (ADL). V současné době je EHI nejčastější metodou pro určení dominance HK ve vědeckých publikacích (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 27). Dotazník se skládá z 10 otázek. U každé otázky měl proband určit, kterou HK preferuje při provádění dané činnosti a poté ve sloupci pro tuto stranu (levá nebo pravá) vyznačit „+“. Pokud je preference jedné HK tak silná, že by člověk druhou HK nepoužil, pokud by nebyl nucen, pak se u této strany vyznačí „++“. V případě, že není preferována žádná HK pro daný úkol, pak je „+“ vyznačeno v obou sloupcích pro obě strany. Výsledné skóre se nazývá kvocient laterality (QL). Vypočítá se podle vzorce:

$$QL = \frac{(R-L)}{(R+L)} \cdot 100$$

Písmeno R značí celkový počet „+“ na pravé straně sloupce (L pak na levé straně sloupce). Maximální dosažitelné skóre QL je 100 („absolutní“ pravorukost) a -100 („absolutní“ levorukost). Na základě dosaženého skóre jsou jedinci zařazeni do následujících třech kategorií:

1. dominantní LHK: $QL < -40$,
2. ambidextrie: $QL = (-40, 40)$,
3. dominantní PHK: $QL > 40$.

3.3.2 Waterloo Footednes Questionnaire – Revised

Pro názornou ukázkou rozdílu mezi stanovením dominantní HK a DK všech 25 probandů zahrnutých do výzkumu (tj. dominantní PHK na základě výsledků EHI) dále vyplnilo Waterloo Footednes Questionnaire – Revised (dále jen WFQ-R). V tomto krátkém dotazníku (viz příloha č. 5) má jedinec uvést, jakou DK preferuje pro 10 různých činností (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 151). Odpovědi na jednotlivých deset podotázek ukazují, jak se DK zapojuje ve dvou různých typech úkolů:

1. pohybová aktivita s předměty (např. kopání míče přímo na cíl, zvedání kuličky prsty),
2. stabilizace těla (např. stoj na jedné noze).

Otázky 1, 3, 5, 7 a 9 se týkají aktivit s předměty, zatímco položky 2, 4, 6, 8 a 10 jsou cíleny na stabilizaci těla (Barros Camargos, da Silva Palmeira a Fachin-Martins, 2017, s. 728-729). Probandi vybírali u otázek z následujících možností odpovědí:

- vždy levou (-2),
- běžně levou (-1),
- levou i pravou (0),
- běžně pravou (1),
- vždy pravou (2).

Jednotlivé otázky jsou pak bodově ohodnoceny od -2 do 2. Celkové skóre se může pohybovat od -20 do 20 podle uvedených odpovědí (Ipek et al., 2021, s. 628). Ze součtu bodů lze dominanci DK klasifikovat jako:

1. levostrannou: od -20 do -7,
2. smíšenou (tj. ekvivalent k ambidextrii u HKK): od -6 do 6,
3. pravostrannou: od 7 do 20.

3.3.3 Zebris FDM-S Multifunction Force Measuring Plate®

Pro objektivní postup k získání dat byla zvolena dynamická počítačová posturografie. Prostřednictvím tlakové plošiny od firmy Zebris Medical GmbH byly sledovány následující parametry posturální stability probandů během jednotlivých testových podmínek:

1. **95 % confidence ellipse area** – minimální plocha obsahující 95 % z poloh COP v průběhu měření, hodnota parametru je uváděna v mm², zvýšení hodnot parametru odpovídá zhoršení rovnováhy jedince,
2. **COP path length** – trajektorie, kterou COP urazí během měření, hodnota parametru je uváděna v mm, zvýšení hodnot parametru odpovídá zhoršení rovnováhy jedince,
3. **COP average velocity** – průměr z rychlostí COP v rámci daného měření, hodnota parametru je uváděna v mm/s, zvýšení hodnot parametru odpovídá zhoršení rovnováhy jedince,
4. **average forces** – procentuální rozložení celkového zatížení mezi pravé a levé chodidlo, hodnota parametru je uváděna v procentech, větší procentuální zatížení jedné DK na úkor druhé DK odpovídá zhoršení rovnováhy jedince.

Byl použit typ tlakové plošiny Zebris FDM-S o rozměru 69 x 40 x 2,1 cm (délka, šířka a výška). Každý z 2 560 kapacitních tlakových senzorů plošiny je jednotlivě kalibrován tak, aby snímal co nejpřesněji statické a dynamické rozložení tlaku pod chodidly během stoje.

Senzory jsou rozmístěny na ploše o rozměru 54 x 33 cm (délka a šířka). Měřicí rozsah plošiny je 1–120 N/cm² s přesností ± 5 %. Vzorkovací frekvence je 120 Hz nebo 240 Hz (The zebris FDM System – gait and roll-off analysis in practice, 2016).



Obrázek 1 Tlaková plošina Zebris FDM-S Multifunction Force Measuring Plate® (The zebris FDM System – gait and roll-off analysis in practice, 2016)

Plošina je propojena s počítačem prostřednictvím USB kabelu. Software zebris FDM Software Suite umožňuje vyšetřujícímu samotné provedení testu, uložení dat a jejich následný export ve formě Stance Test Report (názorný příklad reportu viz příloha č. 4).

3.4 Metody statistického hodnocení

Pro zpracování a vyhodnocení dat byly jednotlivé Stance Test Reporty uloženy ve formě PDF na harddisk počítače, odkud byly extrahovány na přenosný USB disk. Data byla ze souborů PDF přepsána do Microsoft Office 365 – Excel pro následné statistické zpracování v programu Statistica 14. Data byla testována Shapiro-Wilk testem na normální rozložení. U hodnot s normální distribucí byl využit párový Studentův t-test. Druhá skupina dat (tj. bez normálního rozložení) byla vyhodnocena Wilcoxonovým párovým testem. Hladina významnosti byla stanovena na 95 %. Výsledek $p \leq 0,05$ byl považován za statisticky signifikantní na jehož základě bylo možné zamítnout nulovou hypotézu a přijmout alternativní.

4 Výsledky

Písmena v horním indexu značí, jaký statistický test byl využit: *w* pro Wilcoxonův párový test a *t* pro párový Studentův *t*-test.

4.1 Výsledky k hypotéze H_0

Tabulka 1. Popisná statistika pro parametr: **95 % confidence ellipse area**

testová podmínka	průměr [mm ²]	medián [mm ²]	minimum [mm ²]	maximum [mm ²]
T1	29,89	23,4	8,2	139,9
T2	147,02	131,9	45,8	321,6
T3	125,43	106,5	56,8	321,9
T4	108,66	93,7	43	385,9
T5	130,92	81,3	39,2	520
T6	43,93	33,9	10,7	134
T7	43,01	38,7	13,7	114,7

Tabulka 2. Statistické párové testy pro parametr: **95 % confidence ellipse area**

název testů	p
T2-T3	0,114 ^t
T4-T5	0,677 ^w

Tabulka 3. Popisná statistika pro parametr: **COP path length**

testová podmínka	průměr [mm]	medián [mm]	minimum [mm]	maximum [mm]
T1	91,61	83,2	50,7	150,4
T2	283,72	260	173,1	579,6
T3	268,25	242	198,6	468,3
T4	309,16	296	180,8	505,2
T5	289,93	260,6	148,6	727,4
T6	142	131,7	74,8	314,2
T7	151,42	154,3	83,7	263,2

Tabulka 4. Statistické párové testy pro parametr: **COP path length**

název testů	p
T2-T3	0,124 ^t
T4-T5	0,092 ^w

Tabulka 5. Popisná statistika pro parametr: **COP average velocity**

testová podmínka	průměr [mm/s]	medián [mm/s]	minimum [mm/s]	maximum [mm/s]
T1	4,66	4,2	2,6	7,7
T2	14,44	13,2	8,8	29,5
T3	13,66	12,3	10,1	23,8
T4	15,63	15,1	9,2	25,7
T5	14,76	13,3	7,6	37
T6	7,24	6,7	3,8	16
T7	7,77	7,9	4,3	13,4

Tabulka 6. Statistické párové testy pro parametr: **COP average velocity**

název testů	p
T2-T3	0,126 ^t
T4-T5	0,371 ^t

Tabulka 7. Popisná statistika pro parametr: **average forces LDK**

testová podmínka	průměr [%]	medián [%]	minimum [%]	maximum [%]
T1	49,64	49,8	43,9	56,4
T2	47,05	47,8	35,7	58,4
T3	48,11	49,5	34,5	56,1
T4	47,27	47,3	40	56,3
T5	48,99	50	38,9	56,4
T6	50,45	50,6	41	62,6
T7	50,57	50,7	43,5	59,6

Tabulka 8. Statistické párové testy pro parametr: **average forces LDK**

název testů	p
T2-T3	0,218 ^t
T4-T5	0,016^w
T1-T6	0,135 ^t
T1-T7	0,129 ^t
T6-T7	0,877 ^t

Tabulka 9. Popisná statistika pro parametr: **average forces PDK**

testová podmínka	průměr [%]	medián [%]	minimum [%]	maximum [%]
T1	50,36	50,2	43,6	56,1
T2	52,94	52,2	41,6	64,3
T3	51,88	50,5	43,9	65,5
T4	52,73	52,7	43,7	60
T5	51,01	50	43,6	61,1
T6	49,55	49,4	37,4	59
T7	49,43	49,3	40,4	56,5

Tabulka 10. Statistické párové testy pro parametr: **average forces PDK**

název testů	p
T2-T3	0,218 ^t
T4-T5	0,016^w
T1-T6	0,135 ^t
T1-T7	0,119 ^t
T6-T7	0,878 ^t

Wilcoxonův párový test prokázal statisticky významnou hladinu p (tj. $p \leq 0,05$) viz tabulka č. 8 a tabulka č. 10. Proto nulovou hypotézu **H₀1 můžeme zamítnout** v prospěch alternativní hypotézy H₁1.

4.2 Výsledky k hypotéze H₀₂

Tabulka 11. Popisná statistika pro parametr: **95 % confidence ellipse area**

testová podmínka	průměr [mm ²]	medián [mm ²]	minimum [mm ²]	maximum [mm ²]
T8	164,84	166,3	68,9	311,4
T9	270,76	255,1	85,2	471,5
T10	232,41	213,2	81,2	573,8
T11	141,99	133,7	45,1	283,7
T12	276,88	254,6	93,6	886,5
T13	250,32	209,6	93,5	624,5

Tabulka 12. Statistické párové testy pro parametr: **95 % confidence ellipse area**

název testů	p
T8-T11	0,097 ^t
T9-T10	0,101 ^t
T9-T12	0,737 ^w
T9-T13	0,288 ^t
T10-T12	0,069 ^w
T10-T13	0,482 ^t
T12-T13	0,078 ^w

Tabulka 13. Popisná statistika pro parametr: **COP path length**

testová podmínka	průměr [mm]	medián [mm]	minimum [mm]	maximum [mm]
T8	486,98	482	330,2	783,1
T9	679,9	675,5	361,3	1141,6
T10	661,44	627,8	322	1111,3
T11	439,3	398,2	210,4	860,6
T12	631,48	554,6	410,4	1304,3
T13	629,23	554,6	388,8	1278,5

Tabulka 14. Statistické párové testy pro parametr: **COP path length**

název testů	p
T8-T11	0,004^w
T9-T10	0,609 ^t
T9-T12	0,151 ^t
T9-T13	0,155 ^t
T10-T12	0,364 ^t
T10-T13	0,289 ^t
T12-T13	0,939 ^t

Tabulka 15. Popisná statistika pro parametr: **COP average velocity**

testová podmínka	průměr [mm/s]	medián [mm/s]	minimum [mm/s]	maximum [mm/s]
T8	24,81	24,5	16,8	39,9
T9	34,59	34,4	18,5	58,1
T10	33,7	31,9	16,4	56,6
T11	22,34	20,3	10,7	43,6
T12	32,03	28,2	20,9	66,4
T13	32,02	28,2	19,9	65

Tabulka 16. Statistické párové testy pro parametr: **COP average velocity**

název testů	p
T8-T11	0,004^w
T9-T10	0,628 ^t
T9-T12	0,134 ^t
T9-T13	0,154 ^t
T10-T12	0,335 ^t
T10-T13	0,276 ^t
T12-T13	0,996 ^t

Wilcoxonův párový test prokázal statisticky významnou hladinu p (tj. $p \leq 0,05$) viz tabulka č. 14 a tabulka č. 16. Proto nulovou hypotézu **H₀2 můžeme zamítnout** v prospěch alternativní hypotézy H₁2.

4.3 Výsledky k hypotéze H₀₃

Tabulka 17. Popisná statistika pro parametr: **average forces LDK**

testová podmínka	průměr [%]	medián [%]	minimum [%]	maximum [%]
T14	49,66	49,6	44,8	54,1
T15	49,52	49,7	43,9	53,3
T16	50,23	49,8	46,4	54,8
T17	50,332	50	47	56,2

Tabulka 18. Statistické párové testy pro parametr: **average forces LDK**

název testů	p
T14-T15	0,616 ^t
T14-T16	0,047^w
T14-T17	0,167 ^t
T15-T16	0,088 ^t
T15-T17	0,076 ^t
T16-T17	0,736 ^t

Tabulka 19. Popisná statistika pro parametr: **average forces PDK**

testová podmínka	průměr [%]	medián [%]	minimum [%]	maximum [%]
T14	50,34	50,4	45,9	55,2
T15	50,5	50,3	46,7	56,1
T16	49,76	50,2	45,2	53,6
T17	49,67	50	43,8	53

Tabulka 20. Statistické párové testy pro parametr: **average forces PDK**

název testů	p
T14-T15	0,572 ^t
T14-T16	0,047^w
T14-T17	0,167 ^t
T15-T16	0,078 ^t
T15-T17	0,068 ^t
T16-T17	0,745 ^t

Wilcoxonův párový test prokázal statisticky významnou hladinu p (tj. $p \leq 0,05$) viz tabulka č. 18 a tabulka č. 20. Proto nulovou hypotézu **H_0** **můžeme zamítnout** v prospěch alternativní hypotézy H_1 .

4.4 Výsledky použitých dotazníků

Tabulka 21. Dosažené počty bodů v Edinburgh Handedness Inventory

N	průměr	medián	minimum	maximum
25	82,53	85	42	100

Tabulka 22 Dosažené počty bodů v Footednes Questionnaire – Revised

N	průměr	medián	minimum	maximum
25	6,96	7	0	18

5 Diskuse

5.1 Dominance horní končetiny jako ukazatel laterality hemisfér

Hlavním cílem diplomové práce bylo zjistit, zda funkční asymetrie jedné poloviny mozku ovlivňuje posturální stabilitu člověka. V minulosti se řada studií věnovala případnému vlivu laterality na rovnováhu jedince (Kozinc a Šarabon, 2021; Huurnink et al., 2014; Niu et al., 2015; Noguchi, Demura a Nakagawa, 2013; Matsuda, S. Demura a T. Demura, 2003). Výsledky jednotlivých výzkumů se však navzájem neshodují a není tak možné na jejich základě dojít k jednotnému vědeckému konsenzu.

S ohledem na charakteristiku probandů ve výzkumné části diplomové práce (zdraví mladí studenti) nebyly výsledky práce porovnávány se studiemi, které ve svém výzkumu zahrnuly jedince trpící jakoukoliv nemocí (CMP, Parkinsonova choroba atd.).

Největší limitací dosavadních odborných publikací věnující se této problematice a splňující výše zmíněné kritérium je dle mého názoru nedostatečná homogenita výzkumných vzorků. Přílišná různorodost probandů byla zapříčiněna využitím dominance DK jako kritéria pro zařazení do výzkumu. V porovnání s HKK není preference jedné DK tak silně vyjádřena. Stranové zvýhodnění určité DK závisí podle Virgile a Bishop (2021, s. 853) na specifickém charakteru daného úkolu. To znamená, že dominance DK není konzistentní, a může dojít k přednostnímu zapojení odlišných DKK v průběhu testování jednoho probanda. I přesto lze vidět v mnohých studiích (Niu et al., 2015, s. 70; Noguchi, Demura a Nakagawa, 2013, s. 557; Matsuda, S. Demura a T. Demura, 2003, s. 753) aplikaci pouze jednoho úkolu ke stanovení preferované DK. Ve výše zmíněných studiích byl využit konkrétní test, kdy má proband říci, jakou DK by kopl do fotbalového míče. Dominantní DK je ta, kterou proband určí ke kopu. Stojná DK je označena za nedominantní (Noguchi, Demura a Nakagawa, 2013, s. 560). Limitací pak není pouze využití jedné testové podmínky pro stanovení stranové dominance, ale i fakt, že existují rozdíly mezi subjektivně preferovanými a objektivně dominantními končetinami (Virgile a Bishop, 2021, s. 853).

Na základě těchto informací bylo pro dosažení co nejnižší heterogenity zkoumaného vzorku diplomové práce stanoveno jako kritérium pro zařazení do výzkumu dosažení skóre vyšší než 40 v dotazníku Edinburgh Handedness Inventory (dále jen EHI). Získání zmíněného počtu bodů v EHI odpovídá dominanci PHK. Všichni jedinci zahrnutí do výzkumu práce byli praváci (viz tabulka č. 21). Dominance jedné HK je nejznámějším projevem funkční asymetrie jedné poloviny mozku v motorických oblastech (Ruth, 2020, s. 549). Laterality hemisfér byla proto stanovena na základě preference horní končetiny (dále jen HK).

Porovnáme-li hodnoty dosažené v dotazníku WFQ-R (viz tabulka č. 22) s výsledky z EHI (viz tabulka č. 21), vyjde nám, že dominance DK není tak jasně vyjádřena jako preference HK. Z 25 probandů, kteří v EHI dosáhli skóre odpovídající pravostranné dominanci HK, jich pouze 13 dosáhlo bodové hranice ve WFQ-R pro preferenci PDK. U zbylých 12 jedinců odpovídal výsledek WFQ-R smíšené dominanci DKK.

V první otázce WFQ-R je jedinec dotazován na již zmiňovanou preferenci jedné DK ke kopu do míče. Nedostatečnost využití pouze jedné otázky k určení preferované DK dokládá fakt, že všech 25 participantů zahrnutých do praktické části diplomové práce na tuto konkrétní otázku odpovědělo ve prospěch pravé strany (tj. běžně pravou/ vždy pravou). Na základě analýzy zmíněné otázky by mohla být stanovena dominance PDK u všech probandů. Přitom další otázky a celkové vyhodnocení dotazníku WFQ-R potvrdilo pravostrannou preferenci DK pouze u 13 z nich (z nichž ještě 3 dosáhli pouze celkového skóre 7). To potvrzuje fakt, že dominance DK je mnohem komplexnější a složitější proces, než je tomu u preference HK (Ocklenburg a Güntürkün, 2017, s. 151). Nejen proto byla využita preference PHK jako vstupní kritérium výzkumu a zároveň ukazatelem funkční dominance motorických center jedné (v tomto případě levé) poloviny mozku.

5.2 Prvky využité pro zvýšení obtížnosti testových podmínek

Každá z modifikací určitým způsobem ztěžovala proces posturální kontroly vyšetřovaných. Cílem bylo zjistit, zda se při vyšších nárocích na udržení rovnováhy projeví funkční dominance levé hemisféry. Prvky byly použity pouze za účelem zvětšit obtížnost měření natolik, aby se případně během daného úkolu projevila stranová difference ve sledovaných parametrech stabilometrického vyšetření. Vyšší náročnost byla stanovena i s ohledem na fakt, že se ve všech případech jednalo o zdravé mladé jedince. Následující modifikace stoje byly využity a navzájem kombinovány.

5.2.1 Absence zraku

Omezení zrakového vstupu zavřením očí bylo využito u testových podmínek T2 až T5 a T7. Snížení vizuální zpětné vazby vede ke zhoršení posturální stability, projevující se zvýšením hodnot parametru *COP average velocity* během posturografického vyšetření (Giagazoglou et al., 2009, s. 578). Podobný výsledek naznačuje i statistická analýza hodnot zmíněného parametru mezi podmínkami T6 a T7 ($p = 0,0124^w$). Pro cíl práce toto porovnání nemá význam, avšak je možné na něm demonstrovat vliv zraku na rovnováhu jedince. Právě z toho důvodu byl použit deficit vizuální aference, jako jeden z prvků pro zvýšení obtížnosti příslušných modifikací stoje.

5.2.2 Zmenšení opěrné báze

Velikost opěrné báze má přímý vliv na rovnováhu jedince. Vyšší nároky jsou kladeny na proces posturální kontroly, pokud dojde ke zmenšení opěrné báze (Riemann et al., 2018, s. 68). Proto byl jako další ztěžující prvek u podmínek T2 až T5 využit stoj spatný, kdy probandů umístili obě chodidla co nejbližší k sobě na tlakové plošině. Porovnáme-li hodnoty proměnné *COP average velocity* parametru naměřené během testové podmínky T1 s hodnotami získanými v průběhu podmínek T2 až T5, můžeme vidět až jejich ztrojnásobení. Vzhledem k tomu, že velikost opěrné báze ovlivňuje posturální stabilitu, není dosažení lepších průměrných rychlostí COP při stoji o normální šířce opěrné báze (tj. chodidla umístěna na šířku pánve, podmínka T1) ve srovnání se stojem spatným (T2 – T5), nijak překvapující.

5.2.3 Kognitivní úkol

Na řízení procesů spojených s udržením rovnováhy je zapotřebí spoluúčast určité úrovně pozornosti, která se může měnit vzhledem k náročnosti daného posturálního úkolu a dalších proměnných (Shumway-Cook a Woollacott, 2012, s. 191-192). Na základě prostudované literatury byl využit kognitivní úkol v podobě základních matematických úkonů jako prvek zvyšující nároky na posturální kontrolu u testových podmínkách T4, T5 a T6.

Testová podmínka T7 neobsahovala kognitivní úkol. Naopak součástí T7 oproti T6 byla absence zraku. Statistické porovnání podmínek T6 a T7 s ohledem na cíl práce bylo provedeno pouze u parametru *average forces*, který určuje procentuální zatížení DKK (viz tabulka č. 8 a 10). Analýza nepotvrdila významný rozdíl.

Komparace mediánů hodnot zbylých třech sledovaných parametrů (viz tabulka č. 1, 3 a 5) mezi podmínkami T6 a T7 poukazuje na zhoršení posturální stability jedinců během testové podmínky T7 oproti T6. Na základě výraznějšího deficitu rovnováhy při absenci zraku (T7) lze předpokládat, že vizuální zpětná vazba hraje větší roli v procesu posturální kontroly než kognitivní funkce (konkrétně pozornost jedince). Pro ověření popsání vztahu je zapotřebí studií zkoumajících detailně souvislosti mezi kognitivními procesy a vizuálním systémem.

5.3 Stoj o normální šířce opěrné báze

Ve stoji je stabilizace těla udržována synergickou koaktivací svalových skupin, které působí na různé segmenty těla, jako by šlo o nezávislé jednotky řízené složitou, vzájemně propojenou neurální sítí (Garcia et al., 2004, s. 145). Všechny složky participující na zajištění posturální stability vykazují stranové asymetrie na základě dominance jedné z hemisfér.

Prvních sedm podmínek upravovalo klidný bipedální stoj. Nutno podotknout, že první z této sady testových podmínek bylo pouhým vyšetřením přirozeného stoje probandů (T1).

Proto nemá smysl porovnávat například parametr *95 % confidence ellipse area* mezi T1 a T5, neboť i přes statistickou signifikanci nijak nesouvisí s cílem práce. Výše zmíněný výsledek nám pouze říká, že je difference v posturální stabilitě jedince mezi klidným stojem (T1) a jeho obtížnější modifikací (T5).

Význam pro ověření vlivu laterality hemisfér na posturální stabilitu během stoje o normální šířce opěrné báze mělo statistické porovnání procentuálního zatížení (kterému odpovídá parametr *average forces*) LDK a PDK během podmínky T1 s hodnotami stejného parametru získaných během podmínek T6 a T7. Matematická analýza těchto hodnot nepotvrdila statisticky významný rozdíl (viz tabulka č. 8 a tabulka č. 10) parametru *average forces* mezi DKK, z čehož vyplývá, že dominance levé poloviny mozku se nijak neprojevuje během stoje o normální šířce opěrné báze a jeho modifikací (tj. kognitivní úkol, deficit vizuální informace, měkká podložka a opakované rotace hlavy).

Vzájemnou symetrii mezi LDK a PDK během bipedálního stoje popisují ve své studii i Stodólka et al. (2016, s. 256). V rámci výzkumu sledovali 102 mladých (průměrný věk = 21,1 let) zdravých jedinců z řad studentů vysoké školy. V průběhu měření probandi zaujali vzpřímený stoj na tlakové plošině ve dvou variantách (tj. s otevřenými a zavřenými očima). Autoři došli k závěru, že by mělo být klinické vyšetření rovnováhy omezeno na časový interval mezi 20–30 sekundami, z důvodu eliminace únavy. Stodólka a Sobera (2017, s. 100) provedli další výzkum na studentech (N = 95, průměrný věk = 21,08 let), jehož výsledky neprokázaly významnou diferencii mezi zatížením levé a pravé plosky během stoje na obou DKK. Výsledky získané v rámci praktické části diplomové práce se shodují se zmíněnými studiemi na absenci významného rozdílu v zatížení DKK během bipedálního stoje o normální šířce opěrné báze.

V kontrastu s předchozími studiemi mohou být výsledky práce Kinsella-Shaw et al. (2013, s. 394), kteří došli k závěru, že dominantní DK (v případě jejich výzkumu se jednalo o PDK) je během bipedálního stoje stabilnější a koordinačně na vyšší úrovni než nedominantní DK. Rozdílnost výsledků jejich studie v porovnání s těmi prezentovanými v rámci diplomové práce může být zapříčiněna sledováním jiných parametrů. S ohledem na hodnoty v tabulce č. 7 a č. 9 lze potvrdit stanovisko prezentované ve studii Kinsella-Shaw et al. (2013, s. 394), že je možné vidět stranový rozdíl při stoji na obou končetinách. Avšak výsledky diplomové práce dokládají pouze velmi malý rozdíl mezi zatížením LDK a PDK při bipedálním stoji o normální šířce opěrné báze.

5.4 Specifické modifikace stoje

Následující dílčí elementy testových podmínek byly vybrány tak, aby jejich použití ověřilo možný dopad funkční dominance levé hemisféry na posturální stabilitu zdravých jedinců.

5.4.1 Lateroflexe hlavy

Hlava představuje důležitý článek v motorice člověka. Svaly v oblasti kranio-cervikálního přechodu (konkrétně pak krátké extenzory šíje) jsou důležitým zdrojem propriocepce (Véle, 2006, s. 203). Pozice hlavy v neutrálním postavení je udržována prostřednictvím reflexů, které upravují nejen napětí svalů krku a šíje, ale i trupového svalstva. Za fyziologických podmínek by hlava měla prodlužovat centrální linii těla. Taková poloha hlavy podmiňuje nízkou spotřebu energie, která je nezbytná pro udržení správné muskuloskeletální rovnováhy (Szczygiel et al., 2016, s. 52). Na základě popsaného vztahu byla zařazena lateroflexe hlavy do výzkumu.

V rámci testových podmínek T2 a T3 bylo mimo absence zraku a stoje spatného využito i úklonu hlavy probandů k pravé a levé straně, jako specifického prvku testující stranovou rozdílnost v řízení rovnováhy. Každý jedinec byl instruován, aby lateroflexi provedl z výchozího středního postavení bez současné elevace ramen a rotace hlavy. Analýza výsledků podmínek T2 a T3 nepotvrdila statisticky signifikantní rozdíl mezi úklony na pravou a levou stranu (viz tabulka č. 2, 4, 6, 8 a 10).

Ve studii Szczygiel et al. (2016, s. 53) prokázali, že právě změněná pozice hlavy ve frontální rovině má největší vliv na posturální stabilitu jedince. Podobnou skutečnost naznačuje i porovnání mediánů testových podmínek T1 až T7, kdy největší nárůst parametru 95 % *confidence ellipse area* (viz tabulka č. 1) je patrné právě u podmínek využívající úklony hlavy ke straně. Naopak komparace dalších parametrů (*COP average velocity* – tabulka č. 5 a *COP path length* tabulka č. 3) neprokázala, že by nejvyšší zhoršení posturální stability bylo u podmínek využívajících lateroflexi hlavy. Předmětem diplomové práce však bylo prokázání vlivu laterality hemisfér na rovnováhu jedince, nikoliv sledovat, zda změna pozice hlavy ve frontální rovině vede k větším titubacím než změna v rovině sagitální. Právě Szczygiel et al. (2016, s. 53) v rámci výzkumného šetření sledovali pouze, zda dojde ke zhoršení posturografických parametrů určujících rovnováhu jedince při úklonu hlavy, nikoliv přítomnost stranového rozdílu mezi lateroflexí na levou nebo pravou stranu. Je zapotřebí studií využívajících úklonu hlavy k ozřejmění vlivu dominance jedné poloviny mozku na posturální stabilitu.

5.4.2 Rotace hlavy

Součástí podmínek T4 a T5 byla mimo jiné i rotace hlavy na levou (T4) a pravou (T5) stranu. Oproti testovým podmínkám T2 a T3 byl u T4 a T5 využit i kognitivní úkol jako prvek zvyšující nároky na řízení stability jedince. Statistická analýza podmínek T4 a T5 potvrdila významný rozdíl v parametru „*average forces*“, který odpovídá procentuálnímu rozložení celkového zatížení mezi pravé a levé chodidlo (viz tabulka č. 8 a 10). Z porovnání mediánů „*average forces LDK a PDK*“ (viz tabulka č. 7 a 9) pro testové podmínky T4 a T5 vyplývá, že při rotaci hlavy na pravou stranu (T5) byla více zatížena LDK oproti kontralaterální noze. Naopak během testové podmínky T4, kdy probandi rotovali hlavu na levou stranu, bylo větší procentuální zatížení pravého chodidla (statisticky významná difference) v neprospěch druhostranné DK (tj. levé). Oproti tomu identické porovnání procentuálního rozložení hmotnosti mezi obě DKK pro podmínku T5 (viz tabulka č. 7 a 9) neprokázalo mezi oběma DKK žádnou stranovou diferenci (LDK i PDK byly zatíženy stejně).

Z dat a jejich statistického zpracování vyplývá, že funkční dominance levé hemisféry (stanovená na základě preference HK) má u zdravých jedinců vliv na parametr „*average forces*“ během podmínek modifikujících bipedální stoj. Výsledky práce prokázaly významný vliv rotace hlavy na stranové rozložení zatížení DKK ve stoji na obou chodidlech při současném využití kognitivního úkolu a zmenšení opěrné báze.

Když byla hlava rotována na pravou stranu (T5), bylo zatížení obou DKK u pravorukých jedinců rovnoměrné. Oproti tomu při rotaci hlavy na opačnou, tj. levou stranu (T4), došlo ke vzniku rozdílu parametru „*average forces*“ mezi oběma DKK ve prospěch PDK. Zmíněný vztah by odpovídal výsledkům prezentovaným ve studii Kinsella-Shaw et al. (2013, s. 394), kteří došli k závěru, že během bipedálního stoje je u pravorukých jedinců PDK (dle nich dominantní) více stabilní oproti kontralaterální (levé) DK.

V práci však Kinsella-Shaw et al. (2013, s. 394) nezohlednili vliv pozice hlavy na posturální stabilitu. Zato Kogler et al. (2000, s. 152) využili řadu různých postavení krční páteře a hlavy (konkrétně šlo o neutrální postavení, rotace na obě strany, záklon a předklon) a sledovali jejich dopad na rovnováhu probandů prostřednictvím dynamické počítačové posturografie během bipedálního stoje. Výsledky této studie prokázaly zhoršení stability jedinců pouze při záklonu. Hodnoty naměřené během ostatních čtyř pozic hlavy se od sebe navzájem statisticky významně nelišily. Ke stejnému výsledku došli ve své dřívější práci i Jackson a Epstein (1991, s. 66). Výraznou limitací obou zmíněných studií je fakt, že v rámci stabilometrického vyšetření byla brána v potaz pouze jedna proměnná, a to „*postural sway*“ (tj. oscilace těžiště). Analýza stejného parametru (v softwarovém rozhraní Zebris označovaném jako „*COP average velocity*“)

u testových podmínek T2 až T5 (viz tabulka č. 5) také neprokázala statisticky významnou diferenci v závislosti na pozici hlavy. Avšak zohlednění výsledných hodnot sledovaných parametrů prokázalo, že rotace hlavy na levou stranu při bipedálním stoji vedla u pravorukých zdravých jedinců ke zhoršení posturální stability. Nižší úroveň rovnováhy se promítla v proměnné odpovídající procentuálnímu rozložení hmotnosti, kdy došlo k většímu zatížení PDK oproti LDK.

5.4.3 Opakované rotace hlavy

V rámci testových podmínek T6 a T7 probandi opakovaně rotovali hlavu ze strany na stranu v horizontální rovině. V angličtině se tento pohyb označuje jako tzv. „head-shake“.

Předchozí práce prokázaly zvýšenou citlivost při identifikaci asymetrií periferního vestibulárního systému přidáním zmíněných rotačních pohybů hlavy do vyšetření rovnováhy jedince (Mishra et al., 2009, s. 58; Honaker, Converse a Shepard, 2009, s. 109). Previc (1991, s. 303) ve své práci popsal tzv. levostrannou otolitickou výhodu, jejíž výsledkem je nerovnoměrné rozložení stabilizačních funkcí. Na základě těchto poznatků byly zařazeny opakované rotace hlavy jako specifický prvek do testů T6 a T7, který měl ověřit přítomnost stranové difference mezi pravou a levou stranou těla.

Porovnání hodnot parametru *average forces* pro LDK a PDK mezi podmínkami T1, T6 a T7 neprokázalo žádný statisticky významný rozdíl v zatížení jedné DK na úkor té kontralaterální (viz tabulka č. 8 a 10). Na základě analýzy mediánů pro parametr *average forces* testových podmínek T1, T6 a T7 (viz tabulka č. 7 a 9) je možné říct, že se zvyšujícími se nároky (absence zraku, kognitivní úkol a opakované rotace hlavy) na proces posturální kontroly (testové podmínky T6 a T7) docházelo během bipedálního stoje k vyššímu zatížení LDK. Oproti tomu během klidného stoje (T1) a podmínek T2–T5 bylo procentuální rozložení hmotnosti rozděleno mezi DKK ve prospěch PDK.

Z porovnání výsledků lze usoudit, že při dynamice (opakované pohyby hlavy) je více zatížena LDK, a naopak během statiky pak pravorucí jedinci více spoléhají na oporu o PDK. Podobnou výhodu PDK při statických úkolech popisují ve své práci i Kinsella-Shaw et al. (2013, s. 394). Na základě popsaného vztahu mezi DKK a charakteristikou balančního úkolu je možné navrhnout případnou existenci specializace levé hemisféry na udržení rovnováhy jedince během provádění dynamických úkonů (chůze, běh, skok atd.). Analogickou skutečnost popisují ve své práci i Teixeira a Teixeira (2008, s. 805). Dále komparace získaných dat naznačuje, že pravá hemisféra hraje dominantní roli při řízení rovnováhy během statických situací. Ke shodnému závěru došli i ostatní autoři věnující se problematice laterality hemisfér ve vztahu k posturální kontrole (Fernandes et al., 2018, s. 385; Marcori et al., 2020, s. 9; Pérennou et al.,

2008, s. 2412). Data diplomové práce však tento trend nepotvrdila. Možným důvodem je stanovení dominance motorických center jedné z hemisfér na základě preference HK v rámci výzkumné části diplomové práce, zatímco výše zmíněné studie určily stejnou skutečnost na základě dominance DK.

5.4.4 Unilaterální stoj

Stoj na jedné DK byl využit v rámci testových podmínek T8 až T13. Pouze u podmínek T8 a T11 nebylo využito další modifikace. Probandi byli instruováni, aby si stoupili nejprve oběma DKK na tlakovou plošinu, flektovali do 90° v kyčelním a kolenním kloubu nestojnou DK a poté rozpažili obě HKK do horizontály. Stoj na PDK odpovídá testová podmínka T8 a T11 pak na LDK. Během obou podmínek měli jedinci obě oči otevřené a neprováděli žádný kognitivní úkol.

Statistická analýza všech sledovaných parametrů u podmínek T8 a T11 prokázala významný rozdíl u dvou proměnných: „*COP path length*“ a „*COP average velocity*“ (viz tabulka č. 14 a 16). Podobně jako u „*COP path length*“ i medián parametru „*COP average velocity*“ je větší u unilaterálního stoje na PDK (T8) než na LDK (T11). Ze statistického zpracování dat a jejich analýzy vyplývá, že u zdravých mladých jedinců se funkční dominance levé hemisféry projevuje významným stranovým rozdílem v posturální stabilitě při unilaterálním stoji v neprospěch PDK. Stoj pouze na PDK tedy můžeme na základě poznatků prezentovaných v této práci označit jako méně stabilní než stoj na LDK.

Z prostudované literatury vyplývá, že přibližně 90 % dospělých vykazuje pravostrannou dominanci DK během aktivit, jako je například kopání nebo žonglování s míčem. Při využití DK jako opory během stoje na jedné noze však není stranová preference tak výrazná. Během posturálních úkolů se dominance DK manifestuje na individuální úrovni a není přítomen všeobecný model v preferenci jedné DK (Kiyota a Fujiwara, 2014, s. 9; Peters, 1988, s. 179; Nachshon, Denno a Aurand, 1983, s. 1).

Výsledky diplomové práce naznačují, že unilaterální stoj na LDK je stabilnější než na PDK. Ke stejnému závěru o přítomnosti statisticky významného rozdílu mezi unilaterálním stojem na LDK a PDK došli i Noguchi, Demura a Nakagawa, (2013, s. 557). Výstupem jejich práce je, že stoj na PDK je stabilnějším. Opačný výsledek, ke kterému zmínění vědci došli, mohl být zapříčiněn diferencí mezi sledovanými vzorky studie a diplomové práce. Autoři v rámci výzkumného šetření studie naměřili 30 studentů mužského pohlaví, kteří byli členy atletických klubů (bez další specifikace). Pohlaví a zaměření sportovní činnosti mohla vést ke zkreslení získaných hodnot. Avšak nejvýznamnější faktor, který mohl ovlivnit výsledky, bylo využití nestabilní pohyblivé plošiny. Role DK ve funkční opoře těla totiž může být rozdělena

mezi LDK a PDK na základě změny rovnovážného stavu ze statického na dynamický. Z toho vyplývá, že stoj na dominantní DK (v tomto případě PDK) je méně labilní během podmínek odpovídajících dynamické posturální stabilitě. Podobnou skutečnost ve svém výzkumu popisují i Kiyota a Fujiwara (2014, s. 9).

Stranové rozdíly mezi DKK jsou předmětem zájmu autorů věnujících se vědecké činnosti spojené s určitou sportovní disciplínou. Například systematické review a meta-analýza DeLanga et al. (2021, s. 405) potvrdila, že zranění dominantní končetiny se vyskytuje častěji u hráčů fotbalu napříč věkem, pohlavím a úrovní hry (na které sportovci fotbal provozují). Jako dominantní DK je označena ta, kterou jedinec využívá k provádění dané aktivity (např. ke zvednutí předmětu ze země). Při kopnutí do míče má každá DK svoji roli. Dominantní končetina provádí koordinovanou intersegmentální flexi v kyčli, extenzi v koleni a plantární flexi hlezna za účelem odkopnout míč. Nedominantní kontralaterální tzv. stabilizační končetina generuje velké množství síly, aby poskytla dostatečnou úroveň stability pro provedení kopu. Z výše uvedeného by se dalo předpokládat, že nedominantní DK bude více stabilní, avšak DeLang et al. (2021, s. 415) nenašli při porovnání dat posturografického vyšetření statisticky významný rozdíl mezi stojem na LDK a PDK. Nepřítomnost difference mezi unilaterálním stojem na LDK a PDK popisují také Brown, Brughelli a Lenetsky (2018, s. 196), jejichž výzkumný vzorek byl složen z profesionálních hráčů ragby. I výsledky prezentované Bye a Lewis (2021, s. 192) neprokázaly dopad dominance jedné DK na rovnováhu člověka. Do jejich studie bylo zahrnuto 28 jezdkyň na koni. K podobným závěrům došli také Promsri, Haid a Federolf (2018, s. 173). V rámci výzkumu využili vyšetření unilaterálního stoje na stabilometrické plošině u zdravých nesportujících jedinců. Jejich výsledky rovněž nepotvrdily bilaterální asymetrii v posturální kontrole mezi dominantní a nedominantní DK.

Výsledky diplomové práce však naznačují přítomnost odlišnosti mezi stojem na PDK a LDK, což může být spojeno s větším počtem sledovaných parametrů a využití ztěžujících prvků v rámci praktické části práce, kdy statisticky významný rozdíl byl zaznamenán u dvou sledovaných proměnných („*COP average velocity*“ a „*COP path length*“).

5.4.5 Dominance oka

Nachshon, Denno a Aurand (1983, s. 1) sledovali vzájemný vztah mezi preferencí jednotlivých částí lidského těla a dominancí jedné poloviny mozku. Pro dosažení cíle jejich studie v rámci výzkumné části vyšetřili preferenci HK, DK a oka u 7 364 zdravých dětí. Výsledky potvrdily dominanci pravé HK a DK (při manipulačních úkolech) u více než 80 % probandů a pravého oka u zhruba 50 % subjektů. Přítomnost této skutečnosti naznačuje větší variabilitu preference oka než končetin. Komplexnost problematiky oční dominance potvrzuje

i studie He a Ooi (2020, s. 25). Ve své práci uvádí, že projevení preference oka je spjato s podstatou prováděného úkolu, kdy například jedno oko může vykazovat stranovou výhodu při úkolech zaměřených na zrakovou ostrost (příslušné oko je preferováno z důvodu kvalitnějšího obrazu) a druhé oko může být nadužíváno v rámci situací, kdy jsou větší nároky kladeny na motoriku oka. Další důležitou skutečností je fakt, že dominance oka se odehrává i na úrovni senzoričského zpracování projevující se například nižší reakční dobou dominantního oka v rámci stereoskopie očí.

Pro ověření případného promítnutí dominance oka do posturální stability jedince bylo využito unilaterálního stoje (na levé dolní končetině/ na pravé dolní končetině) za současného zavření jednoho oka (pravé oko/levé oko) v rámci testových podmínek T9, T10, T12 a T13. Analýza hodnot naměřených v průběhu zmíněných testů mezi nimi nepotvrdila žádný významný rozdíl (viz tabulka č. 12, 14 a 16). Porovnávány byly DKK navzájem při zavření stejnostranného (T9-T12, T10-T13) i opačného oka (T9-T13 a T10-T12). Dále byla data komparována tak, aby ověřila možný dopad jednostranného vizuálního deficitu způsobeného zavřením oka (levého nebo pravého) na unilaterální stoj na stejné DK (T9-T10 a T12-T13). Dle výsledků práce dominance oka nemá vliv na posturální stabilitu zdravých jedinců.

V odborné literatuře jsou záznamy prokazující vztah mezi oční preferencí a balančními schopnostmi člověka. Ve prospěch pravé strany hovoří výsledky prezentované ve studii Rossato et al. (2022, s. 8-9). Pomocí binokulárního mobilního refraktometru a analyzátoru zraku (zařízení, které je schopno zjistit přítomnost oční vady) zaznamenali stranový rozdíl mezi očima. Menší rozptyl sledovaných parametrů (úhly horizontálního a vertikálního posunu průměrné polohy rohovkového reflexu vzhledem ke středu detekované zornice atd.) u pravého oka si autoři vysvětlují jako jednu z potenciálních příčin, proč je stoj na PDK za zrakové kontroly více stabilní v porovnání se stojem na LDK. Jedním z možných důvodů, proč nebyl potvrzen vliv oční preference na rovnováhu jedince v diplomové práci je fakt, že byli probandi v průběhu měření vyšetřování pouze prostřednictvím tlakové plošiny. Pokud by byl využit v rámci výzkumu i binokulární refraktometr, který umožňuje mimo jiné i alteraci vizuální zpětné vazby (zmenšení zorného pole, snížená ostrost sledovaného obrázku apod.), mohlo by toto specifické zvýšení nároků na vizuální systém vést k manifestaci a současnému potvrzení vlivu funkční dominance oka na posturální stabilitu jedince.

5.4.6 Dřep

Testové podmínky T14 až T17 měly ověřit, zda je přítomen stranový rozdíl v zatížení DKK při provádění dřepu. Během podmínek bylo využito absence zraku (T15 a T17) a FOAM podložky (T16 a T17) jako modifikací cviku zvyšujících jeho obtížnost. U podmínek T16 a T17 byla umístěna na tlakovou plošinu měkká podložka. Zvětšení tloušťky povrchu vedlo v tomto případě ke snížení jeho tvrdosti, takže výsledné mechanické vlastnosti opory odpovídaly nestabilní ploše. Během stoje na měkké podložce jsou kladeny vyšší požadavky na správné fungování vestibulárního aparátu a celkově i na další procesy podílející se na udržení rovnováhy jedince (Boonsinsukh et al., 2020, s. 141; Liu et al., 2018, s. 355). Stoj na nestabilní ploše byl závěrečným prvkem využitým k dosažení vyšších nároků na posturální kontrolu probandů. Vzhledem k aplikaci ztěžujících prvků (u podmínek T15, T16 a T17) byly pro otestování třetí hypotézy zpracovány pouze hodnoty parametru „*average forces*“ pro LDK a PDK. Analýza prokázala významnou stranovou asymetrii mezi dřepem bez použití modifikací (T14) a dřepem na FOAM podložce s otevřenýma očima (T16). Diference sice dosáhla statistické hladiny významnosti ($p \leq 0,05$), avšak porovnání mediánů mezi testovými podmínkami T14 a T16 (viz tabulka č. 17 a 19) poukazuje na velmi malý rozdíl parametru „*average forces*“ mezi LDK a PDK ($\pm 0,2 \%$) ve prospěch PDK. Statistická významnost byla dosažena u rozložení hmotnosti během dřepu, ale praktická významnost tohoto výsledku by měla být z důvodu přítomnosti nevelké difference ověřena v následujících výzkumech zaměřených na vliv laterality hemisfér na zatížení DKK během dřepu.

Prakticky nevýznamnou diferenci v zatížení DKK při provádění dřepu popisují Bourelle et al. (2017, s. 137). V rámci studie zkoumali různě staré děti. Větší zatížení PDK během provádění dřepu bylo zaznamenáno pouze u jedinců ve věkovém intervalu 4-6 let. Naopak ostatní skupiny dětí (tj. 6-8 a 8-10 let) více zatěžovaly LDK během dřepu. Asymetrie rozložení hmotnosti by mohla být vysvětlena rozdílnou hmotností pravé a levé strany těla (Bourelle et al., 2017, s. 137; Chhibber a Singh, 1970, s. 554), která není přítomna při narození, ale vzniká až při dospívání jedince (Previc, 1991, s. 303). Významná asymetrie ve svalové hmotnosti je přítomna u antigravitačních svalů m. gastrocnemius a m. soleus (Previc, 1991, s. 308). Větší objem zmíněných dvou svalů je dle Chhibbera a Singha (1970, s. 554) způsoben vyšší závislostí na LDK při posturální kontrole u jedinců s dominantní PDK. Tan (2019, s. 297) prokázal větší tonus m. soleus na LDK u pravorukých dopěhlých jedinců.

Oproti prezentovaným závěrům v prostudované literatuře, výsledky diplomové práce naznačují, že při dřepu je u zdravých mladých jedinců více zatížena PDK.

5.5 Přínos pro praxi

Statistická analýza výsledků prokázala, že rotace hlavy na levou stranu při bipedálním stoji vedla ke vzniku rozdílného zatížení DKK ve prospěch PDK. V případech, kdy je cílem fyzioterapeutické intervence dosáhnout rovnoměrného rozložení hmotnosti mezi obě DKK, by tak mělo být zohledněno levostranné rotační postavení hlavy. Dále je možné využít této pozice hlavy v rámci terapie jako prvku zvyšujícího nároky na posturální kontrolu jedince.

Dle prostudované literatury závisí projevení dominance DK na úkolu, který má DK provádět (Virgile a Bishop, 2021, s. 853). To dokazují i výsledky diplomové práce, které naznačují, že u zdravých praváků lze na základě vyhodnocení naměřených dat posturografické analýzy stoje označit PDK jako více stabilní při bilaterálním stoji. Oproti tomu z porovnání dat získaných během testových podmínek využívajících unilaterálního stoje vychází stoj na LDK lépe než na PDK. Popsaná stranová difference by měla být zohledněna při patologických stavech postihujících PDK, jelikož jejich dopad na stabilitu jedince by měl být na základě dat výzkumu práce výraznější u pravorukých jedinců během stoje na obou DKK. Při vyšetření stojné fáze kroku by mohly být zohledněny závěry práce vztahující se k unilaterálnímu stoji a hovořící v prospěch LDK. Dále by tato skutečnost mohla mít klinický význam u jedinců věnujících se pohybové aktivitě, v rámci které jsou zvýšené nároky na stoj na jedné DK.

Lateralita hemisfér se projevila při dřepu jako větší zatížení PDK během provádění cviku. Ačkoliv byl rozdíl mezi oběma DKK malý, měl by být brán v potaz třeba u kineziologického vyšetření jedinců navštěvující fitness centra, kdy difference v zatížení DKK může vyústit ke vzniku stranové asymetrie těla způsobující například poruchu postury u těchto jedinců. Nelze však vyloučit, že rozdílnost v rozložení hmotnosti mezi DKK není přítomna i u jiných pohybů nebo sportovních aktivit, a proto by měl být tento fakt fyzioterapeutem zohledněn.

Funkční dominance jedné poloviny mozku má dle výsledků diplomové práce vliv na posturální stabilitu zdravých mladých jedinců. Proto by neměla být lateralita hemisfér opomenuta v klinické praxi u pacientů s poruchou balančních schopností. Zároveň by na základě dat prezentovaných v práci bylo možné určité prvky využít v rámci terapie a balančního tréninku.

5.6 Limity studie

Nejvýraznějším limitem studie je absence levorukých probandů ve výzkumu. Z celkového počtu všech studentů, kteří se přihlásili k participaci na diplomové práci (tj. 27), byli pouze dva leváci. Vzhledem k tomu, že se nepodařilo vyhledat více levorukých jedinců,

byli tito dva vyřazeni z praktické části diplomové práce a dále výzkumnou skupinu tvořili pouze probandi s dominantní PHK.

Průměrný věk probandů byl 24,24 (SD = 0,9). Pro ověření platnosti závěrů prezentovaných v práci napříč věkem a pohlavím by bylo zapotřebí více probandů, které by bylo možné rozdělit do jednotlivých skupin, jejichž výsledky by byly navzájem porovnávány. Možné zkreslení dat mohlo být zapříčiněno nepoměrem mezi zastoupením žen (N = 20) a mužů (N = 5). Dále pak výrazná specifická probandů z hlediska sociálního (studenti FZV UP) a antropologického (všichni probandi patřili k europoidní rase) může být důvodem omezené možnosti větší generalizace výsledků předkládané práce.

V rámci měření byli probandi vyšetřeni pouze na tlakové plošině. Rozšíření výzkumu o sledování svalové aktivity během dílčích testových podmínek prostřednictvím povrchové elektromyografie by mohlo vést k hlubšímu prozkoumání vlivu funkční dominance jedné z hemisfér na posturální stabilitu zdravých jedinců. Pozitivní vliv na výzkum bychom mohli očekávat u opakované posturografické analýzy jednotlivých úkolů. Avšak obě výše zmíněné skutečnosti by výrazně prodloužily dobu měření. Současně by se zvýšily nároky na zpracování dat, a to by si zřejmě vyžádalo rozšíření výzkumného týmu o další členy. Zároveň by opakování už tak náročných testových podmínek mohlo způsobit únavu probandů.

Závěr

Cílem práce bylo zjistit, zda lateralita hemisfér ovlivňuje proces posturální kontroly u zdravých jedinců během stoje při změně kvality a velikosti jejich opěrné báze. Do výzkumu byli zahrnuti pouze jedinci vykazující funkční dominanci levé polovinu mozku, která byla stanovena na základě preference pravé horní končetiny. V rámci posturografického vyšetření probandi vystřídalí sedmnáct odlišných testových podmínek. Dílčí modifikace stoje zvyšovaly nároky na udržení rovnováhy a zároveň jejich použití ověřilo možnou stranovou asymetrii v balančních schopnostech probandů.

Analýza dat stabilometrického vyšetření potvrdila statisticky významnou diferenci mezi pravou a levou stranou těla. Výsledky práce prokázaly významný rozdíl mezi zatížením dolních končetin v závislosti na pozici hlavy. Rotace hlavy na levou stranu při bipedálním stoji vedla u pravorukých jedinců ke vzniku odlišného procentuálního rozložení hmotnosti mezi obě chodidla ve prospěch pravé dolní končetiny. Během situace, kdy byla hlava rotována na pravou stranu, byly obě dolní končetiny zatíženy stejně.

Ze zpracování hodnot naměřených při unilaterálním stoji vychází levá dolní končetina jako více stabilní opora pro zajištění posturální stability než kontralaterální (tj. pravá) dolní končetina. V rámci vyšetření stoje na jedné dolní končetině byl také testován vliv dominance oka na posturální stabilitu. Dopad stranového rozdílu vizuálního systému na rovnováhu jedinců nebyl prokázán.

Lateralita hemisfér se projevila při dřepu jako větší zatížení pravé dolní končetiny během provádění cviku. Přestože stranová asymetrie dosáhla statistické hladiny významnosti, nebyla diference mezi oběma dolními končetinami významná.

Diplomová práce splnila stanovený cíl. Funkční dominance hemisfér má dle výsledků vliv na posturální stabilitu zdravých mladých jedinců. V praxi by proto měla být zohledněna stranová preference u pacientů s poruchou rovnováhy. Ze získaných dat vyplývá, že během posturální kontroly se lateralita hemisfér manifestuje v závislosti na charakteristice prováděného balančního úkolu. Výše zmíněné skutečnosti by měl terapeut vzít v úvahu v průběhu vyšetření a stanovování krátkodobých i dlouhodobých rehabilitačních plánů.

Následující výzkumy by měly porovnat levoruké a pravoruké jedince v různých věkových kategoriích pro dosažení vyšší úrovně všeobecného uplatnění dosažených výsledků. Dále by rozšíření o sledování dalších parametrů (např. svalové aktivity měřené prostřednictvím povrchové elektromyografie) mohlo vést k většímu pochopení vztahu nastíněnému v rámci diplomové práce mezi lateralitou hemisfér a posturální stabilitou.

Referenční seznam

BARROS CAMARGOS, M., A. DA SILVA PALMEIRA a E. FACHIN-MARTINS, 2017. Cross-cultural adaptation to Brazilian Portuguese of the Waterloo Footedness Questionnaire-Revised: WFQ-R-Brazil. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria* [online]. 75(10), 727-735 [cit. 2022-03-20]. ISSN 0004282X. Dostupné z: doi:10.1590/0004-282X20170139

BECHYŇÁK, V. a O. ČAKRT, 2017. Vliv specifického biatlonového tréninku na posturální stabilitu dětí ve věku 12-15 let. *Medicina Sportiva Bohemica et Slovaca* [online]. 26(2), 84-91 [cit. 2022-04-16]. ISSN 12105481.

BIZOVSKÁ, L., Z. SVOBODA, M. MÍKOVÁ, et al., 2017. Rovnováha a možnosti jejího hodnocení. ISBN 9788024452593.

BOONSINSUKH, R., B. KHUMNONCHAI, V. SAENGSIKISUWAN, et al., 2020. The effect of the type of foam pad used in the modified Clinical Test of Sensory Interaction and Balance (mCTSIB) on the accuracy in identifying older adults with fall history. *Hong Kong Physiotherapy Journal* [online]. 40(2), 133-143 [cit. 2022-03-28]. ISSN 10137025. Dostupné z: doi:10.1142/S1013702520500134

BOURELLE, S., N. DEY, D. SIFAKI-PISTOLLA, et al., 2017. Computerized static posturography and laterality in children. Influence of age. *Acta of Bioengineering* [online]. 19(2), 129-139 [cit. 2022-01-20]. ISSN 1509409X. Dostupné z: doi:10.5277/ABB-00672-2016-02

BROWN, S. R., M. BRUGHELLI a S. LENETSKY, 2018. Profiling Single-Leg Balance by Leg Preference and Position in Rugby Union Athletes. *Motor Control* [online]. 22(2), 183-198 [cit. 2022-04-13]. ISSN 10871640.

BYE, T. L. a V. LEWIS, 2021. Footedness and Postural Asymmetry in Amateur Dressage Riders, Riding in Medium Trot on a Dressage Simulator. *Journal of Equine Veterinary Science* [online]. 102 [cit. 2022-04-13]. ISSN 07370806. Dostupné z: doi:10.1016/j.jevs.2021.103618

CARLBERG, E. B. a M. HADDERS-ALGRA, 2008. Postural control: a key issue in developmental disorders. ISBN 9781898683575.

COVIELLO, K., 2020. Cognitive function. Salem Press Encyclopedia [online]. [cit. 2021-11-12].

CUSCHIERI, A., 2009. ANATOMY OF THE PERIPHERAL AND CENTRAL VESTIBULAR SYSTEM. Capsula Eburnea [online]. 4, 11-24 [cit. 2021-10-10]. ISSN 19705492. Dostupné z: doi:10.3269/1970-5492.2009.4.16

DASSONVILLE, P., X. ZHU, K. UGURBIL, et al., 1997. Functional Activation in Motor Cortex Reflects the Direction and the Degree of Handedness. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America [online]. 94(25), 14015-14018 [cit. 2021-11-25]. ISSN 00278424.

DELANG, M. D., P. A. SALAMH, A. FAROOQ, et al., 2021. The dominant leg is more likely to get injured in soccer players: systematic review and meta-analysis. Biology of Sport [online]. 38(3), 397-435 [cit. 2022-04-13]. ISSN 0860021X.

BOJRAB, I. D., 2018. Diagnosis and Treatment of Vestibular Disorders. 3-16. ISBN 3319978586. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-97858-1_1

The Zebris FDM System – Gait and Roll-Off Analysis in Practice. In: Zebris [online]. Isny im Allgäu, 2016 [cit. 2022-01-23]. Dostupné z: https://www.zebris.de/fileadmin/Editoren/zebrisPDF/zebris-Prospekte-EN/27_9_FDM_EN_150.pdf

DUFOUR, A., O. DESPRÉS, T. PEBAYLE a S. LITHFOUS, 2020. Thermal sensitivity in humans at the depth of thermal receptor endings beneath the skin: validation of a heat transfer model of the skin using high-temporal resolution stimuli. European Journal of Applied Physiology [online]. 120(7), 1509-1518 [cit. 2021-10-26]. ISSN 14396319. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-020-04372-y

DUNLEAVY, K. a A. K. SLOWIK, 2019. *Therapeutic Exercise Prescription*. Philadelphia: Elsevier. ISBN 978-0-323-28053-2.

FERNANDES, C. A., D. B. COELHO, A. R. MARTINELLI, et al., 2018. Right cerebral hemisphere specialization for quiet and perturbed body balance control: Evidence from unilateral stroke. *Human Movement Science* [online]. 57, 374-387 [cit. 2022-05-01]. ISSN 01679457. Dostupné z: doi:10.1016/j.humov.2017.09.015

FIEDOROVÁ, I. a E. MRÁZKOVÁ, 2020. Možnosti hodnocení stability v klinické praxi u pacientů s možným rizikem pádu. *General Practitioner / Praktický Lekar* [online]. 100(5), 225-232 [cit. 2022-01-20]. ISSN 00326739.

FU, F. H. a S. M. LEPHART, 2000. *Proprioception and neuromuscular control in joint stability*. ISBN 0880118644.

GARCIA, F. V., C. S. LUZIO, T. BENZINH, et al., 2004. Stabilization of the head position in pitch plane: Study of imbalance during a multisegment posturography examination. *International Tinnitus Journal* [online]. 10(2), 145-149 [cit. 2022-03-30]. ISSN 09465448.

LOKHORST G. J. C., 1996. The First Theory about Hemispheric Specialization: Fresh Light on an Old Codex. *Journal of the History of Medicine and Allied Sciences* [online]. 51(3), 293 [cit. 2021-11-19]. ISSN 00225045.

GIAGAZOGLU, P., I. G. AMIRIDIS, A. ZAFEIRIDIS, et al., 2009. Static balance control and lower limb strength in blind and sighted women. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 2009, 107(5), 571-579 [cit. 2022-03-23]. ISSN 14396319. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-009-1163-x

GRABOWSKA, A., K. RYMARCZYK, M. GUT, M. BINDER, et al., 2012. Switching handedness: fMRI study of hand motor control in right-handers, left-handers and converted left-handers. *Acta Neurobiologiae Experimentalis* [online]. 72(4), 439-451 [cit. 2021-11-27]. ISSN 00651400.

HAN, S., H. LEE, S. J. SON a J. T. HOPKINS, 2021. The effects of visual feedback disruption on postural control with chronic ankle instability. *Journal of Science and Medicine in Sport* [online]. [cit. 2021-10-19]. ISSN 14402440. Dostupné z: doi:10.1016/j.jsams.2021.07.014

HE, Z. J a T. L. OOI, 2020. Sensory Eye Dominance: Relationship Between Eye and Brain. *Eye and Brain* [online]. 12 [cit. 2021-12-10]. ISSN 11792744. Dostupné z: doi:10.2147/EB.S176931

HEPPER, P. G, 2013. The developmental origins of laterality: Fetal handedness. *Developmental Psychobiology* [online]. 55(6), 588-595 [cit. 2021-11-21]. ISSN 00121630. Dostupné z: doi:10.1002/dev.21119

HERTEL, J., R. A. BRAHAM, S. A. HALE, et al., 2006. Simplifying the Star Excursion Balance Test: Analyses of Subjects With and Without Chronic Ankle Instability. *Journal of Orthopaedic* [online]. 36(3), 131-132 [cit. 2021-10-19]. ISSN 01906011.

HONAKER, J. A., C. M. CONVERSE a N. T. SHEPARD, 2009. Modified head shake computerized dynamic posturography. *American Journal of Audiology* [online]. 18(2), 108-113 [cit. 2022-03-31]. ISSN 10590889. Dostupné z: doi:10.1044/1059-0889(2009/09-0012)

HUJOEL, P. P, 2019. Breastfeeding and handedness: a systematic review and meta-analysis of individual participant data. *Laterality* [online]. 24(5), 582-599 [cit. 2021-11-21]. ISSN 14640678. Dostupné z: doi:10.1080/1357650X.2018.1555254

HUURNINK, A., D. P. FRANSZ, I. KINGMA, et al., 2014. The effect of leg preference on postural stability in healthy athletes. *Journal of Biomechanics* [online]. 47(1), 308-312 [cit. 2022-03-22]. ISSN 00219290. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbiomech.2013.10.002

CHAUURASIA, B. D. a B. B. L. MATHUR, 1976. Eyedness. *Acta Anatomica* [online]. 96(2), 301-305 [cit. 2022-04-15]. ISSN 00015180. Dostupné z: doi:10.1159/000144681

IPEK, F., M. DOGAN, V. YILDIZ KABAK, et al., 2021. Cross-cultural adaptation, validity and reliability of Turkish version of the Waterloo Handedness and Footedness Questionnaire-Revised. *LATERALITY* [online]. 26(6), 624-644 [cit. 2022-03-20]. ISSN 1357650X. Dostupné z: doi:10.1080/1357650X.2021.1882479

JACKSON, R. T. a CH. M. EPSTEIN, 1991. Effect of Head Extension on Equilibrium in Normal Subjects. *Annals of Otology, Rhinology* [online]. 100(1), 63-64 [cit. 2022-04-06]. ISSN 00034894. Dostupné z: doi:10.1177/000348949110000110

JANURA, M., M. PROCHÁZKOVÁ, Z. SVOBODA, et al., 2019. Standing balance of professional ballet dancers and non-dancers under different conditions. *PLoS ONE* [online]. 14(10) [cit. 2022-04-16]. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0224145

JANURA, M. a E. JANUROVÁ, 2011. *Biomechanika I*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě. ISBN 978-80-7464-099-5.

JOHANSSON, R. S. a A. B. VALLBO, 1979. Tactile sensibility in the human hand: relative and absolute densities of four types of mechanoreceptive units in glabrous skin. *The Journal of Physiology* [online]. 286(1), 283-300 [cit. 2021-10-28]. ISSN 14697793. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.1979.sp012619

KAVOUNOUDIAS, A., R. ROLL a J.-P. ROLL, 1998. The plantar sole is a 'dynamometric map' for human balance control. *NeuroReport* [online]. 9(14), 3247-3252 [cit. 2021-10-28]. ISSN 09594965. Dostupné z: doi:10.1097/00001756-199810050-00021

KINSELLA-SHAW, J. M., S. J. HARRISON, C. CARELLO, et al., 2013. Laterality of quiet standing in old and young. *Experimental Brain Research* [online]. 231(4), 383-396 [cit. 2022-04-06]. ISSN 00144819. Dostupné z: doi:10.1007/s00221-013-3696-9

KIYOTA, T. a K. FUJIWARA, 2014. Dominant side in single-leg stance stability during floor oscillations at various frequencies. *Journal of Physiological Anthropology* [online]. 33(1) [cit. 2022-04-08]. ISSN 18806805. Dostupné z: doi:10.1186/1880-6805-33-25

KLÖPPEL, S., T. VAN EIMEREN, V. GLAUCHE, et al., 2007. The effect of handedness on cortical motor activation during simple bilateral movements. *Neuroimage* [online]. 34(1), 274-280 [cit. 2021-11-25]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroimage.2006.08.038

KOGLER, A., J. LINDFORS, L. M. ÖDKVIST, et al., 2000. Postural stability using different neck positions in normal subjects and patients with neck trauma. *Acta Oto-Laryngologica* [online]. 120(2), 151-155 [cit. 2022-04-06]. ISSN 00016489. Dostupné z: doi:10.1080/000164800750000801

KOZINC, Ž. a N. ŠARABON, 2021. The effects of leg preference and leg dominance on static and dynamic balance performance in highly-trained tennis players. *PloS one* [online]. 16(11), e0259854 [cit. 2022-03-22]. ISSN 19326203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0259854

KRÁLÍČEK, P. a L. HOUDEK, 2011. Úvod do speciální neurofyzologie. ISBN 9788072626182.

LEINONEN, V., M. KANKAANPÄÄ, O. AIRAKSINEN, et al., 2003. Lumbar paraspinal muscle function, perception of lumbar position, and postural control in disc herniation-related back pain. *Spine* [online]. 28(8), 842-848 [cit. 2021-11-09]. ISSN 03622436. Dostupné z: doi:10.1097/00007632-200304150-00019

LIU, B., Y. LENG, R. ZHOU, et al., 2018. Foam pad of appropriate thickness can improve diagnostic value of foam posturography in detecting postural instability. *Acta Oto-Laryngologica* [online]. 138(4), 351-356 [cit. 2022-03-28]. ISSN 16512251. Dostupné z: doi:10.1080/00016489.2017.1393842

MATSUDA, S., S. DEMURA a T. DEMURA, 2010. Examining differences between center of pressure sway in one-legged and two-legged stances for soccer players and typical adults. *Perceptual and Motor Skills* [online]. 110(3), 751-760 [cit. 2022-03-19]. ISSN 00315125. Dostupné z: doi:10.2466/pms.110.3.751-760

MARCORI, A. J., L. A. TEIXEIRA, J. B. DASCAL, et al., 2020. Are the predictions of the dynamic dominance model of laterality applicable to the lower limbs?. *Human Movement Science* [online]. 73 [cit. 2022-05-01]. ISSN 01679457. Dostupné z: doi:10.1016/j.humov.2020.102684

MARTÍNEZ-JIMÉNEZ, E. M., R. BECERRO-DE-BENGOA-VALLEJO, M. E. LOSA-IGLESIAS, et al., 2020. Acute effects of myofascial induction technique in plantar fascia complex in patients with myofascial pain syndrome on postural sway and plantar pressures: A quasi-experimental study. *Physical Therapy in Sport* [online]. 43, 70-76 [cit. 2021-10-28]. ISSN 1466853X. Dostupné z: doi:10.1016/j.ptsp.2020.02.008

MAZAHERI, M., P. COENEN, M. PARNIANPOUR, et al., 2013. Low back pain and postural sway during quiet standing with and without sensory manipulation: A systematic review. *Gait* [online]. 37(1), 12-22 [cit. 2021-10-20]. ISSN 09666362. Dostupné z: doi:10.1016/j.gaitpost.2012.06.013

MCCALL, A. A., D. M. MILLER a B. J. YATES, 2017. Descending influences on vestibulospinal and vestibulosympathetic reflexes. *Frontiers in Neurology* [online]. 8, 112-126 [cit. 2021-10-16]. ISSN 16642295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2017.00112

MISHRA, A., S. DAVIS, R. SPEERS, et al., 2009. Head shake computerized dynamic posturography in peripheral vestibular lesions. *American Journal of Audiology* [online]. 18(1), 53-59 [cit. 2022-03-31]. ISSN 10590889. Dostupné z: doi:10.1044/1059-0889(2009/06-0024)

MOHAMMADI, M., L. GHAMKHAR, A. ALIZADEH, et al., 2021. Comparison of the reliance of the postural control system on the visual, vestibular and proprioceptive inputs in chronic low back pain patients and asymptomatic participants. *Gait* [online]. 85, 266-272 [cit. 2021-10-19]. ISSN 09666362. Dostupné z: doi:10.1016/j.gaitpost.2021.02.010

NACHSHON, I., D. DENNO a S. AURAND, 1983. Lateral preferences of hand, eye and foot: Relation to cerebral dominance. *International Journal of Neuroscience* [online]. 18(1-2), 1-9 [cit. 2022-04-08]. ISSN 00207454. Dostupné z: doi:10.3109/00207458308985872

NAŇKA, O. a M. ELIŠKOVÁ, 2019. Přehled anatomie. ISBN 9788074924507.

NIU, W., J. YAO, Z. CHU, et al., 2015. Effects of Ankle Eversion, Limb Laterality, and Ankle Stabilizers on Transient Postural Stability During Unipedal Standing. *Journal of Medical and Biological Engineering* [online]. 35(1), 69-75 [cit. 2022-03-19]. ISSN 16090985. Dostupné z: doi:10.1007/s40846-015-0007-x

NOGUCHI, T., S. DEMURA a T. NAKAGAWA, 2013. Postural Stability during One-Leg Stance on an Unstable Moving Platform and its Relationship with Each Leg. *Perceptual* [online]. 116(2), 555-563 [cit. 2022-03-19]. ISSN 00315125. Dostupné z: doi:10.2466/26.25.PMS.116.2.555-563

OCKLENBURG, S. a O. GÜNTÜRKÜN, 2017. The Lateralized Brain: The Neuroscience and Evolution of Hemispheric Asymmetries. ISBN 9780128034538. Dostupné z: doi:10.1016/C2014-0-03755-0

PAPADATOU-PASTOU, M., E. NTOLKA, J. SCHMITZ, et al., 2020. Human handedness: A meta-analysis. *Psychological Bulletin* [online]. 146(6), 481–524 [cit. 2021-11-21]. ISSN 19391455. Dostupné z: doi:10.1037/bul0000229

PÉRENNOU, D. A., G. MAZIBRADA, V. CHAUVINEAU, et al., 2008. Lateropulsion, pushing and verticality perception in hemisphere stroke: a causal relationship?. *Brain* [online]. 131(9), 2401-2402 [cit. 2022-05-01]. ISSN 00068950.

PETERKA, R. J., 2002. Sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology* [online]. 88(3), 1097-1118 [cit. 2021-10-19]. ISSN 00223077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.2002.88.3.1097

PETERS, M., 1988. Footedness: Asymmetries in Foot Preference and Skill and Neuropsychological Assessment of Foot Movement. *Psychological Bulletin* [online]. 103(2), 179-192 [cit. 2022-04-08]. ISSN 00332909. Dostupné z: doi:10.1037/0033-2909.103.2.179

POOL, E., A. K. REHME, G. R. FINK, et al., 2014. Handedness and effective connectivity of the motor system. *NeuroImage* [online]. 99, 451-460 [cit. 2021-11-25]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroimage.2014.05.048

PRESZNER-DOMJAN, A., E. NAGY, E. SZÍVER, et al., 2012. When does mechanical plantar stimulation promote sensory re-weighing: standing on a firm or compliant surface?. *European journal of applied physiology* [online]. 112(8), 2979-2987 [cit. 2021-10-28]. ISSN 14396327. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-011-2277-5

PREVIC, F. H., 1991. A General Theory Concerning the Prenatal Origins of Cerebral Lateralization in Humans. *Psychological Review* [online]. 98(3), 299-300 [cit. 2022-01-20]. ISSN 0033295X. Dostupné z: doi:10.1037/0033-295X.98.3.299

PROMSRI, A., T. HAID a P. FEDEROLF, 2018. How does lower limb dominance influence postural control movements during single leg stance?. *Human movement science* [online]. 58, 165-174 [cit. 2022-04-13]. ISSN 18727646. Dostupné z: doi:10.1016/j.humov.2018.02.003

RADEBOLD, A., J. CHOLEWICKI, G. K. POLZHOFFER, et al., 2001. Impaired postural control of the lumbar spine is associated with delayed muscle response times in patients with chronic idiopathic low back pain. *Spine* [online]. 26(7), 724-730 [cit. 2021-11-09]. ISSN 03622436. Dostupné z: doi:10.1097/00007632-200104010-00004

REMYINGTON, L. A., 2012. *Clinical anatomy and physiology of the visual*. ISBN 9781437719260.

RIEMANN, B. L., M. LININGER, M. K. KIRKLAND, et al., 2018. Age related changes in balance performance during self-selected and narrow stance testing. *Archives of Gerontology and Geriatrics* [online]. 75, 65-69 [cit. 2022-03-27]. ISSN 01674943. Dostupné z: doi:10.1016/j.archger.2017.11.012

ROSSATO, M., A. NART, G. MESSINA, et al., 2022. The Refraction Assessment and the Electronic Trial Frame Measurement during Standing or Sitting Position Can Affect Postural Stability. *International journal of environmental research and public health* [online]. 2022, 19(3), 1558 [cit. 2022-04-15]. ISSN 16604601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph19031558

RUESCAS-NICOLAU, M. A., M.L. SÁNCHEZ-SÁNCHEZ, E. MARQUES-SULE, et al., 2019. The immediate effect of plantar stimulation on dynamic and static balance: A randomized controlled trial. *Journal of Back* [online]. 32(3), 453-461 [cit. 2021-10-28]. ISSN 10538127.

RUTH, M., 2020. Handedness. *Salem Press Encyclopedia* [online]. [cit. 2021-11-21].

SHUMWAY-COOK, A. a M. H. WOOLLACOTT, 2012. *Motor control: translating research into clinical practice*. ISBN 9781451117103.

SOLIMAN, E. S., T. M. SHOUSHA a M. S. ALAYAT, 2017. The effect of pain severity on postural stability and dynamic limits of stability in chronic low back pain. *Journal of Back* [online]. 30(5), 1023-1029 [cit. 2021-11-09]. ISSN 10538127.

SREMAKAEW, M., J. TRELEAVEN, G. JULL, et al., 2021. Altered neuromuscular activity and postural stability during standing balance tasks in persons with non-specific neck pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology* [online]. 61 [cit. 2021-11-10]. ISSN 10506411. Dostupné z: doi:10.1016/j.jelekin.2021.102608

STODÓŁKA, J. a M. SOBERA, 2017. Symmetry of lower limb loading in healthy adults during normal and abnormal stance. *Acta of Bioengineering* [online]. 19(3), 93-100 [cit. 2022-03-26]. ISSN 1509409X. Dostupné z: doi:10.5277/ABB-00712-2016-02

STODÓŁKA, J., W. STODÓŁKA, J. GAMBAL, et al., 2016. Characteristics of autocorrelation structure of lower extremity functional laterality in disturbed and undisturbed bipedal upright stance. *Human Movement* [online]. 17(4), 250-257 [cit. 2022-03-26]. ISSN 17323991.

SUDA, E. Y., R. P. HIRATA, T. PALSSON, et al., 2019. Experimental knee-related pain enhances attentional interference on postural control. *European Journal of Applied Physiology* [online]. 119(9), 2053-2064 [cit. 2021-11-10]. ISSN 14396319. Dostupné z: doi:10.1007/s00421-019-04192-9

SULLIVAN, E. V., J. ROSE, T. ROHLFING, et al., 2009. Postural sway reduction in aging men and women: Relation to brain structure, cognitive status, and stabilizing factors. *Neurobiology of Aging* [online]. 30(5), 793-807 [cit. 2021-11-12]. ISSN 01974580. Dostupné z: doi:10.1016/j.neurobiolaging.2007.08.021

SZCZYGIEL, E., K. PIOTROWSKI, J. GOLEC, et al., 2016. Head position influence on stabilographic variables. *Acta of Bioengineering* [online]. 18(4), 49-54 [cit. 2022-03-29]. ISSN 1509409X. Dostupné z: doi:10.5277/ABB-00433-2015-02

TAN, Ü., 2009. Relationships between hand skill and the excitability of motoneurons innervating the postural soleus muscle in human subjects. *International Journal of Neuroscience* [online]. 26, 289-300 [cit. 2022-04-15]. ISSN 15435245.

TAŞ, S. a N. BEK, 2018. Effects of morphological and mechanical properties of plantar fascia and heel pad on balance performance in asymptomatic females. *The Foot* [online]. 36, 30-34 [cit. 2020-02-22]. ISSN 09582592. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foot.2018.02.003>

TEIXEIRA, M. C. a L. A. TEIXEIRA, 2008. Leg preference and interlateral performance asymmetry in soccer player children. *Developmental psychobiology* [online]. 50(8), 799-806 [cit. 2022-05-01]. ISSN 10982302. Dostupné z: doi:10.1002/dev.20322

TONG, M. H., S. J. MOUSAVI, H. KIERS, et al., 2017. Is There a Relationship Between Lumbar Proprioception and Low Back Pain?. A Systematic Review With Meta-Analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 98(1), 120-136 [cit. 2021-10-20]. ISSN 00039993. Dostupné z: doi:10.1016/j.apmr.2016.05.016

VAN DAELE, U., S. TRUIJEN, F. HAGMAN, et al., 2009. Differences in balance strategies between nonspecific chronic low back pain patients and healthy control subjects during unstable sitting. *Spine* [online]. 34(11), 1233–1238 [cit. 2021-10-20]. ISSN 03622436. Dostupné z: doi:10.1097/BRS.0b013e31819ca3ee

VAN DEN BERG, F. E., S. P. SWINNEN a N. WENDEROTH, 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* [online]. 23(11), 3456-3469 [cit. 2021-11-25]. ISSN 0898929X. Dostupné z: doi:10.1162/jocn_a_00018

VÉLE, F., 2006. Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy. ISBN 8072548379.

VELOTTA, J., J. WEYER, Amanda RAMIREZ et al., 2011. Relationship between leg dominance tests and type of task. *Portuguese Journal of Sport Sciences* [online]. [cit. 2021-12-10].

VIRGILE, A. a CH. BISHOP, 2021. A Narrative Review of Limb Dominance: Task Specificity and the Importance of Fitness Testing. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. [cit. 2021-12-10]. ISSN 10648011. Dostupné z: doi:10.1519/JSC.0000000000003851

WISEUX, F., A. LEMAIRE, F. BARBIER, et al., 2019. How can the stimulation of plantar cutaneous receptors improve postural control?. Review and clinical commentary. *Clinical neurophysiology* [online]. 49(3), 263-268 [cit. 2021-10-28]. ISSN 17697131. Dostupné z: doi:10.1016/j.neucli.2018.12.006

WISEUX, F., F. BARBIER, P. VILLENEUVE, et al., 2018. Low additional thickness under the toes could change upright balance of healthy subjects. *Neurophysiologie Clinique* [online]. 48(6), 397-400 [cit. 2021-11-02]. ISSN 17697131. Dostupné z: doi:10.1016/j.neucli.2018.08.001

WIKSTROM, E. A., M. D. TILLMAN, J. H. CAURAUGH, et al., 2007. Dynamic postural stability deficits in subjects with self-reported ankle instability. *Medicine and Science in Sports and Exercise* [online]. 39(3), 397-402 [cit. 2021-10-19]. ISSN 01959131. Dostupné z: doi:10.1249/mss.0b013e31802d3460

WOLFE, Stephen L., 2021. Mechanoreception. *Salem Press Encyclopedia of Health* [online]. [cit. 2021-10-26].

ZAATAR, A. M. Z. a J. OPAVSKÝ, 2013. Hodnocení svalové aktivace povrchovou elektromyografií u pacientů s Parkinsonovou nemocí při postavení na jednu dolní končetinu. *Rehabilitation* [online]. 20(4), 189-195 [cit. 2022-04-16]. ISSN 12112658.

Seznam zkratek

ADL – activities of daily living/všední denní aktivity

CLBP – chronic low back pain/chronická bolest v dolní části zad

CNS – centrální nervový systém

COP – centre of pressure/centrum tlaku

DK – dolní končetina

DKK – dolní končetiny

DNA – deoxyribonucleic acid/deoxyribonukleová kyselina

EHI – Edinburgh Handedness Inventory

fMRI – funkční magnetická rezonance

FZV UP – Fakulta zdravotnických věd – Univerzity Palackého v Olomouci

HK – horní končetina

HKK – korní končetiny

LDK – levá dolní končetina

LHK – levá horní končetina

LVT – laterální vestibulospinální trakt

MVT – mediální vestibulospinální trakt

n – celkový počet hodnot

PDK – pravá dolní končetiny

PHK – pravá horní končetina

QL – laterality quotient/kvociet laterality

s. – strana

SD – standard deviation/směrodatná odchylka

VSR – vestibulospinální reflex

Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 – Vyjádření Etické komise FZV UP

Příloha 2 – Informovaný souhlas (vzor)

Příloha 3 – Edinburgh Handedness Inventory dotazník (vzor)

Příloha 4 – Příklad Stance Test Reportu

Příloha 5 – Waterloo Footednes Questionnaire – Revised

Příloha 1 – Vyjádření Etické komise FZV UP



Fakulta
zdravotnických věd

UPOL- 47637/1070-2021

Vážený pan
Bc. David Matoušek

2021-02-25

Vyjádření Etické komise FZV UP

Vážený pane bakaláři,

na základě Vaší Žádosti o stanovisko Etické komise FZV UP byla Vaše výzkumná část diplomové práce posouzena a po vyhodnocení všech zaslaných dokumentů Vám sdělujeme, že diplomové práci s názvem „**Posturografická analýza stoje při změně velikosti a kvality opěrné báze**“, jehož jste hlavní řešitelkou, bylo uděleno

souhlasné stanovisko Etické komise FZV UP .

S pozdravem,


Mgr. Lenka Mazalová, Ph.D.
předsedkyně
Etické komise FZV UP

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Fakulta zdravotnických věd
Etická komise
Hněvotinská 3, 775 15 Olomouc

Fakulta zdravotnických věd Univerzity Palackého v Olomouci
Hněvotinská 3 | 775 15 Olomouc | T: 585 632 880
www.fzv.upol.cz

Příloha 2 – Informovaný souhlas (vzor)

Informovaný souhlas

Pro výzkumný projekt: Posturografická analýza stoje při změně velikosti a kvality opěrné báze

Období realizace: 2021–2022

Řešitelé projektu: Bc. David Matoušek

Vážená paní, vážený pane,

obracíme se na Vás se žádostí o spolupráci na výzkumném šetření, jehož cílem je zjistit, jestli lateralita hemisfér (praváctví/leváctví) ovlivňuje balanční schopnosti zdravého jedince během stoje. Pro získání potřebných dat budete vyšetřen/a na tlakové plošině. Během vyšetření na plošině budete absolvovat různé modifikace stoje spočívající v kombinaci následujících podmínek: plnění kognitivních úkolů, změna pozice hlavy, aplikace zvukového stimulu, změna kvality podložky, změna velikosti opěrné báze, pohyby hlavou, dřep a změna vizuální kontroly (např. stoj na dominantní dolní končetině se zavřeným nedominantním okem). Délka vyšetření nepřesáhne 45 minut. Vaše účast na projektu pomůže získat nové informace o stabilitě stoje a k následné aplikaci těchto poznatků v praxi. V případě, že budete mít zájem, tak spolu zkonzultujeme hodnoty získané během Vašeho vyšetření a jejich využití ve Vašem každodenním životě. Pokud s účastí na výzkumu souhlasíte, připojte podpis, kterým vyslovujete souhlas s níže uvedeným prohlášením.

Prohlášení účastníka výzkumu

Prohlašuji, že souhlasím s účastí na výše uvedeném výzkumu. Řešitel/ka projektu mne informoval/a o podstatě výzkumu a seznámil/a mne s cíli a metodami a postupy, které budou při výzkumu používány, podobně jako s výhodami a riziky, které pro mne z účasti na výzkumu vyplývají. Souhlasím s tím, že všechny získané údaje budou anonymně zpracovány, použity jen pro účely výzkumu a že výsledky výzkumu mohou být anonymně publikovány.

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

Osobní údaje (sociodemografická data) účastníka výzkumu budou v rámci výzkumného projektu zpracovány v souladu s nařízením Evropského parlamentu a Rady EU 2016/679 ze

dne 27. dubna 2016 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů a o zrušení směrnice 95/46/ES (dále jen „nařízení“).

Prohlašuji, že беру на vědomí informace obsažené v tomto informovaném souhlasu a souhlasím se zpracováním osobních a citlivých údajů účastníka výzkumu v rozsahu a způsobem a za účelem specifikovaným v tomto informovaném souhlasu.

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

Jméno, příjmení a podpis účastníka výzkumu (zákonného zástupce): _____

V _____ dne: _____

Jméno, příjmení a podpis řešitele projektu: _____

Příloha 3 – Edinburgh Handedness Inventory dotazník (vzor)

Edinburgh Handedness Inventory

Surname _____ Given Name _____

Date of Birth _____ Sex _____

Please indicate your preferences in the use of hands in the following activities by *putting + in the appropriate column*. Where the preference is so strong that you would never try to use the other hand unless absolutely forced to, put ++. If any case you are really indifferent put + in both columns.

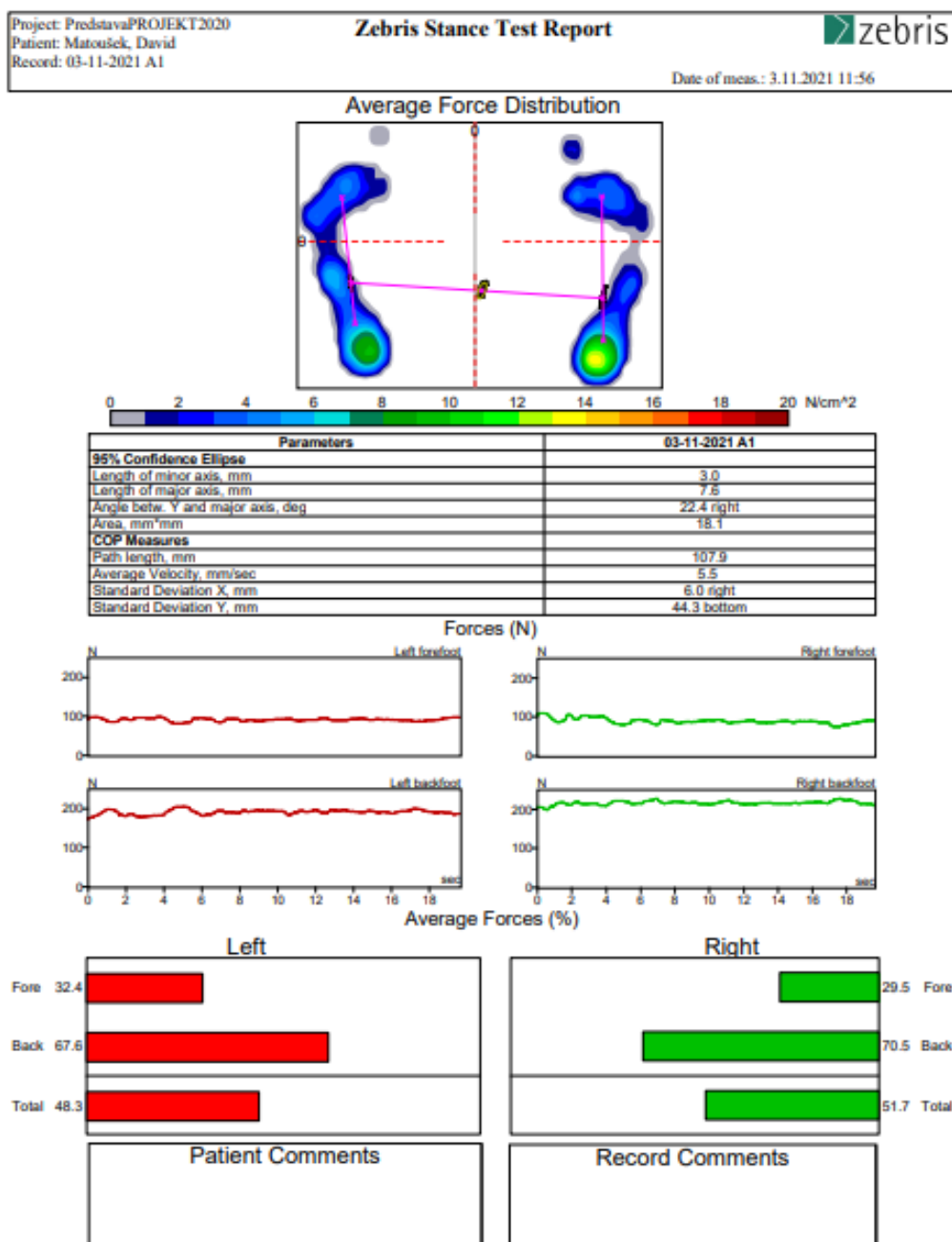
Some of the activities require both hands. In these cases the part of the task, or object, for which hand preference is wanted is indicated in brackets.

Please try to answer all the questions, and only leave a blank if you have no experience at all of the object or task.

	Left	Right
1. Writing		
2. Drawing		
3. Throwing		
4. Scissors		
5. Toothbrush		
6. Knife (without fork)		
7. Spoon		
8. Broom (upper hand)		
9. Striking Match (match)		
10. Opening box (lid)		
i. Which foot do you prefer to kick with?		
ii. Which eye do you use when using only one?		

L.Q.	Leave the spaces blank	DECLE
------	------------------------	-------

Příloha 4 – Příklad Stance Test Reportu

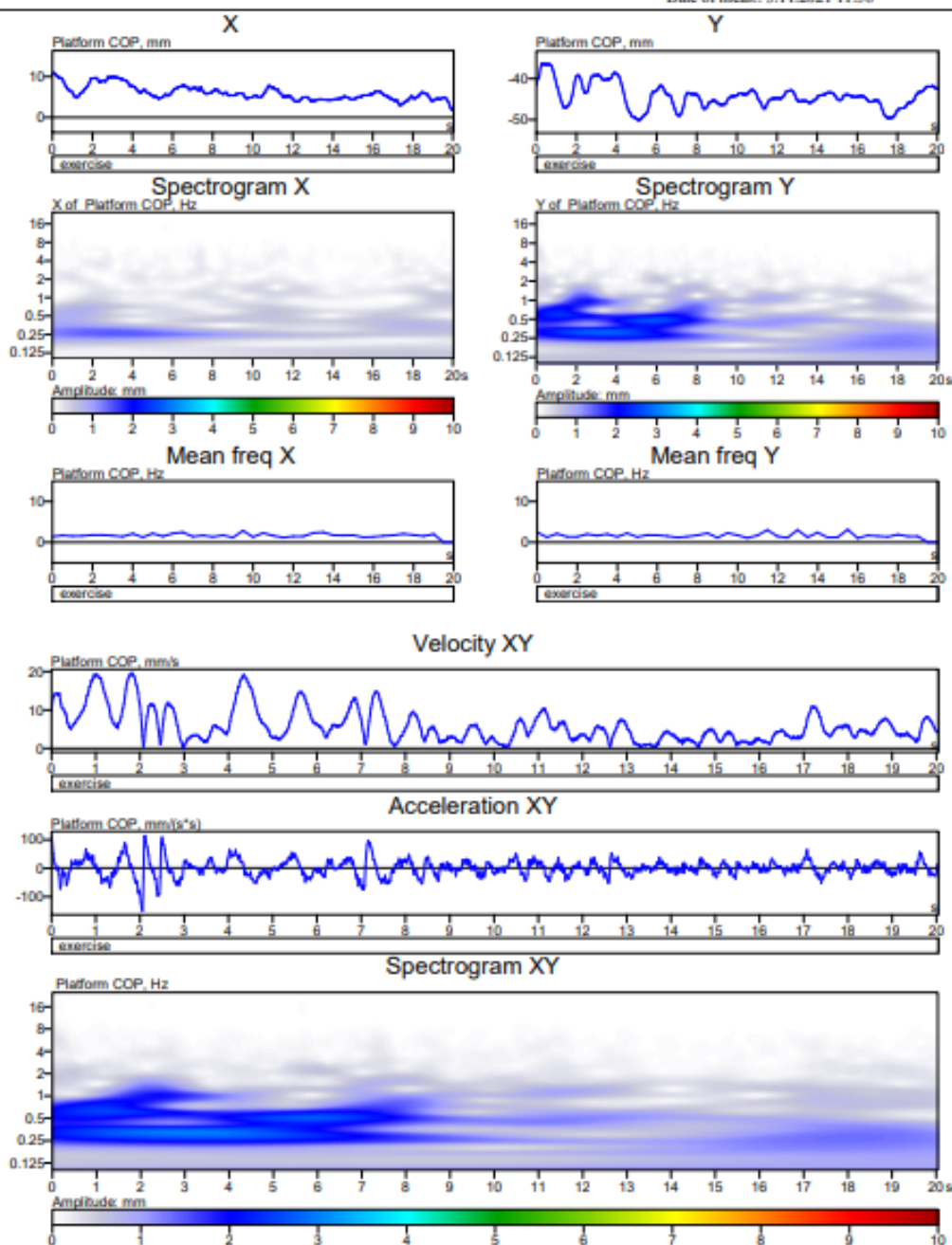


Project: PredstavaPROJEKT2020
 Patient: Matoušek, David
 Record: 03-11-2021 A1

Zebris Stance Test Report



Date of meas.: 3.11.2021 11:56



Příloha 5 – Waterloo Footedness Questionnaire – Revised

Appendix: Waterloo Footedness Questionnaire—Revised

Instructions: Answer each of the following questions as best you can. If you *always* use one foot to perform the described activity, circle **Ra** or **La** (for **right always** or **left always**). If you *usually* use one foot circle **Ru** or **Lu**, as appropriate. If you use **both** feet **equally often**, circle **Eq**.

Please do not simply circle one answer for all questions, but imagine yourself performing each activity in turn, and then mark the appropriate answer. If necessary, stop and pantomime the activity.

1.	Which foot would you use to kick a stationary ball at a target straight in front of you?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
2.	If you had to stand on one foot, which foot would it be?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
3.	Which foot would you use to smooth sand at the beach?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
4.	If you had to step up onto a chair, which foot would you place on the chair first?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
5.	Which foot would you use to stomp on a fast-moving bug?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
6.	If you were to balance on one foot on a railway track, which foot would you use?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
7.	If you wanted to pick up a marble with your toes, which foot would you use?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
8.	If you had to hop on one foot, which foot would you use?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
9.	Which foot would you use to help push a shovel into the ground?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
10.	During relaxed standing, people initially put most of their weight on one foot, leaving the other leg slightly bent. Which foot do you put most of your weight on first?	La	Lu	Eq	Ru	Ra
11.	Is there any reason (i.e. injury) why you have changed your foot preference for any of the above activities?	YES	NO	(circle one)		
12.	Have you ever been given special training or encouragement to use a particular foot for certain activities?	YES	NO	(circle one)		
13.	If you have answered YES for either question 11 or 12, please explain:					

Seznam obrázků

Obrázek 1 Tlaková plošina Zebris FDM-S Multifunction Force Measuring Plate® (The zebris FDM System – gait and roll-off analysis in practice, 2016)	28
--	----

Seznam tabulek

Tabulka 1. Popisná statistika pro parametr: 95 % confidence ellipse area	29
Tabulka 2. Statistické párové testy pro parametr: 95 % confidence ellipse area	29
Tabulka 3. Popisná statistika pro parametr: COP path length	29
Tabulka 4. Statistické párové testy pro parametr: COP path length	30
Tabulka 5. Popisná statistika pro parametr: COP average velocity	30
Tabulka 6. Statistické párové testy pro parametr: COP average velocity	30
Tabulka 7. Popisná statistika pro parametr: average forces LDK	30
Tabulka 8. Statistické párové testy pro parametr: average forces LDK	31
Tabulka 9. Popisná statistika pro parametr: average forces PDK	31
Tabulka 10. Statistické párové testy pro parametr: average forces PDK	31
Tabulka 11. Popisná statistika pro parametr: 95 % confidence ellipse area	32
Tabulka 12. Statistické párové testy pro parametr: 95 % confidence ellipse area	32
Tabulka 13. Popisná statistika pro parametr: COP path length	32
Tabulka 14. Statistické párové testy pro parametr: COP path length	33
Tabulka 15. Popisná statistika pro parametr: COP average velocity	33
Tabulka 16. Statistické párové testy pro parametr: COP average velocity	33
Tabulka 17. Popisná statistika pro parametr: average forces LDK	34
Tabulka 18. Statistické párové testy pro parametr: average forces LDK	34
Tabulka 19. Popisná statistika pro parametr: average forces PDK	34
Tabulka 20. Statistické párové testy pro parametr: average forces PDK	34
Tabulka 21. Dosažené počty bodů v Edinburgh Handedness Inventory	35
Tabulka 22 Dosažené počty bodů v Footednes Questionnaire – Revised	35