

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav fyzioterapie

Marie Stanislavová

Posturální kontrola vidomých a nevidomých jedinců

Bakalářská práce

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

ANOTACE

Typ závěrečné práce: bakalářská práce

Název práce: POSTURÁLNÍ KONTROLA VIDOMÝCH A NEVIDOMÝCH JEDINCŮ

Název práce v AJ: POSTURAL CONTROL IN SIGHTED AND BLIND INDIVIDUALS

Datum zadání: 31. 1. 2016

Datum odevzdání: 3. 5. 2016

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav fyzioterapie

Autor práce: Marie Stanislavová

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

Oponent práce: Mgr. Lucie Szmeková

Abstrakt v ČJ: Bakalářská práce pojednává o posturální kontrole vidomých a nevidomých jedinců. V teoretické části jsou uvedeny základní informace o posturální kontrole, posturální stabilitě, neuroplasticitě a kortikální reorganizaci a jejich projevu u nevidomých osob. Diskuze se zabývá porovnáním studií zaměřených na hodnocení statické a dynamické balance nevidomých a vidomých, vlivem časového nástupu slepoty na projev neuroplasticity, posturálními změnami u nevidomých a možným zlepšením posturální stability těchto osob pomocí sportovní aktivity. Cílem této práce je shromáždit poznatky a přiblížit problematiku posturální kontroly nevidomých osob.

Abstrakt v AJ: The aim of this thesis is to present findings about postural control in sighted and blind individuals and introduce the issue of postural control in blind subjects. The theoretical part deals with basic information about postural control, postural stability, neuroplasticity, cortical reorganization and its manifest in blind persons. The goal of discussion part is to compare studies examining static and dynamic balance in sighted and blind individuals, influence of blindness onset on neuroplastic changes, postural changes in blind subjects and possible improvements of postural stability by sport activity in these persons.

Klíčová slova v ČJ: posturální kontrola, posturální stabilita, balance, vidomí, nevidomí, slepota, neuroplasticita, kortikální reorganizace

Klíčová slova v AJ: postural control, postural stability, balance, sighted individuals, blind individuals, blindness, neuroplasticity, cortical reorganization

Rozsah: 63 stran

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

V Olomouci dne 3. 5. 2016

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu své bakalářské práce Mgr. Radku Mlíkovi, Ph. D., za odborné vedení práce, za jeho cenné rady, čas a trpělivost, které mi věnoval.

OBSAH

ÚVOD	7
1. Základní pojmy	8
2. Posturální kontrola.....	9
2.1 Posturální stabilita	10
2.2 Posturální orientace	11
2.3 Strategie posturální stability	11
2.4 Posturální stabilita a využití balančních strategií u nevidomých	12
2.5 Senzorická složka posturální kontroly	13
2.5.1 Úloha zraku v posturální kontrole	14
2.5.2 Úloha hmatu v posturální kontrole	15
2.5.3 Efekt hmatu na posturální kontrolu nevidomých.....	15
2.5.4 Úloha sluchu v posturální kontrole.....	16
2.5.5 Efekt sluchu na posturální kontrolu nevidomých	17
2.5.6 Propriocepce a svalový tonus u nevidomých.....	17
3. Krosmodální plasticita	19
3.1 Význam neuroplasticity u nevidomých	19
3.2 Kortikální reorganizace u nevidomých	20
3.2.1 Anatomické změny mozkových struktur u kongenitálně nevidomých	22
3.2.2 Anatomické změny mozkových struktur u jedinců s pozdně získanou slepotou ..	23
4. Prostorová orientace u nevidomých.....	24
4.1 Egocentrická a allocentrická orientace	24
4.2 Navigace v prostoru.....	25
5. Posturální změny u nevidomých osob	26
5.1 Chůze nevidomých jedinců	27

6. Diskuze	29
6.1 Hodnocení statické balance u vidomých a nevidomých jedinců.....	29
6.2 Hodnocení dynamické balance u vidomých a nevidomých jedinců	32
6.3 Změny postury u nevidomých.....	34
6.4 Vliv fyzické aktivity na posturální stabilitu nevidomých	35
6.5 Vliv období nástupu slepoty na neuroplasticitu	36
6.6 Testování haptické orientace v blízkém prostoru.....	38
ZÁVĚR	40
REFERENČNÍ SEZNAM.....	42
SEZNAM OBRÁZKŮ	62
SEZNAM ZKRATEK.....	63

ÚVOD

Posturální kontrola je základem všech činností. K zajištění optimální stability je nezbytně potřebná vzájemná interakce mnoha systémů. Zejména se jedná o systém řídicí, který představuje centrální nervová soustava, dále pak systém výkonný, tedy muskuloskeletální, a v neposlední řadě systém sensorický, který je tvořen zrakovým, vestibulárním a somatosenzorickým aparátem.

Zrak bývá často považován za nejdůležitější složku sensorického systému z hlediska posturální kontroly. Z prostudované literatury vyplývá, že při vyřazení zraku se posturální stabilita a posturální orientace v prostoru snižují. U nevidomých jedinců tedy bývají rovnovážné schopnosti zpravidla horší než u zdravých osob. U zrakově postižených často dochází ke vzniku svalových dysbalancí a schopnost koordinace pohybu je taktéž snížena. I malá překážka může pro tyto jedince představovat zvýšené riziko pádu. Nedostatek zrakové kontroly u nevidomých osob klade zvýšené nároky na činnost zbývajících smyslových orgánů a jejich integraci a zpracování skrze centrální nervový systém.

Cílem této práce je shromáždit dosud známé poznatky o rozdílech řízení posturální kontroly vidomých, tak nevidomých jedinců. Mimoto je důležité odlišit, zda se jedná o jedince se slepotou kongenitální, získanou, nebo o zdravé jedince s vyloučeným zrakovým vstupem.

Při tvorbě práce jsem využívala převážně zahraniční odborné články. Vyhledávání těchto článků proběhlo v databázích EBSCO, PubMed, Google Scholar, NCBI, Science Direct, MEDLINE, Springer Link a dále na základě referenčních seznamů. Byla použita především tato klíčová slova: postural control, postural stability, postural control in blind individuals, postural stability in blind individuals, static balance in blind individuals, dynamic balance in blind individuals, balance in subjects with visual impairment, sport activity for blind individuals, postural changes in blind individuals, crossmodal plasticity, cortical reorganization in blind subjects, visual experience, spatial orientation in blind individuals, enhanced abilities in blind subjects. Výsledný počet užitých zdrojů je 118 od 103 autorů, z toho 108 studií a 12 knih.

1. Základní pojmy

Postura znamená zaujetí a udržování klidové polohy těla, která je charakteristická určitým uspořádáním pohyblivých segmentů, a z níž může vycházet pohyb (Véle, 1997, s. 98). Jedná se o aktivní držení segmentů těla proti působení zevních sil, zejména síly tíhové. Postura je udržována aktivně pomocí vnitřních sil, a to především svalovou aktivitou řízenou prostřednictvím CNS. Zaujetí a udržení postury je dynamický proces, jenž je součástí veškerých motorických programů (Vařeka, 2002, s. 116). Postura je základní podmínkou pohybu, je to aktivní držení pohybových segmentů těla proti působení zevních sil (Kolář, 2009, s. 38).

Atituda je účelově orientovaná poloha těla, ze které vychází zamýšlený pohyb směrem k pohybovému cíli (Véle, 1997, s. 98). Atitudou je tedy postura, která je nastavena tak, aby bylo možné provést plánovaný pohyb (Janura, Janurová, 2007, s. 86).

Balance a rovnováha označují statické a dynamické strategie, které vedou k zajištění posturální stability (Vařeka, 2002, s. 116).

Opěrná báze (Base of support, BOS) je plocha ohraničená obvodem kontaktu mezi podložkou a chodidly. Jestliže je velikost opěrné plochy menší než chodidla nebo je nerovná, kontakt mezi chodidly a podložkou je limitován a dochází k redukci BOS (Jacobson a kol., 1997, s. 261-262).

Opěrná plocha (Area of support, AS) odpovídá ploše kontaktu, která je využita k aktivní opoře a tvorbě BS (Janura, Janurová, 2007, s. 84).

Plocha kontaktu (Area of contact) je definována jako plocha kontaktu podložky s povrchem těla (Kolář, 2009, s. 39).

Centre of mass (COM, těžiště) je definováno jako bod, který se nachází ve středu celkové tělesné hmotnosti, která je určena váženým průměrem COM každého segmentu těla (Shumway- Cook, Woollacot 2012, s. 162).

Centre of pressure (COP) je působiště vektoru reakční síly podložky. Lze jej vypočítat jako vážený průměr všech tlaků snímaných pomocí senzorů z opěrné plochy (Vařeka, 2002, s. 117).

Centre of gravity (COG) je bod, skrze který prochází vektor těžiště. Ve statické poloze se COG vždy musí nacházet v BOS (Shumway- Cook, Woollacot, 2012, s. 164).

Stability limits (LOS) jsou považovány za hranice, v nichž tělo může udržovat stabilitu beze změny BOS (Jacobson a kol., 1997, s. 262; Shumway-Cook, Woollacot 2012, s. 166).

2. Posturální kontrola

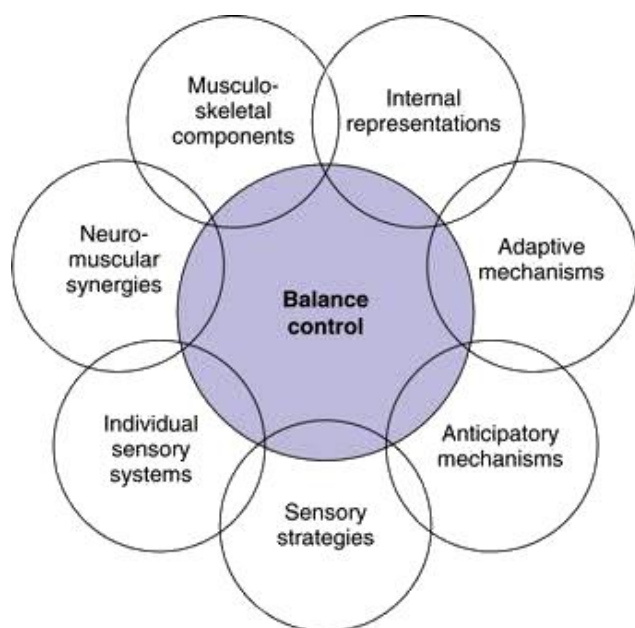
Posturální kontrola je komplex dovedností založených na interakci dynamických senzorických procesů, které spouští rovnovážné reakce na základě zrakového, vestibulárního a somatosenzorického vstupu. Hlavními cíli posturální kontroly je dosažení stability a orientace (Horak, 2006, s. 8).

Schopnost kontroly těla v prostoru je základem všech činností, tzn., že všechny aktivity vyžadují posturální kontrolu. Každá akce obsahuje orientační a stabilizační složku, nicméně podíl těchto složek se mění v závislosti na požadavcích okolí. V některých případech je tedy kladen větší důraz na správnou orientaci na úkor stability a naopak (Shumway-Cook, Woollacott, 2012, s. 162).

Pro většinu funkčních úkolů je nutná vertikální poloha těla. Dosažení a udržování vzpřímené polohy většinou nevyžaduje úmyslné úsilí, jelikož automatické úkoly vyžadují nepřetržitou regulaci a integraci senzorických vstupů skrze CNS (Lajoie a kol., 1993, s. 139).

Každý ze smyslů poskytuje lokalizovanou a nedokonalou informaci týkající se pohybu jednoho či více tělesných segmentů. Tato data jsou dopravena do CNS řadou aferencí, z nichž každá přivádí jen část z celkové senzorické informace. V závislosti na těchto informacích CNS nepřetržitě generuje motorické příkazy vedoucí ke kompenzaci nestabilní dynamiky těla (Kuo, 2005, s. 235).

Pro zajištění optimální stability a orientace je tedy nutná komplexní interakce muskuloskeletálního a nervového systému. První jmenovaná zahrnuje biomechanické vztahy mezi jednotlivými segmenty těla jako např. rozsah pohybu kloubů, pohyblivost páteře a vlastnosti svalů. Nervová soustava řídí motorické procesy, tzn. zapojení svalů celého těla do nervosvalových synergií a vyhodnocení vstupů ze senzorických systémů (Shumway-Cook, Woollacott, 2012, s. 165).



Obrázek 1: Model posturální kontroly . Posturální kontrola není regulována jedním systémem, ale je možná na základě interakce mnoha systémů.

Zdroj: Shumway-Cook, Woollacott (2012)

2.1 Posturální stabilita

Lidské tělo je ve vzpřímeném držení na dvou dolních končetinách velmi nestabilní systém. Tato nestabilita je dána tím, že tělo představuje model tzv. „obráceného kyvadla“ o malé základně s vysoko uloženým těžištěm (Vařeka, Dvořák, 1999; Horak, Macpherson, 1996).

Posturální stabilita je definována jako schopnost kontrolovat COM ve vztahu k BOS (Shumway-Cook, Woollacott, 2012, s. 162). Zajišťuje vzpřímené držení těla a reaguje na změny zevních a vnitřních sil tak, aby nedošlo k neřízenému pádu (Vařeka, 2002, s. 116). Posturální stabilitou tedy rozumíme kontinuální zaujímání stálé polohy, které ovlivňují biomechanické a neurofyziologické faktory. Mezi hlavní biomechanické faktory patří velikost opěrné plochy, což je část podložky, jež je v kontaktu s tělem (Kolář, 2009, s. 39).

Základní podmínkou udržení stability ve statické poloze je, že těžiště se musí v každém okamžiku promítat do opěrné báze. Naopak během lokomoce se vektor tíhové síly do opěrné báze promítat nemusí, musí tam však směřovat výslednice zevních sil. V případě, že se při statické zátěži vektor tíhové síly do opěrné báze nepromítá, musí být udržován trvalý otáčivý moment ligamenty a svaly, nebo musí být vyvinuta dostatečná svalová síla k udržení rovnováhy (Kolář, 2009, s. 39).

2.2 Posturální orientace

Je schopnost dosáhnout odpovídajícího vztahu mezi tělesnými segmenty a mezi tělem a prostředím (Horak, Mackpherson, 1996). Schopnost orientace tělesných segmentů s ohledem na gravitaci, opěrnou plochu, vizuální prostředí a informace z vnitřního prostředí je zásadní komponentou posturální kontroly. Nepoškozený nervový systém automaticky mění orientaci těla v prostoru v závislosti na charakteru a požadavcích úkolu (Horak, 2006, s. 9).

2.3 Strategie posturální stability

Statické strategie řízení posturální stability využívají hlezenní a kyčelní mechanismus. Dynamické strategie zahrnují mechanismus úkroku, uchopení pevné opory v okolí a další způsoby zvětšení BOS (Vařeka, 2002, s. 123-124).

- **Ankle strategy** přesunuje COM do pozice stability pomocí tělesného pohybu vycházejícího primárně z hlezenních kloubů (Jacobson a kol., 1997, s. 271).

Tato strategie, kdy se tělo pohybuje jako flexibilní obrácené kyvadlo, je vhodná pro udržování stability při malých výchylkách při stoji na stabilní podložce (Horak, 2006, s. 9).

Při zajišťování stability pomocí hlezenní strategie je nutná svalová synergie m. gastrocnemius, hamstringů a paravertebrálních svalů (Nashner, 1989 in Shumway-Cook, Woollacott, 2012, s. 172). Bez této spolupráce by mohlo dojít při udržování stability ve směru dopředu k pohybu břišní stěny vpřed vzhledem k pozici dolních končetin. Při udržování stability v dorsálním směru se aktivují především m. tibialis anterior, m. quadriceps femoris a břišní svalstvo (Shumway-Cook, Woollacott, 2012, s. 172).

Hlezenní strategie se zapojuje především při udržování stability v anteroposteriorním směru (Vařeka, 2002, s. 124; Winter a kol., 1996, s. 2334).

- **Hip strategy**, při které tělo vyvíjí točivý moment za účelem rychlého přesunu COM. Je používána při stoji na úzké či poddajné podložce, kdy je opěrná plocha stejná či menší než plocha plosky, což neumožňuje adekvátně využít hlezenní strategii. Tato

pohybová strategie je výhodná také jako odpověď na rozsáhlejší a rychlejší výchytky těžiště (Horak, Kuo, 2000).

Kyčelní mechanismus je využíván primárně při přenášení hmotnosti z jedné končetiny na druhou ve směru mediolaterálním, kdy se významně zapojují svaly kyčle, zejména abduktory a adduktory (Winter a kol., 1996, s. 2334).

- **Stepping strategy** je dynamická strategie, která se objevuje, pokud je v dané situaci hlazení i kyčelní strategie nedostačující. Provedení kroku k obnovení rovnováhy je účinné při chůzi a v případě, kdy není nezbytné udržet chodidla na místě. Krokem nebo dosahem je tedy BOS posunuta opět pod COM (Horak, 2006, s. 9; Shumway-Cook, Woollacott, 2012, s. 174).

Laterolaterální stabilita je podstatně lepší než stabilita anteroposteriorní. Volnost pohybu dolních končetin a trupu, podmíněna anatomickou stavbou, je do stran více omezena než v předozadním směru. Naopak v rovině sagitální je volnost pohybu mnohem větší, což však souvisí s menší stabilitou v tomto směru, jelikož v této rovině probíhá převážně přirozená lokomoce (Vařeka, 2002, s. 124).

2.4 Posturální stabilita a využití balančních strategií u nevidomých

Jedinci s vrozenou slepotou, kteří nikdy nepřijali žádnou zrakovou informaci, se i přes tuto skutečnost naučí motorickým aktivitám, jako je stabilita, orientace a mobilita, a to skrze nevizuální zrakové učení (Wiener a kol., 2010). Motorické dovednosti a kontrola rovnováhy těchto osob tedy závisí výhradně na senzoričeských informacích poskytovaných zachovanými smysly. Systém posturální kontroly bez zrakové zpětné vazby je však nestabilní, a proto se u nevidomých často vyskytují problémy s udržením rovnováhy jak při statické, tak dynamické činnosti (Nakata, Yabe, 2001, s. 37). Pro osoby se zrakovým postižením je obtížné udržovat vzpřímené držení těla vzhledem k působení gravitační síly, zachovávat rovnováhu a koordinovat pohybové strategie, které řídí polohu těla při vykonávání aktivních pohybů či narušení rovnováhy těla vlivem podnětů ze zevního prostředí (Zahálka a kol., 2011, s. 189).

Existuje rozdíl mezi strategií dosažení a udržení posturální kontroly mezi zdravými a nevidomými jedinci. Vidící mají možnost zformovat vzorec kompenzační reakce již před uskutečněním pohybu za účelem vyhnout se spatřené překážce (Horvat a kol., 2003b in Horvat a kol., 2003a), kdežto nevidomí mohou vytvořit korekci až poté, co pocítí ztrátu

balance, v reakci na snahu vyhnout se pádu (Sudgen, Keogh, 1990 in Horvat, a kol., 2003a, s. 700).

Absence zraku má negativní dopad na celkovou posturální kontrolu, a to tak, že nevidomí jedinci využívají k dosažení stability především hip strategy (Ray kol., 2008, s. 58, 61). Tuto strategii preferují ve většině případů pravděpodobně proto, že jsou více opatrní a snaží se produkovat takový pohyb, který zajistí co největší bezpečnost. Proto spoléhají na aktivaci větších svalových skupin ve snaze vyhnout se pádu a zajistit si stabilitu (Horvat a kol., 2003a, s. 700-701).

V situacích, kdy jsou kladeny značně zvýšené nároky na stabilitu, dochází u nevidomých ke kompenzaci nerovnováhy nadměrným pohybem vycházejícího z kyčelních kloubů. Větší nestabilita je tedy nevidomými kompenzována mnohem razantnějším zapojením kyčelní strategie, než je tomu u zdravých jedinců. Přestože se jedná o odpovídající reakci na změnu, toto nepřiměřeně velké použití kyčelní strategie u nevidomých při snaze dosáhnout balance může vést k častějšímu výskytu pádů (Ray a kol., 2008, s. 60-61).

2.5 Senzorická složka posturální kontroly

CNS reguluje posturu těla komplexně pomocí vstupujících podnětů ze sensorických systémů. Vjemy z těchto systémů poskytují informaci důležitou pro pohyb a pozici COG (Horak a kol., 1989, s. 732). Jsou navzájem integrovány a informace z nich získané jsou poté využity v mozku ke generaci pohybu. Změny v multisenzorických vstupech ústí v rychlé dynamické posturální změny, ale také v dlouhodobé změny v multisenzorické integraci a posturální kontrole samotné (Chiba a kol., 2015, s. 97). V situaci, kdy dojde k úplnému vyřazení či vstupu nepřesné informace z daného ústrojí, dochází ke snížení posturální kontroly (Horak a kol., 1989).

Zraková složka se uplatňuje především při orientaci v prostoru, při pohybu a taktéž při předvídání změn působení zevních sil (Vařeka, 2002, s. 122). Vestibulární orgán zahrnující polokruhové kanálky s tekutinou s otolity poskytuje důležité informace o rotaci a poloze hlavy. Propriocepce přináší informace o pohybu a pozici jednotlivých částí těla. Tato sensorická informace je přiváděna ze sensorických receptorů lokalizovaných v kosterních svalech, tj. ze svalových vřetének a Golgiho šlachových tělísek, dále z kloubů a kožních receptorů senzitivních na natažení kůže a tlak (Trojan a kol., 2003).

Ohledně významu sensorické složky v udržování posturální stability existují dvě hlavní hypotézy.

- **Intermodální teorie sensorické organizace**, která předpokládá, že pouze prostřednictvím všech tří smyslů, které přispívají k posturální orientaci rovnocenně po celou dobu, je CNS schopna udržovat příslušnou posturální orientaci (Stoffregen, Riccio, 1988 in Shumway-Cook, Woollacott, 2012, s. 184).
- **Sensorická "weighting" hypotéza** uvádí, že každý ze smyslů poskytuje jedinečný přínos pro posturální kontrolu (Shumway-Cook, Woollacott, 2012, s. 184). Jakmile dojde ke změně sensorického prostředí, dochází k rozložení systémů v závislosti na tom, jaké informace subjekt v dané situaci nejvíce potřebuje. Tato schopnost je důležitá pro dosažení stability v situacích, kdy se jedinci pohybují z jednoho prostředí s určitými sensorickými podmínkami do druhého s jinými sensorickými podmínkami (Horak, 2006, s. 9).

2.5.1 Úloha zraku v posturální kontrole

Kontrola lidské postury závisí na integraci informací z různých sensorických systémů. Mnoho autorů přiřazuje nejvyšší roli v kódování a zpracování ostatních sensorických informací právě zraku, např. Kupers, Ptito 2004; Schieppati, 2002; Wiener a kol., 2010. Zpracování zrakových informací představuje složitý úkol, který je možný díky vysoce organizované a efektivní struktuře mozku. U člověka je ke zrakovému zpracování specializováno přibližně 55 % mozkové kůry, což je mnohem větší část v porovnání s kůrou zabývající se sluchovými informacemi (3 %) a somatosenzorickými (11 %) (Felleman, Van Essen, 1991, s. 5–6).

Zrak hraje důležitou úlohu při stabilizaci díky tomu, že CNS průběžně poskytuje aktuální informace o pozici a pohybech tělesných segmentů ve vztahu k sobě navzájem a k prostředí. Dále nám umožňuje identifikovat objekty v prostoru a rozpoznat jejich pohyb. U osob se zavřenými očima se výchylky těžiště mohou zvýšit až o 20–70 % (Lord, 1994 in Lord, 2006).

Při zavřených očích není zrak u zdravých jedinců zcela a pohotově nahrazen jiným sensorickým vstupem, což prokázal Schmid a kol. (2007) při testování stoje na mobilní plošině, která se pravidelně překlápěla v horizontální rovině. S očima otevřenými subjekty

částečně stabilizovaly hlavu v prostoru, avšak ve stejné situaci při zavřených očích hlava oscilovala stejně či více než plošina.

Zůstává tedy nejasné, v jaké míře může jeden či více sensorických systémů nahradit zrak skrze dlouhodobou krosmodální plasticitu mozku (Schmid a kol., 2007 s. 2097).

2.5.2 Úloha hmatu v posturální kontrole

Kombinace kožních a kinestetických vstupů z mechanoreceptorů lokalizovaných v kůži, svalech a kloubech ruky a paže jsou kritické pro komplexní senzomotorické dovednosti (Magalhaes, Kohn, 2011a, s. 302). Již pouhý dotyk podložky špičkou prstu poskytuje somatosenzorický podnět o pozici paže a pohybech těla vedoucí ke svalové aktivitě vztahující se k posturální kontrole, a tudíž k redukci tělesných výchylek. Lehká změna v síle kontaktu prstu může poskytnout smyslové podněty informující o směru tělesných odchylek, což umožní jejich ovlivnění. Jemný kontakt prstu se stabilním objektem snižuje kolísání těla stejně efektivně jako silný podpůrný mechanický kontakt (Jeka, Lackner, 1994).

Dickstein (2005) uvádí, že současný kontakt obou rukou působí větší redukci tělesných výchylek, než kontakt jedné ruky, což naznačuje, že sensorická sumace se uplatňuje také v této modalitě.

Zpracování hmatového signálu je ovlivňováno relativní polohou místa dotyku k tělu a pozici kontaktní končetiny. Informace z hmatového signálu, jehož vektor je rovnoběžný ke směru výchylek těla, je efektivnější při redukci nerovnováhy než hmatová informace, jejíž vektor je kolmý k výchylkám (Jeka a kol., 1998 in Johannsen a kol., 2016, s. 265).

Skutečnost, že dodatečný hmatový podnět vede ke zlepšení posturální kontroly, poskytuje užitečné informace pro použití a navrhování kompenzačních pomůcek, jako jsou hole a berle používané pro rehabilitaci pohybového ústrojí u osob s balančním postižením. Tato pomocná zařízení mohou poskytnout sensorické podněty z receptorů stimulací ruky a ramene skrze kontakt hole se zemí nebo stabilním předmětem (Jeka a kol. 1997, s. 478, 484).

2.5.3 Efekt hmatu na posturální kontrolu nevidomých

Přidání haptické informace získané dotykem stabilního povrchu vede ke zlepšení posturální stability (Magalhaes, Kohn, 2011b, s. 139). Rychlé zpracování stabilizačních, prostorově orientačních podnětů může být zprostředkováno díky krosmodální plasticitě. U nevidomých se navíc díky plastickým změnám objevuje při zpracování taktilní informace

aktivace v korových oblastech, které normálně slouží ke zpracování zrakového vjemu (Schieppati a kol., 2014, s. 1427–1439).

Poznatky z výzkumu Schieppati a kol. (2014), kdy nevidomí a vidomí jedinci se zavřenými očima stáli s nohama v tandemu a dle potřeby korekce rovnováhy se ukazováčkem dotýkali a opět pouštěli stabilní podložky, dokázaly, že velikosti tělesných výchylek během klidného stoje (s kontaktem či bez něj) nejsou rozdílné mezi vidomými a nevidomými jedinci. Po přidání hmatového stimulu se velikost tělesných výchylek snížila u obou skupin. Co je ale důležité, u nevidomých k tomu došlo v podstatně kratším čase. Jedinci s vrozenou slepotou byli navíc pohotovější než osoby se slepotou získanou.

Tato data poukazují na to, že nevidomí jsou rychlejší než vidomí při provádění adaptivních posturálních změn, jakmile je poskytnuta externí hmatová informace (Honeine, Schieppati, 2014, s. 7). Tento fakt může být vysvětlen větším kladením důrazu a spoléháním na používání jejich nepoškozených smyslů (Pascual-Leone a kol., 2005, Cattaneo a kol., 2011). Ricciardi a kol. (2014, s. 69) dále uvádí, že tuto schopnost mají nevidomí díky rozšířené funkční konektivitě mezi senzorickeými korovými oblastmi.

2.5.4 Úloha sluchu v posturální kontrole

Porovnání stabilizačního efektu zrakové a sluchové informace ukázalo, že zatímco zraková informace snižuje tělesné kolísání o 60 %, sluchový vstup redukuje nestabilitu pouze z 10 %, a tudíž hraje jen malou roli při dosahování posturální stability (Easton a kol., 1998, s. 547).

Z hlediska zlepšení posturální stability je však významným prvkem stochastická resonance a efekt zvuku spojený s mechanickým stimulem. Fenomén stochastické resonance je spojen se zlepšením výkonu daného systému v odpovědi na odpovídající stupeň hluku (McDonnel, 2009; Moss a kol., 2004). V tomto případě hluk, který je obvykle považován za škodlivý, může být používán jako vhodný pro posílení detekce přicházejících stimulů (Priplata a kol., 2002, s. 4). Například nízká úroveň mechanického hluku může způsobit potencionální výkyvy receptorů, a tudíž vytvořit podprahové stimuly, které mohou být detekovány (Gravelle a kol., 2002, s. 1853–1856). Z tohoto pohledu by stochastická resonance mohla pomoci k redukci posturální nestability (Magalhaes, Kohn, 2011a, s. 302).

Priplata a kol. (2002, s. 4) zjistili, že elektrický či mechanický stimul, doprovázený zvukem aplikovaným na plošky nohou subjektu, zlepšuje posturální stabilitu u rozdílné populace. Autoři této studie předpokládají, že zlepšení detekce somatosenzorických signálů

pomocí mechanoreceptorů chodidla vede ke zlepšení balanční kontroly. A to díky zvýšené informaci o tělesném pohybu a pozici přicházející z těchto receptorů.

Studie provedená Magalhaesem a Kohnem (2011b, s. 148) poukazuje na zlepšenou posturální stabilitu dosaženou přidáním vibrace, která byla doprovázena zvukem, do podložky pro dotyk prstů. To přináší poznatek, že zvýšení posturální stability může být dosaženo přidáním zvuku ke zdroji, který poskytuje hmatovou informaci. Pravděpodobný mechanismus je, že vibrace doplněná zvukovým stimulem přicházející do prstů, které se dotýkají podložky, aktivuje dodatečné nebo více specializované mechanoreceptory, což zvýší počet vstupních signálů jdoucích do CNS.

Tento poznatek vede k myšlence, že přidání vibrace a zvuku do vycházkových holí, berlí či madel, může pomoci ke zvýšení stability u pacientů s poruchou balance nebo zrakovým postižením (Magalhaes, Kohn, 2011b, s. 150).

2.5.5 Efekt sluchu na posturální kontrolu nevidomých

Přestože v každodenním životě nevidomí více spoléhají na sluchovou informaci při poznávání lidí, lokalizaci událostí či tvorbě řeči než jedinci zdraví (Hotting, Röder, 2009, s. 165), nemusí obvykle použít sluchovou informaci k zajištění posturální kontroly (Melzer a kol., 2011, s. 361). Díky centrální reorganizaci mozku spojenou s balanční kontrolou mají nevidomí schopnost dosáhnout balance bez sluchových informací (Melzer a kol., 2011, s. 361), což potvrzuje skutečnost, že nevidomí jedinci při udržování posturální stability kladou největší nároky na podněty z proprioreceptorů (Häkkinen a kol., 2006, s. 1282).

Z uvedeného vyplývá, že vidomí a nevidomí preferují rozdílné somatosenzorické strategie k dosažení stability. Zdraví jedinci narozdíl od nevidomých ke kompenzaci chvilkové ztráty zraku využívají především sluchový systém, což pomáhá mozku získat více zpětnovazebné kontroly, která je nutná k dosažení požadované stability (Melzer a kol., 2011, s. 361).

2.5.6 Propriocepce a svalový tonus u nevidomých

S vývojem propriocepce úzce souvisí svalový tonus, který může být definován jako pohotovost svalu vytvářející podklad pro pohyb (Wiener a kol., 2010). Již v dětství u nevidomých často pozorujeme abnormálně snížený svalový tonus (Levtzion-Korach a kol., 2000, s. 228). Kvůli zrakovému postižení je totiž postrádána zpětná vizuální vazba o prováděných motorických činnostech, což znamená složitější podmínky pro rozvoj

proprioceptivního zpracování a s tím související narušení rozvoje adekvátního svalového napětí (Wiener a kol., 2010, s. 139).

3. Krosmodální plasticita

Krosmodální plasticita mozku je definována jako adaptivní kapacita CNS. Vyznačuje se přestavbou neuronů za účelem integrovat funkce dvou nebo více sensorických systémů. Je to schopnost modifikovat vlastní strukturální organizaci a fungování, která se často objevuje po sensorické deprivaci vázané k poškození mozku (Bach-y-Rita, 1988 in Bach-y-Rita, Kerzel, 2003, s. 541).

Plasticita je charakterizovaná tzv. funkčním typem, jenž nastupuje relativně rychle, projevuje se funkčními změnami a je reverzibilní. Druhý typ plasticity má charakter adaptace, jejímž výsledkem je změna exprese genotypu ve fenotyp (Trojan, Pokorný, 1997, s. 668).

Mechanismus krosmodální plasticity zahrnuje neurochemické, synaptické, receptorové a neuronální strukturální změny. Tyto změny se mohou projevit v komunikaci mezi jednotlivými neurony (synaptická úroveň), v činnosti neuronálních okruhů (úroveň lokálních okruhů) nebo ve vztazích mezi jednotlivými funkčními celky (multimodální úroveň) (Trojan, Pokorný, 1997, s. 667). Průběh reprezentativních změn je neznámý, pravděpodobně dochází k sekundárnímu přesunu vstupů, jako např. nevizuálních vstupů do primární zrakové kůry. To umožňuje adaptační odpověď na funkční poptávku (Bach-y-Rita, 1995 in Bach-y-Rita, Kerzel, 2003, s. 541).

3.1 Význam neuroplasticity u nevidomých

Přibývající experimentální důkazy naznačují, že úpravy probíhající díky krosmodální plasticitě mozku se u nevidomých týkají nejen zbývajících smyslových vjemů (hmatu a sluchu), ale zahrnují také ty části mozku, které jsou zasvěceny do zraku samotného. Mozkové oblasti obvykle spojené se zpracováním zrakové informace tedy nejsou u nevidomých osob zcela utlumeny, ale angažují se v kompenzačních procesech krosmodálního systému (Théoret a kol., 2004, s. 221).

Bach-y-Rita, Kerzel (2003, s. 541) uvádí, že k sensorické substituci může dojít napříč smyslovými systémy (např. mezi hmatem a zrakem) nebo v rámci jednoho systému (např. mezi hmatem a hmatem).

Excelentním příkladem substituce sensorických systémů u nevidomých je Braillovo písmo. V tomto případě nevidomí získávají informace, které obvykle vstupují zrakovým

systémem, pomocí prstů. Další velmi úspěšnou senzoricou substitucí představují nevidomí používající bílou hůl, kdy jediný bod kontaktu s objektem poskytuje velké množství praktických informací pro lokalizaci a identifikaci objektu (Bach-y-Rita, Kerckel, 2003, s. 541–542). Toto jednoduché zařízení poskytuje okamžitou zprávu o prostředí před chodcem, povrchu a stavu podložky a také zvukové informace ze zasažených objektů. Bílá hůl poskytuje ochranu před nárazem a chrání tak především dolní část těla (Hersh a kol., 2008, s. 186).

Senzorická substituce je tedy možná díky krosmodální mozkové plasticitě (Bach-y-Rita, Kerckel, 2003). Pasqual-Leone a kol. tvrdí, že vzhledem k důležité roli zraku v úkolech vyžadujících kontrolu rovnováhy a zpracování prostorových informací, nemůže být ztráta zraku zcela kompenzována. Nelze tedy vyloučit nevýhodné působení neuroplasticity na vnímání a integraci informací z jiných aferentních vstupů (Pasqual-Leone a kol., 2005, s. 387).

Z výzkumu Schmid a kol. (2007) vyplývá, že balanční schopnosti u nevidomých jedinců rozhodně nejsou vyšší než u zdravých osob a autoři tak argumentují proti přeceňování významu krosmodální plasticity v posturální kontrole.

3.2 Kortikální reorganizace u nevidomých

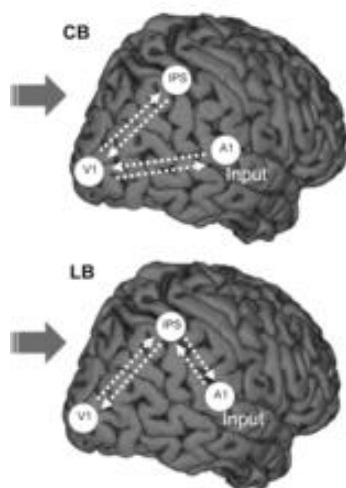
Ztráta zraku je spojena se změnou organizace mozku nejen anatomickou, ale i funkční (Noppeney, 2007, s. 1169–1180). Předpokládá se, že při organizaci mozku při vývoji dochází v okcipitálních regionech, stejně jako v některých dalších mozkových oblastech k selektivnímu vývoji, který je nezávislý na zrakové zkušenosti (Mahon, Caramazza, 2011, s. 5). Z tohoto pohledu je dosaženo funkční schopnosti okcipitální oblasti při kongenitální slepotě z již existujících, pravděpodobně vrozených sad neuronálních spojů, které jsou podobné pro vidomé i nevidomé jedince (Hannagan a kol., 2015, s. 378-379). Také z výzkumu Ricciardi a kol. (2014, s. 68) vyplývá, že vizuální zkušenost není nezbytná pro vývoj mozku a nezabraňuje vzniku jeho unikátní architektury a supramodální funkční reorganizace. Scénář pro vývoj struktury mozku tedy evidentně musí být určitým stupněm zakódován v našich genech.

V důsledku absence zrakového vstupu u nevidomých dochází v CNS k následné rozdílné centrální organizaci, což má za následek, že pro kontrolu posturální stability a k udržení balance jsou využívány jiné somatosenzorické vstupy. Protože potřeba korekce balance se objevuje náhle, musí být v CNS program, který podvědomě organizuje balanční

informace z rozdílných systémů a automaticky aktivuje odpovídající korekční strategii cestou nervových povelů k dosažení posturální stabilizace (Melzer a kol., 2011, s. 358).

Centrální nervový systém je pozoruhodně adaptivní na změny sensorických informací a kortikální struktury normálně specializované pro zpracování zraku, přestože jsou redukovány ve svém objemu, mohou přispívat ke zpracování jiných typů vjemů. Tento fakt pravděpodobně vysvětluje zlepšení výkonu u nevidomých při zpracování jiných než zrakových sensorických podnětů (Leporé a kol., 2010, s. 139).

Výzkumy používající funkční MRI ukázaly silnější kortiko-kortikální spojení primárního sluchového kortexu s primárním zrakovým kortexem u kongenitálně nevidomých (Klinge a kol., 2010, s. 12802, Collignon a kol., 2013, s. 2769). U těchto osob tedy dochází k přímé interakci primární vizuální kůry s primární sluchovou kůrou, kdežto jedinci s pozdním nástupem slepoty více spoléhají na zpětnou vazbu z parietálních receptorů (Collignon a kol., 2013, s. 2777).



Obrázek 2: Schéma rozdílného zpracování přídavné sluchové aktivity v primární zrakové oblasti VI u kongenitálně nevidomých (CB) a jedinců se získanou slepotou (LB) Zdroj: Collignon (2013)

Při testování orientace pomocí sluchu Collignon a kol. (2013) obě skupiny nevidomých jak kongenitální, tak s pozdně získanou slepotou zapojily při zpracování zvuku okcipitální regiony. U obou skupin však byly do procesu zpracování zahrnuty jiné části týlní kůry. Věk nástupu slepoty je tedy pravděpodobně klíčový k určení, který okcipitální region se stane zodpovědný za přídavné zpracování sluchu. Tento fakt poukazuje na to, že existují časově specifická období působení krosmodální plasticity, která jsou individuální pro jednotlivé mozkové regiony.

Z hlediska hmatu se okcipitální kůra podílí na přídatném zpracování taktilních stimulů, např. při čtení Braillova písma (Sadato a kol., 2002). Zraková oblast je dále zapojena během zpracování mluveného slova. Aktivita při jazykových funkcích byla pozorována v sekundární i primární zrakové kůře (Amedi a kol., 2003; Watkins a kol., 2012).

3.2.1 Anatomické změny mozkových struktur u kongenitálně nevidomých

Anatomicky je kongenitální slepota doprovázena atrofií objemu šedé hmoty mozkové okcipitálního laloku, což je kompenzováno nárůstem její tloušťky. Kortikální tloušťka motorického kortexu u těchto jedinců je naopak snižena (Hasson a kol., s. 364). Noppeney a kol. (2005, s. 488) a Ptito a kol. (2008, s. 41–49) dále pozorovali redukci šedé i bílé hmoty v chiasma opticum a radiatio optica, zatímco našli vyšší objem bílé hmoty v dráze senzomotorického systému.

Značná redukce objemu šedé hmoty mozkové byla nalezena také v parietálních oblastech, které jsou spojeny s prostorovým zpracováním (Shafritz a kol., 2002 in Leporé a kol., 2010). Redukce šedé hmoty těchto struktur se objevuje pravděpodobně proto, že u jedinců se ztrátou zraku není potřeba koordinace zrakových a motorických funkcí (Leporé a kol., 2010, s. 139) Objem hippocampu u kongenitálně nevidomých je naopak abnormálně zvětšený, což pravděpodobně poskytuje anatomický substrát pro jejich rozšířené navigační schopnosti (Fortin a kol., 2008, s. 2995). Dále byl zjištěn nárůst objemu mozečku, který řídí senzomotorické interakce (Leporé a kol., 2010, s. 139).

Důležité jsou také anatomické změny v corpus callosum. Corpus callosum je největší interhemisferální komisura v lidském mozku skládající se z více než 200 milionů vláken (Shi a kol., 2015, s. 10–12). Tato struktura prochází rozsáhlou myelinizací během vývoje a končí zhruba v období dospívání (Thompson a kol., 2000, s. 192). Splenium vede vlákna spojující levý a pravý zrakový region týlní kůry (Shi a kol., 2015, s. 10–12). Isthmus je zapojen do zrakově prostorového zpracování a zahrnuje vlákna, která kontrolují zpracování multimodálních sensorických informací (Hofer, Frahm, 2006). V odpovědi na ztrátu zrakové informace dochází v corpus callosum k redukci myelinu právě těchto nervových vláken. Pokud dojde k nástupu slepoty v dospívání či později, proces myelinizace je již relativně kompletní, takže struktury corpus callosum nemusí být nutně ovlivněny ztrátou zrakové percepce, alespoň co se týče anatomické úrovně (Leporé a kol., 2010, s. 138).

Slepota je doprovázena také změnami ve sluchovém kortexu. Magnetoencefalografická studie ukázala, že dochází k expanzi tonotopických polí, které se

nachází v primární sluchové oblasti jak u jedinců se získanou slepotou, tak u jedinců se slepotou kongenitální. Tonotopické oblasti sluchového kortexu jsou téměř dvakrát větší, než je tomu u vidících (Elbert a kol., 2002, s. 9942).

3.2.2 Anatomické změny mozkových struktur u jedinců s pozdně získanou slepotou

Značné, ale méně masivní anatomické změny se objevují také u jedinců s později získanou slepotou. V okcipitálním kortexu byl stejně jako u kongenitálně nevidomých nalezen úbytek šedé hmoty. Redukce objemu však byla lokalizována více v pravé hemisféře a především v dorzální části týlního laloku. Objem hmot parietálního laloku je u těchto jedinců také snížen. Stejně jako u kongenitální slepoty, i zde nacházíme zvětšení hippocampu (Leporé a kol., 2010, s. 136). Nebyly pozorovány výrazné změny v corpus callosum, což pravděpodobně souvisí s dokončeným procesem myelinizace, jak bylo zmíněno výše (Leporé a kol., 2010 s. 139; Shi a kol., 2015, s. 11).

Tyto poznatky potvrzují domněnku, že mozková plasticita u jedinců s později získanou slepotou není tak rozsáhlá jako u osob se slepotou kongenitální (Leporé, a kol., 2010, s. 137).

4. Prostorová orientace u nevidomých

Schopnost prostorové orientace umožňuje určení pozice vlastního těla a vzájemnou interakci s okolím (Cattaneo a kol., 2008 s. 1348). V případě ztráty zraku nebo jeho poškození jsou informace o prostředí získávány pomocí hmatu, propiocepce, sluchu a čichu (Wiener a kol., 2010). Nicméně senzorní substituce nemusí být vždy dostačující pro normální úroveň výkonu, pokud jde o prostorové úkoly. Zraková zkušenost se zdá být nezbytná především pro zpracování haptických prostorových informací (Pasqualotto, Newell, 2007, s. 191). Cappagli, a kol. (2014) poukazují na skutečnost, že kongenitálně nevidomí nejsou stejně efektivní při využití propioceptivních informací pro prostorové vnímání jako vidomí a osoby se slepotou získanou. Tito autoři porovnávali využití propioceptivních informací pro lokalizaci v prostoru u nevidomých a vidomých jedinců. Experimentátor nejdříve přesunul ruku testovaného subjektu ze startovací pozice na jednu z pěti cílových pozic umístěných na podložce. Osoba poté musela zopakovat stejný pohyb znovu samostatně. Jedinci s kongenitální slepotou dosáhli horších výsledků než vidomí, avšak výsledky osob se slepotou získanou a zdravých se shodovaly.

Wiener a kol. (2010) považují nedostatky ve zpracování prostorových informací u kongenitálně nevidomých za důsledek narušeného rozvoje propioceptivního systému. Během raného vývoje dochází pomocí zraku ke kalibraci a zapojení ostatních smyslů do procesu prostorové orientace. U nevidomých, kteří získali slepotu v průběhu života, se zbývající smysly během vývoje naučily zpracovávat prostorové informace. V případě, že ke ztrátě zraku dochází v kritické době vývoje, může být rozvoj prostorového zpracování pomocí jiných smyslů ohrožen. Časový interval, ve kterém dochází k zapojení ostatních smyslových systémů do prostorového zpracování, není známý. Pravděpodobně však nepřesahuje prvních několik let života (Cappagli, a kol., 2015, s. 2).

4.1 Egocentrická a allocentrická orientace

Podle vztahů v prostoru lze orientaci rozdělit na egocentrickou a allocentrickou. Egocentrická orientace je vztažena k samotnému pozorovateli a prostorové souvislosti se mění v závislosti na jeho pozici, zatímco orientace allocentrická je definována prostorovým vztahem mezi jednotlivými předměty a pozice pozorovatele ji neovlivní (Mou a kol., 2006 in Cattaneo a kol., 2011, s. 115).

Nevidomí nemohou pohledem získat informaci o vzájemných poměrech objektů v prostoru, a proto se neobejdou bez prozkoumání prostředí ve větším měřítku. Musí nepřetržitě přehodnocovat a aktualizovat prostorové vztahy mezi objekty, kterých se dotkli, vzhledem k pohybu jejich těla, což je kognitivně náročné a může to mít za následek zhoršené prostorové porozumění (Cattaneo a kol., 2011, s. 116). Pasqualotto a Newell (2007) poukazují na to, že v tomto procesu hraje důležitou roli zraková zkušenost, a tvrdí, že kongenitálně nevidomí jedinci mají větší problémy s kontinuálním doplňováním a obnovováním informací o měnících se vztazích objektů v prostředí. Tito jedinci tedy upřednostňují především egocentrický typ orientace spoléhající na proprioceptivní a kinestetické informace (Cattaneo a kol., 2008), zatímco osoby s pozdní slepotou, které měly předchozí zrakovou zkušenost, využívají více typ allocentrický (Pasqualotto a kol., 2013, s. 10).

4.2 Navigace v prostoru

Při pohybu směrem k objektu či za zdrojem zvuku je nezbytné neustále aktualizovat polohu zamýšleného cíle. Schopnost autoregulace pohybu ve vztahu k objektu může být zajištěna různě. Některé strategie spoléhají více na informaci o vlastním pohybu získané z proprioceptorů a vestibulárního aparátu, jiné lpí na využití externích informací a orientačních bodů v prostředí (Cattaneo a kol., 2011, s. 126).

V literatuře se setkáváme s popisem dvou hlavních strategií uplatňujících se při lokomoci v prostoru a navigaci. Takzvaná „route-like” strategie je vytvářena pomocí zapamatování si posloupnosti jednotlivých úseků trasy a používá egocentrický model prostorové orientace (Noordzij a kol., 2006, s. 324–325). Oproti tomu strategie „survey like” je založena na vzájemné integraci míst a vytvoření globálního přehledu o celém prostředí na základě průzkumu terénu (Cattaneo a kol., 2011, s. 126).

Zatímco nevidomí většinou spoléhají na „route-like” strategii, vidomí preferují využití druhé zmíněné strategie (Noordzij a kol., 2006, s. 336–337). Nevidomé osoby jsou však schopny jednat taktéž na podkladě „survey-like”. Z tohoto pohledu jsou velmi užitečným nástrojem taktilní mapy, jelikož současně poskytují všechny nezbytné prostorové údaje a zdají se být účinnější než pouhý verbální popis, který klade vyšší zátěž na pracovní paměť (Cattaneo a kol., 2008; Cattaneo a kol., 2011, s. 127).

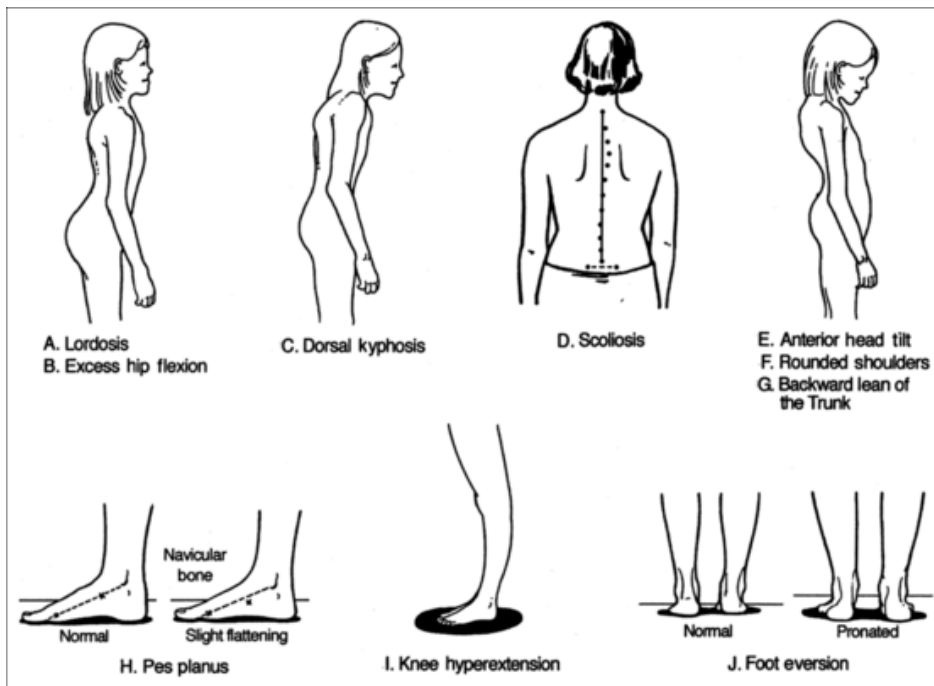
5. Posturální změny u nevidomých osob

Děti a dospělí s kongenitální slepotou mají specifické držení těla. U nevidomých často pozorujeme posturální změny jako anteflexi či mírnou lateroflexi hlavy, protrakci ramen, zvýšenou kyfózu v horní hrudní páteři, skoliotické držení těla, zvětšenou bederní lordózu s prominencí břicha a antevertzi pánve (Keblová, 1996; Tavares a kol., 2014). Wiener a kol. (2010, s. 160) dále udávají zvýšenou flexi v kyčelních a kolenních kloubech při stoji a lokomoci, či v některých případech naopak hyperextenzi v kolenou, záklon trupu, plochonoží a everzi nohou. Osoby se zrakovým postižením mají dále potíže s abnormální ztuhlostí svalů trupu a horní části těla (Surakka, Kivelä, 2011, s. 16).

K těmto posturálním odchylkám dochází pravděpodobně proto, že kongenitálně nevidomí nejsou schopni se bez zrakové zpětné vazby naučit řádnému držení těla stejně efektivně jako vidící. Předpokládá se také potřeba těchto jedinců zaujímat ochranné držení těla proti nečekaným srážkám s jinými objekty. Posturální deviace souvisí se svalovým tonem a rovnováhou. Z tohoto pohledu může být každá odchylka vnímána jako nástroj k dosažení dvou funkcí, a to snížení COM za účelem redukce nároků na propioceptivní systém k dosažení rovnováhy, nebo minimalizaci nároků na svalovou aktivitu potřebnou ke srovnání tělesných segmentů. Uvedené posturální změny se zřídka vyskytují samostatně, ale ve většině případů na sebe vzájemně navazují (Wiener a kol., 2010, s. 161).

Catanzariti a kol. (2001, s. 50–51) pozorovali pětikrát vyšší frekvenci výskytu hrudních deformit a strukturálních skolióz u nevidomých a slabozrakých dětí. Taktéž Grivas a kol. (2006, s. 53) zkoumající prevalenci skoliózy u nevidomých žen potvrdili, že zrakové postižení zvyšuje výskyt idiopatické skoliózy u těchto osob.

Joao a kol. (2014, s. 158–160) zjistili, že děti se zrakovým postižením mají vyšší aktivní i pasivní rozsah rotací v kyčelních kloubech a vnitřní rotace v kloubech ramenních. Naopak rozsahy pohybů u abdukce, flexe a extenze v těchto kloubech jsou u dětí se zrakovým postižením sníženy oproti zdravým. To může být vysvětleno vytvářením rozdílných pohybových vzorů při vývoji s účelem dosáhnout co nejefektivnější lokomoce.



Obrázek 3: Posturální deviace u kongenitálně nevidomých.
Zdroj: Wiener a kol. (2010)

5.1 Chůze nevidomých jedinců

U osob s kongenitální slepotou pozorujeme charakteristické vzory chůze, které se odlišují od vidomých jedinců. Mezi nejčastější rozdíly patří zkrácená délka a větší šířka kroku, flexe v kolenou při chůzi, nižší rychlost chůze, záklon trupu, vytáčení špiček od sebe, tzv. out-toeing, a chybějící synkinéza horních končetin (Rosen, 1986 in Wiener a kol., 2010, s. 166). U nevidomých se dále setkáváme s vyšším výskytem chyb v umístění nohy (Reynolds, Day, 2005, s. 677) a změnami v odvíjení chodidla projevující se zejména při iniciálním kontaktu, který je tvořen celou plantární plochou plošky namísto dotyku paty (Hallemans a kol., 2009, s. 310).

Rozdílné vzory chůze se vytváří jako ochranná reakce či z důvodu nedokonalého vyvrání vzorů kvůli absenci zraku. Dalším činitelem vzniku jiných mechanismů chůze je zmíněná hypotonie limitující zisk propioceptivních informací (Wiener a kol., 2010).

Ferrell (1985 in Wiener a kol., 2010, s. 167) uvádí, že efektivní chůze vyžaduje dobrou rotaci trupu, která je u nevidomých často omezená či dokonce chybí. Tento nedostatečný vývoj rotace může být ozejměn faktem, že jedinci se zrakovým postižením postrádají zrakovou motivaci, a v důsledku toho se v dětství tolik neotáčí a nerotují trupem, aby následovali hračku. Dalším faktorem může být také to, že mnoho nevidomých dětí neleze

po čtyřech předtím, než se naučí chodit, čímž je připravena o další možnost rozvíjení trupové rotace a reciprokého souhybu končetin (Wiener a kol., 2010).

6. Diskuze

Cílem této části práce je komparace rozdílů v posturální kontrole mezi kongenitálně nevidomými, jedinci se získanou slepotou, vidomými jedinci a vidomými s vyloučeným zrakovým vstupem. Dále pak posouzení validity a aktuality studií zabývajících se touto problematikou, porovnání jednotlivých skupin nevidomých a vidomých mezi sebou a posouzení toho, jak čas nástupu slepoty ovlivňuje posturální stabilitu. Součástí diskuze je zhodnocení vlivu doby nástupu slepoty na neuroplastické změny mozkových struktur u zkoumaných jedinců a toho, jak mohou tyto změny ovlivnit posturální kontrolu. Práce se zde dále zabývá otázkami, do jaké míry se zbývající nepoškozené smysly podílí na udržování stability u nevidomých a do jaké míry může balanční trénink a fyzická aktivita ovlivnit posturální změny a posturální stabilitu nevidomých jedinců.

6.1 Hodnocení statické balance u vidomých a nevidomých jedinců

Důležité poznatky o statickém balančním chování nevidomých přinesly výsledky studie Schmid a kol. (2007). Do testování bylo zařazeno 25 nevidomých jedinců s kongenitální a získanou slepotou a 25 zdravých jedinců. Všichni účastníci byli testováni při klidném stoji na stabilometrické plošině s otevřenými a zavřenými očima. Jelikož je klidný stoj doprovázen tělesnými výchylkami do všech směrů, posouzení balance bylo provedeno výpočtem trajektorie COP v horizontální rovině. Tato proměnná zohlednila velikost výchylek v anterioposteriorním i mediolaterálním směru. Výsledky tohoto výzkumu ukázaly, že nevidomí se během klidného stoje chovali stejně s otevřenými i zavřenými očima a mezi těmito dvěma stavy nebyly značné rozdíly ve výchylkách COP. Značné změny velikosti amplitud COP byly pozorovány u skupiny zdravých jedinců s ohledem na změnu zrakových podmínek, kdy při testování se zavřenými očima došlo ke zřetelnému zvýšení nestability oproti skupině s očima otevřenými. Oscilace COP naměřené u nevidomých jedinců byly srovnatelné s těmi u zdravých jedinců se zavřenými očima. Taktéž nebyly pozorovány rozdíly mezi kongenitálně nevidomými a jedinci se získanou slepotou.

Ribadi a kol. (1987) taktéž pozorovali horší balanční kompenzaci při statické činnosti u nevidomých. Testování bylo založeno na dovednosti stát na dominantní dolní končetině s rukama v bok a zúčastnilo se jej 17 kongenitálně nevidomých, 17 zdravých a 17 zdravých účastníků, kteří prováděli test se zavřenými očima. Zdraví jedinci předvedli výrazně lepší

balanci než nevidomí a zdraví se zavřenýma očima. U nevidomých jedinců a zdravých osob se zavřenýma očima nebyl pozorován významný rozdíl.

Haibach a kol. (2011) pro výzkum statické balance využili čtyř skupin participantů – kongenitálně nevidomých, osob se sníženým zrakem, zdravých a zdravých se zavřenýma očima. Každá skupina byla složena z 11 účastníků. K testování byla použita silová plošina a participantů byli podrobena čtyřem balančním situacím. V první situaci měly osoby za úkol co nejvíce flektovat trup ohybem v kyčlích a rotovat tělem dokola po kruhové ose za účelem získat maximální hodnotu hranice stability. Při druhém úkolu stály osoby na plošině v klidném postoji, ve třetí situaci byly testovány v tandemovém postoji a pro poslední podmínku dostaly instrukci stát na jedné dolní končetině. Naměřené hodnoty ukazují, že nevidomí účastníci se sníženou zrakovou schopností mají mnohem menší hranice stability než obě skupiny vidomých. Během ostatních podmínek vykazovali nevidomí a osoby s poškozeným zrakem podstatně více kompenzačních pohybů nutných pro dosažení balance, což indikuje sníženou stabilitu stoje. Nejmenší množství kompenzačních pohybů potřebovali zdraví jedinci s očima otevřenýma, dále pak zdraví s očima zavřenýma, osoby se sníženým zrakem a nakonec nevidomí.

Tyto výsledky jsou v rozporu s předchozími dvěma uvedenými studiemi, které udávají, že nevidomí dosáhli stejných hodnot jako zdraví se zavřenýma očima.

Schwesig a kol. (2011) se zaměřili na testování 50 nevidomých s kongenitální získanou slepotou a jejich porovnání s 50 vidomými jedinci. Autoři předpokládali, že kompenzace u lidí se získanou slepotou je velmi nedostatečná k zajištění balance. Výsledky této studie napovídají, že jedinci, kteří získali svůj handicap v průběhu života, mají menší stabilitu s očima otevřenýma, ale s očima zavřenýma jsou jejich balanční schopnosti téměř shodné jako u vidomých. Kongenitálně nevidomí mají lepší stabilitu než kontrolní skupina vidomých se zavřenýma očima. Při testování s očima otevřenýma měly obě skupiny stejnou úroveň posturální stability. Kongenitálně nevidomí prokázali lepší stabilitu než jedinci se získanou slepotou.

Výzkum tedy poukazuje na to, že zrakové poškození má vliv na posturální kontrolu především u osob se získanou slepotou a že vestibulární a somatosenzorický aparát kompenzuje ztrátu zraku lépe u kongenitálně nevidomých (Schwesig a kol., 2011).

Totožně jako Schwesig a kol. (2011) taktéž Juodzbalienė, Muckus (2006) pozorovali, že nevidomí jedinci dosáhli při testování stability lepších výsledků než zdraví s vyloučeným zrakovým vstupem, nerozlišili však jedince s kongenitální a získanou slepotou.

Giagazoglou a kol. (2009) vycházeli ze studie (Horvat a kol., 2004), která uvádí, že jedinci se zrakovým postižením mají často menší svalovou sílu než zdraví. Autoři práce předpokládali, že snížená svalová síla u nevidomých může být odpovědná za jejich sníženou schopnost rychle generovat dostatečné množství síly pro kompenzaci tělesné nerovnováhy (Horvat a kol., 2004). Ve své práci se tedy Giagazoglou a kol. (2009) zaměřili nejen na hodnocení statické balanční schopnosti, ale porovnávali také izokinetickou a izometrickou svalovou sílu. Studie se zúčastnilo 10 nevidomých a 10 zdravých žen. Pro měření balance byla použita stabilometrická plošina, na které ženy prováděly tři úkoly – klidný stoj, tandemový stoj a stoj na jedné dolní končetině. Směrodatná odchylka COP výchylek v AP aML směru byla snímána pro každou nohu zvlášť, z čehož bylo následně vygenerováno celkové COP.

Ve studii nebyly nalezeny žádné rozdíly v izometrické a koncentrické síle měřených svalových skupin. Statisticky významný rozdíl byl zjištěn pouze v excentrické síle svalů kolene, která byla větší u vidomých žen. Důležitou informací pramenící z této studie je, že nebyla nalezena souvislost mezi velikostí výchylek COP a svalovou silou extenzorů a flexorů kolenních a hlezenních kloubů mezi skupinami. To poukazuje na skutečnost, že při udržování rovnováhy je zrak důležitější modalitou než svalová síla dolních končetin (Giagazoglou a kol., 2009).

Z poznatků dále vyplynulo, že nevidomí jedinci se v anteroposteriorním i mediolaterálním směru potýkali s většími COP výchylkami než vidomí. Vidomí byli méně stabilní v obou směrech, pokud měli oči zavřené, oproti stavu, kdy měli oči otevřené. Nevidomí jedinci v této studii prokázali horší balanční kontrolu v anteroposteriorním směru v porovnání se zdravými a zdravými se zavřenýma očima. V ML směru však byly hodnoty nevidomých a vidomých se zavřenýma očima srovnatelné (Giagazoglou a kol., 2009).

Toto zjištění může být vysvětleno faktem, že laterální pohyb těla je snadněji detekován propioceptivními receptory a méně zrakem či vestibulárním ústrojím (Day a kol., 1993). Je tedy možné, že momentální absence zraku u vidomých vede k výraznějšímu snížení rovnováhy v mediolaterálním směru než u nevidomých. Předpokládá se, že vidomí nemají možnost vyvinout ideální strategii založenou na nevizuálním vstupu (Giagazoglou a kol., 2009).

6.2 Hodnocení dynamické balance u vidomých a nevidomých jedinců

Ve studii Schmid a kol. (2007), která již byla zmíněna výše v kapitole o statické bilanci, byla porovnávána taktéž dynamická balanční schopnost u nevidomých a vidomých jedinců. Subjekty byly testovány v řízení mobilní platformy periodicky se překlápějící v sagitální rovině. Stabilita byla hodnocena pomocí výpočtu pohybů hlavy, kyčle a hlezna. Z naměřených hodnot následně vyplynulo, že nevidomí efektivně stabilizovat hlavu v prostoru, jak je tomu u zdravých subjektů. Hlava u nevidomých, stejně tak jako u zdravých se zavázanýma očima následovala nebo dokonce přestřelovala vychýlení pohyblivé plošiny. U nevidomých byly však tyto oscilace větší než u druhých zmíněných. Další značný rozdíl byl v tom, že nevidomí nezávisle na otevřených či zavřených očích vykazovali silnější vztah mezi pohybem hlavy, kyčelních, hlezenních kloubů a plošinou. Nevidomí následovali plošinu celým tělem včetně hlavy, kdežto zdraví se zavřenýma očima pouze hlavou. To by mohlo znamenat, že nevidomí nevyužívají všechny stupně volnosti. Toto se shoduje s tvrzením Nardone a kol. (2000), který ve své studii popsal obdobné výsledky.

Buchanan, Horak (2002), Corna a kol. (2003) považují toto silnější spojení mezi hlavou a pohybem plošiny u nevidomých za možnou strategii pro zvýšení stimulace vestibulárního systému a získání silnější informace pro balanční kontrolu. Když se hlava a trup pohybují v jednom bloku, vestibulární ústrojí může pravděpodobně dostat spolehlivější odhad o pohybu COM (Schieppati a kol., 2002).

Stejná studie se zaměřila také na zhodnocení výsledků mezi skupinou 13 kongenitálně nevidomých a 12 se získanou slepotou. Data získaná při balančním úkolu byla u těchto podskupin srovnatelná. Tato studie tedy nepotvrdila domněnku, že kongenitálně nevidomí budou díky dlouhodobé plasticitě předvádět lepší dynamickou bilanci (Schmid a kol., 2007).

Haibach a kol. (2011) testovali bilanci u adolescentů se zrakovým postižením a bez něj. Do výzkumu bylo zahrnuto 44 dospívajících. Adolescenti se zrakovým postižením byli rozděleni na skupinu nevidomých a skupinu se sníženou zrakovou ostrostí. Vidomí jedinci byli náhodně rozděleni do dvou skupin – vidomých a vidomých se zavázanýma očima. Participanti prováděli na plošině dva úkoly. Výchozí pozice prvního úkolu byla stoj na plošině nakloněné na jednu stranu, dotýkající se podlahy. Na zvukový signál museli jedinci nastavit plošinu co nejrychleji do nulové pozice, tedy paralelně k podlaze, a udržet ji v této poloze 30 sekund. Při tomto úkolu byl měřen čas potřebný k přesunu plošiny do nulové pozice. Druhý test, který trval taktéž 30 sekund, začínali participanti z nulové pozice a po signálu měli za úkol naklánět plošinu ze strany na stranu tak rychle, jak to bylo možné.

Z tohoto testu byl analyzován počet laterálních výchylek plošiny a maximální a minimální úhlové exkurze. Pro splnění prvního úkolu nevidomí a osoby se zhoršeným zrakem potřebovali podstatně více času pro nastavení plošiny do určené pozice než vidomé subjekty. Zdraví se zavřenými očima byli pomalejší než zdraví s očima otevřenými. Nebyl nalezen značný rozdíl mezi nevidomými a jedinci se zhoršeným zrakem. Z výsledků druhého experimentu je patrné, že vidomí a vidomí se zavřenými očima provedli výrazně větší pohyby v mediolaterálním směru ve srovnání s nevidomými a jedinci se zhoršenou zrakovou schopností.

V roce 2007 Blomqvist a Rehn provedli testování DOLS (Dynamic One Leg Stance) u osob se ztrátou zraku za účelem zhodnotit rozdíly mezi krátkodobou a dlouhodobou adaptací na ztrátu zraku. Do své práce zahrnuli 12 nevidomých a 12 zdravých jedinců, kteří byli nejdříve testováni s očima otevřenými, poté plnili úkoly s očima zavřenými. Testování DOLS zahrnovalo 5 úrovní, jestliže subjekt splnil první úroveň, posouval se na další náročnější atd. Nevidomí dosáhli nižšího skóre v porovnání s vidomými a zdraví se zavřenými očima měli horší výsledek než zdraví s očima otevřenými. Mezi skupinou nevidomých a zdravých provádějících úkoly bez zrakové informace nebyly nalezeny značné rozdíly. Výhodou testování DOLS představuje snadné provedení dynamického úkolu, který ovlivní všechny sensorické systémy posturální kontroly. Je však nutno poznamenat, že v souvislosti s testováním zdravých jedinců se tento test v současné formě nejeví jako vhodný, jelikož pro tyto osoby je příliš snadné dosáhnout maximálního počtu bodů (Blomqvist, Rehn, 2007).

SHRNUTÍ

Ze všech uvedených studií je vidno, že statická balance u vidomých jedinců se snížila, když došlo k vyřazení zrakové informace. Tento poznatek dále potvrzují výzkumy (Schieppati a kol., 2002; Sforza a kol., 2000; Friedrich a kol., 2008; Rougier, 2003), kdy momentální ztráta zraku u vidomých vždy ústila ve zvýšené kolísání těla. U ostatních skupin však při statických balančních experimentech nacházíme v literatuře rozporuplné výsledky. Podobně se s variabilními výsledky a především rozdílnými metodami testování setkáváme i u testů dynamické balance, které by mohly být důvodem rozdílných poznatků.

Jelikož všechny studie zahrnuly do testování malé množství účastníků, lze považovat validitu jejich výsledků za diskutabilní. V literatuře zatím není mnoho výzkumů

porovnávacích stabilitu kongenitálně nevidomých s jedinci se slepotou získanou, což může být podnětem pro další studie. Navíc se setkáváme s rozdílnou definicí brzké a pozdní slepoty, kdy někteří autoři uvádí jako brzkou slepotu ztrátu zraku v rozmezí 2–3 let od narození, zatímco jiní stejné rozmezí klasifikují jako pozdní. Kortikální plasticita je, jak se zdá, závislá na věku jedince, ve kterém dojde ke ztrátě zraku, a na délce trvání slepoty (Cattaneo a kol., 2011). Z tohoto důvodu by měl být při testování jedinců se získanou slepotou kladen důraz na separaci skupin se stejným obdobím nástupu slepoty a stejnou délkou jejího trvání, protože kvůli rozdílům ve věku a délce trvání postižení jedinců mohou být výsledky testů (nejen s ohledem na rozsah neuroplastických změn) zavádějící.

6.3 Změny postury u nevidomých

Řada autorů se ztotožňuje s tím, že kongenitálně nevidomí trpí posturálními změnami z důvodu neexistence zpětné zrakové vazby při vývoji. Kvůli ztrátě zpětnovazební kontroly nezískají ideální představu o adekvátní postuře a mají problémy s uvědoměním vlastního těla (Tavares a kol., 2014, Wiener a kol., 2010, Hashemi a kol., 2012). Khalili a kol. (2012) uvádí, že tělesnou posturu ovlivňuje nejenom slepota kongenitální, ale také získaná. Z důvodu využívání jiných balančních strategií se tělo přizpůsobuje novým pozicím a pohyby a držení těla nevidomých tak vychází z jiného posturálního nastavení.

Catanzariti a kol. (2001), Grivas a kol. (2006) a Khalili a kol. (2012) se shodují ve tvrzení, že prevalence skoliózy u nevidomé populace značně převyšuje výskyt této deformity u vidomých. Toto tvrzení je ovšem v rozporu s poznatky Karskeho (2010), který ve své studii píše, že rozdílný způsob chůze nevidomých působí jako ochranný faktor proti vzniku skoliózy.

Khalili a kol. (2012), kteří porovnali výskyt muskuloskeletálních deformit u 20 vidomých a 20 nevidomých dívek udávají, že 30 % zúčastněných nemělo žádnou ze zkoumaných strukturálních poruch, 20 % nevidomých mělo alespoň jednu nebo více deformit a 5 % dívek ze zdravé skupiny mělo alespoň jednu nebo více deformit. Nejčastější poruchou pozorovanou v tomto výzkumu byla zvětšená kyfóza hrudní páteře u nevidomých dívek a bederní lordóza u vidomých.

6.4 Vliv fyzické aktivity na posturální stabilitu nevidomých

Cílem studie Jazi a kol. (2012) bylo zjistit, zda má balanční trénink efekt na dynamickou stabilitu u zrakově postižených dětí. Do studie bylo zapojeno 19 dětí se zrakovým postižením, náhodně rozdělených na tréninkovou a kontrolní skupinu. Tréninková skupina se zúčastnila osmitýdenního balančního tréninku, zatímco kontrolní skupina neprovozovala žádný výcvik. Získané výsledky byly porovnány s daty naměřenými před začátkem výzkumu a ukázaly, že trénink rovnováhy značně zvýšil schopnost dynamické balance těchto jedinců.

Aydog a kol. (2006) porovnávali balanční schopnosti 20 nevidomých atletů hrajících goal-ball oproti 20 nevidomým se sedavým způsobem života a 20 zdravým jedincům. K hodnocení balance a neuromuskulární kontroly bylo ve studii použito balanční zařízení BSS (Biodex stability system). Statisticky významný rozdíl byl pozorován pouze v mediolaterálním směru, kdy byli trénující lepší než nevidomí neprovozující aktivitu. Vysvětlením může být samotný charakter hry, jelikož hráči se při hře pohybují především do stran, což by mohlo vysvětlit pozorovaný vyšší index stability v tomto směru u atletů.

Vliv fyzické aktivity na motorické dovednosti posuzovali taktéž Hashemi a kol. (2012). Předmětem jejich studie bylo zjistit, do jaké míry je gymnastika efektivní pro zlepšení motorických dovedností u 20 zrakově postižených dívek ve věku 7–10 let. Účastnice se po dobu 3 měsíců věnovaly gymnastickému tréninku zaměřeného na rozvoj flexibility, dynamické a statické balance, koordinace, síly a výdrže. Po ukončení tréninku bylo prokázáno viditelné zlepšení ve všech vyjmenovaných odvětvích motorických činností.

Ze studií zabývajících se vlivem fyzické aktivity u nevidomých osob tedy vyplývá, že vhodná fyzická aktivita posiluje schopnost efektivně provádět aktivity denního života a zlepšuje orientaci, stabilitu a mobilitu (Paravlic a kol., 2015, Miszko a kol., 2004, Dig-o, 2011). Caliskan a kol. (2011) a Colak a kol. (2004) taktéž uvedli, že sportovní aktivity a různé pohybové dovednosti přispívají ke zlepšení kondice a motorických schopností u nevidomých a mohou předcházet či korigovat posturální změny související se slepotou. Sportovní činnost dále podporuje samostatnost a zlepšuje uvědomování si vlastního těla. S ohledem na významnost posturální stability v každodenním životě nevidomých je tedy žádoucí podporovat nová zařízení a tím vytvářet možnosti zapojení se do sportovních aktivit pro tyto skupiny občanů.

6.5 Vliv období nástupu slepoty na neuroplasticitu

Z poznatků uvedených v teoretické části vyplývá, že slepota je doprovázena značnou a významnou reorganizací mozkových struktur. Tyto změny objevující se na různých úrovních nervového systému jsou jak anatomického, tak funkčního rázu a probíhají díky neuroplasticitě CNS.

Hasson a kol. (2016) a Ricciardi a kol. (2014) shodně uvádí, že zraková informace není zásadní pro vývoj anatomické struktury a dosažení funkčnosti occipitálních oblastí. Tito autoři předpokládají, že tomu tak je díky určitému geneticky determinovanému scénáři vývoje mozku, který je podobný pro vidomé i nevidomé. Schopnost plasticity a adaptace CNS následně umožňuje rozsáhlou anatomickou přestavbu a funkční reorganizaci těchto oblastí, a ty se tedy nestanou němé, ale jsou u nevidomých sekundárně přidatně uzpůsobeny ke zpracování podnětů ze zbývajících smyslů. Toto tvrzení je taktéž v souladu s poznatkami Hannagan a kol. (2015), Mahon, Caramazza (2011) a Reich a kol. (2011).

Otázkou je, do jaké míry je doba nástupu slepoty zásadní pro rozsah neuroplastických změn a jak rozsah těchto změn ovlivní chování jedinců se získanou slepotou. Výzkumy využívající PET, fMRI a TMS souhlasně indikují, že mozková citlivost ke krosmodální plasticitě se po období puberty značně snižuje (Cattaneo a kol., 2011). Cohen a kol. (1999) ukázali, že primární zrakový kortex se zapojuje při čtení Braillova písma u brzké, ale ne u pozdní slepoty.

Na tuto studii navázali Sadato a kol. (2002) a podobně zjistili, že taktilní diskriminace aktivuje zrakový kortex u jedinců, u kterých nastala slepota před 16. rokem života, kdežto tato aktivita se neprojevila u těch, u kterých došlo k oslepnutí po tomto roce. Proto se předpokládá, že nejvýznamnější časové období pro projev krosmodální reorganizace mozku je věk přibližně do 16 let (Cattaneo a kol., 2011).

Pascual-Leone a kol. (2001) tvrdí, že krosmodální plasticita se objevuje i u vidomých, a to již při krátké časově omezené zrakové deprivaci. Z tohoto tvrzení vychází Cattaneo a kol. (2011) a uvádí, že k plastickým změnám musí tedy logicky docházet i u získané slepoty, i když jsou tyto změny méně robustní než ty pozorované u slepoty kongenitální. Kortikální reorganizace u pozdní slepoty se však často objevuje beze změn odrážejících se v chování.

Voss a kol. (2006, 2008) se tímto zabývali se ve svých studiích, kdy testovali sluchové úkoly u pozdně nevidomých a vidomých. Přestože u těchto nevidomých byla nalezena aktivita v okcipitálním kortexu, v porovnání s vidomými tito jedinci neprokázali žádné zlepšené schopnosti při řešení sluchových úkolů.

Collignon a kol. (2013), Stevens, Weaver (2009) se shodují, že přestože bylo při zpracování sluchových podnětů nalezeno masivní zapojení okcipitálních oblastí u kongenitálně nevidomých i u jedinců se získanou slepotou, tak u každé ze skupin byla pozorována aktivita v jiných oblastech, což opět podporuje myšlenku existence kritického období krosmodální plasticity.

Při testování sluchového úkolu, kdy měli nevidomí a vidomí porovnávat výšku tónů, Collignon (2013) pozoroval, že vidomí a jedinci s pozdní slepotou byli lepší než kongenitálně nevidomí, nicméně rozdíl mezi osobami s pozdní získanou slepotou a vidomými nebyl nalezen. Tyto výsledky jsou v rozporu s testováním Voss a kol. (2014), kteří uvádí, že při rozlišování výšky tónů byli lepší jedinci s kongenitální slepotou než ti s pozdní získanou slepotou a vidomí, mezi nimiž nebyl rozdíl.

Cappagli, Baud-Bovy (2014) při výzkumu týkajícího se prostorové lokalizace zvuku nezjistili žádné rozdíly mezi kongenitálně nevidomými, jedinci se získanou slepotou a zdravými, což koresponduje s výsledky Collignon (2013). Při druhém úkolu, kdy museli určit vzájemnou polohu dvou zvuků, byli kongenitálně nevidomí horší než účastníci vidomí a se získanou slepotou. Mezi vidomými a osobami se získanou slepotou nebyl rozdíl (Cappagli, Baud-Bovy, 2014).

Stejně jako v případě sluchových schopností nejsou experimentální výsledky vždy konzistentní v tom, zda nevidomí vyvinou lepší hmatovou schopnost než vidící.

Voss a kol. (2014) provedli testování prostorového hmatového vnímání, k čemuž se nejčastěji využívá tzv. Texture discrimination task, kdy osoby přejedou prstem po předmětu a mají za úkol rozeznat, zda má předmět stejnou texturu po celé délce. Dále se zaměřili na tzv. Grating orientation task, při kterém testovaný položí špičku prstu na mřížku a určuje její orientaci. Test ukázal, že jedinci s brzkou i pozdní slepotou měli v Texture discrimination task lepší výsledky než vidomí. Stejných výsledků dosáhli ve svém experimentu i Alary a kol. (2009, s. 34). Při Grating orientation task dosáhli lepších výsledků osoby s brzkým nástupem slepoty v porovnání s vidomými, ale osoby s pozdní získanou slepotou byly horší (Voss a kol., 2014).

SHRNUTÍ

Z uvedených výzkumů je patrné, že se v literatuře setkáváme s rozdílnými informacemi o projevech kompenzační neuroplasticity u nevidomých souvisejících s využitím

jejich nepoškozených smyslů. Alary a kol. (2009) poukazují na variabilitu jedinců a typů úkolů používaných v experimentech jako na možnou příčinu zodpovědnou za odlišnosti v literatuře (Cattaneo a kol., 2011).

6.6 Testování haptické orientace v blízkém prostoru

Toto testování je prováděno několika způsoby. Při tzv. Pointing task se subjekty snaží nastavit ruku do stejné pozice a dosáhnout k cíli, který si předtím proprioceptivně zapamatovaly. Tento test provedli Gaunet a Rossetti (2006) a zařadili do něj jedince s kongenitální slepotou, s pozdní získanou slepotou a zdravé jedince, kteří prováděli úkol se zavázanýma očima. Experimentátor nejdříve přesunul levou ruku účastníků ze startovací pozice na stole do pozice konečné, kdy se ruka dotkla cílové podložky. Poté se levá ruka vrátila zpět na stůl a subjekty měly za úkol dosáhnout stejné cílové pozice pravou rukou. Takto proběhlo šest pokusů a pohyb byl prováděn od nejbližší cílové pozice k nejbližší. Obě skupiny nevidomých dosáhly v této úloze lepších výsledků než zdraví.

Cappagli, Baud-Bovy (2014) při provedení výše uvedeného úkolu našli výsledky odlišné – osoby se získanou slepotou a zdravé se zavázanýma očima byly lepší než jedinci se slepotou kongenitální. Rozdílné výsledky těchto studií mohou být způsobeny variabilitou testovaných jedinců s pozdní slepotou.

Pasqualotto a Newell (2007) provedli tzv. Spatial rotation task. Testované osoby si musely zapamatovat pozice sedmi neznámých předmětů, které mohly osahat oběma rukama po dobu 60 sekund. Po průzkumu byla pozice jednoho předmětu změněna o 45° a účastníci určovali, u kterého objektu ke změně došlo. Výsledky ukázaly, že kongenitálně nevidomí dosáhli horších výsledků než jedinci se získanou slepotou a zdraví se zavřenýma očima.

Obměna tohoto testu spočívala ve změně pozice pozorovatele. Po ohmatání předmětu došlo tedy tentokrát k posunu účastníků, taktéž o 45°. Tato rotace omezuje použití uložených vzpomínek o poloze a vyžaduje jejich aktualizaci, čímž se úkol stává náročnější. Na rozdíl od kongenitálně nevidomých, zdraví se zavázanýma očima i osoby se získanou pozdní slepotou byli schopni kompenzovat změnu pozorovatelské pozice, nikoli však kongenitálně nevidomí (Pasqualotto, Newell, 2007).

Dalším způsobem testování je tzv. Parallel – setting task, ve kterém mají účastníci za úkol umístit mřížku do stejné orientace, v jaké se nacházela předchozí, kterou si ohmatali. Předpokládá se, že tento test je založen především na schopnosti allocentrického zpracování (Cattaneo a kol., 2011). Tímto se ve své studii zabývali Postma a kol. (2008) a taktéž do ní

zapojili obě skupiny nevidomých a zdravé osoby. Test byl nejprve proveden bez časové prodlevy po prozkoumání předmětu. Účastníci museli tedy bezprostředně po prozkoumání předmětu nastavit druhou mřížku stejným směrem. Při této úloze všechny skupiny zapojených dosáhli podobných výsledků a autoři předpokládají, že využily především egocentrickou orientaci.

Test byl posléze proveden znovu, tentokrát s desetisekundovým zpožděním po ohmatání předmětu. V tomto případě byli zdraví se zavázanýma očima a jedinci s pozdní slepotou přesnější než jedinci s brzkou slepotou, jejichž výkon nebyl ovlivněn. Tento fakt může být vysvětlen tím, že u zdravých jedinců a osob se získanou slepotou došlo ke změně z egocentrického na allocentrický model reprezentace prostoru (Postma a kol., 2008).

Uvedené testy napovídají tomu, že osoby s pozdním nástupem slepoty jsou lépe adaptovány na řešení proprioceptivních a taktilních úkolů, co se týče orientace v blízkém prostoru. Zraková zkušenost je tedy zásadní pro haptickou prostorovou orientaci.

ZÁVĚR

Navzdory tomu, že vědci již léta testují bilanci a schopnost udržování posturální stability u nevidomých jedinců, stále se nepodařilo dojít ke shodě v otázce, zda mohou nevidomí jedinci díky působení kompenzačních neuroplastických mechanismů dosáhnout lepší posturální stability a balančních schopností ve srovnání se zdravými. Cílem teoretické části práce bylo poskytnout informace o posturální kontrole, posturální stabilitě, sensorické složce zajišťující posturální kontrolu, posturálních změnách u nevidomých osob, o schopnosti prostorové orientace těchto jedinců a o neuroplasticitě a funkční a anatomické reorganizaci mozkových struktur.

Diskuze se pak zabývala srovnáním jednotlivých výzkumů zaměřujících se na testování statické a dynamické balance kongenitálně nevidomých, jedinců se získanou slepotou, zdravých a zdravých se zavřenými očima. Domněnka, že posturální stabilita zdravých jedinců se sníží, pokud dojde k vyřazení zrakového vjemu oproti stavu s očima otevřenými se potvrdila a výsledky studií se v tomto bodě shodují. Při porovnání ostatních skupin mezi sebou se však jednotlivé poznatky autorů od sebe liší. Neshody mohou být přičítány nedostatečnému množství participantů zahrnutých do studií a značnou variabilitou jak testovaných úkolů, tak i účastníků samotných.

Dalším předmětem diskuze bylo uvedení a vzájemná konfrontace několika výzkumů zabývajících se vlivem časového období nástupu slepoty na projev neuroplastických změn a to, jaký dopad mají tyto neuroplastické změny na chování nevidomých jedinců. Tyto studie se zabývaly především testováním hmatových a sluchových úkolů. Z výsledků uvedených studií vyplývá, že ačkoliv u kongenitálně nevidomých i u osob se získanou slepotou dochází k anatomické přestavbě mozkových struktur, tyto neuroplastické změny nemusí vést ke zlepšené funkci těchto oblastí, a tudíž se v chování nemusí projevit. Zatímco v některých testech si vedli lépe jedinci s vrozenou slepotou, u jiných se ukázalo, že zde hraje důležitou roli předchozí zraková zkušenost, což se týká především úkolů na prostorovou orientaci.

Nelze tedy jednoznačně určit, jak velké kompenzační změny s sebou ztráta zraku nese, a zejména to, jak se funkčně projeví. Je nutno brát v potaz taktéž variabilitu jednotlivých testů a vybraných účastníků a jejich individuální schopnosti, což může mít dopad na jednotlivé výsledky.

Uvedené poznatky dále potvrdily informaci, že sportovní aktivita se může výrazně podílet na zlepšení posturální stability nevidomých osob. Z tohoto důvodu by bylo dobré zajistit již od dětství nevidomým osobám optimální možnosti k provozování sportovních

aktivit za účelem zlepšit balanční schopnosti a předejít či korigovat určité posturální změny, které se slepotou souvisí.

Pro budoucí výzkumy zaměřené na posturální stabilitu a vliv neuroplasticity na zbývající nepoškozené smyslové modality by bylo přínosem, kdyby došlo ke sjednocení testovacích podmínek a zahrnutí většího počtu participantů. Dále by měla být věnována pozornost zejména výběru a správnému rozdělení nevidomých účastníků podle doby nástupu a délky trvání zrakového postižení.

REFERENČNÍ SEZNAM

ALARY, Flamine, DUQUETTE, Marco, GOLDSTEIN, Rachel, et al. Tactile acuity in the blind: A closer look reveals superiority over the sighted in some but not all cutaneous task. *Neuropsychologia* [online]. 2009, vol. 47, no. 10, pp. 2037–2043, August 2009, [cit. 2016-04-02]. ISSN: 0028-3932

Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002839320900133X>

AMEDI, Amir, RAZ, Noa, PIANKA, Pazit, et al. Early 'visual' cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind. *Nature Neuroscience* [online]. 2003, vol. 6, no. 7, pp. 758, July 2003, [cit. 2016-03-18]. ISSN: 10976256. Dostupné z:

<http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=a72212fa-3abf-4be3-ae40-dd7a043e7b11%40sessionmgr107&vid=7&hid=114>

AYDOG, Ece, BAL, Ayda, AYDOG, T. Sedat, et al. Dynamic Postural Stability in Blind Athletes Using The Biodex Stability System. *International Journal of Sports Medicine* [online]. 2006, vol. 27, no. 5, pp. 415–418, May 2006, [cit. 2016-03-19]. ISSN: 01724622.

Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10067-005-0074-4#page-1>

BACH-Y-RITA, Paul, KERCEL, W. Stephen. Sensory substitution and the human – machine interface. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2003, vol. 7, no. 12, pp. 541–546, December 2003, [cit. 2016-03-12]. ISSN 13646613.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364661303002900>

BLOMQUIST, Sven, REHN, Börje. Validity and reliability of the Dynamic One Leg Stance (DOLS) in people with vision loss. *Advances In Physiotherapy* [online]. 2007, vol. 9, no. 3, pp. 129–135, September 2007, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 14038196.

Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14038190701395671>

BUCHANAN, J. John, HORAK, B. Fay, Vestibular loss disrupts control of head and trunk on a sinusoidally moving platform. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium & Orientation*. [online]. 2002, vol. 11, no. 6, p. 371, November 2002, [cit. 2016-02-27]. ISSN: 09574271. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=a59c3bfc-c3ef-4ff5-b248-6834c10c5374%40sessionmgr120&vid=188&hid=114>

CALISKAN, Erkan, PEHLIVAN, Aysel, ERZEYBEK, S. Mustafa, et al. Body mass index and percent body fat in goalball and movement education in male and female children with severe visual impairment. *Neurology, Psychiatry and Brain Research* [online]. 2011, vol. 17, no. 2, pp. 39–41, January 2011, [cit. 2016-03-10]. ISSN: 0941-9500. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0941950011000108?>

CAPPAGLI, Giulia, BAUD –BOVY, Gabriel, COCCHI, Elena, et al. Audio and proprioceptive space perception in sighted and visually impaired children. *Robotics Brain and Cognitive Sciences Department, Istituto Italiano di Tecnologia* [online]. June 2014, [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/271472998_Audio_and_proprioceptive_space_perception_in_sighted_and_visually_impaired_children

CAPPAGLI, Giulia, COCCHI, Elena, GORI, Monica. Auditory and proprioceptive spatial impairments in blind children and adults. *Developmental Science* [online]. 2015, pp. 1–12, November 2015, [cit. 2016-04-18]. ISSN: 1363-755X. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/desc.12374/abstract>

CATANZARITI, F. Jean, SALOMEZ, Elisabeth, BRUANDET, M. Jean, et al. Visual deficiency and scoliosis. *Spine* [online]. 2001, vol. 26, no. 1, pp. 48–52, January 2001, [cit. 2016-03-15]. ISSN: 0362-2436. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/12180043_Visual_Deficiency_and_Scoliosis

CATTANEO, Zaira, VECCHI, Tomas. *Blind vision: The neuroscience of visual impairment*. Cambridge, MA, US : MIT Press, 2011. ISBN: 978-0-262-01503-5.

CATTANEO, Zaira, VECCHI, Tomaso, CORNOLDI, Cesare, et al. Imagery and spatial processes in blindness and visual impairment. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* [online]. 2008 vol. 32, no. 8, pp. 1346–1360, October 2008, [cit. 2016-04-15]. ISSN: 0149-7634. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149763408000638>.

COHEN, G. Leonardo, WEEKS, A. Robert, SADATO, Norihiro, et al. Period of susceptibility for cross-modal plasticity in the blind. *Annals Of Neurology* [online]. 1999, vol. 45, no. 4, pp. 451–460, April 1999, [cit. 2016-03-10]. ISSN: 0364-5134. Dostupné z: <http://www.nips.ac.jp/fmritms/pdf/1999/Cohen1999AnnNeurol.pdf>

ÇOLAK, Tuncay, BAMAC, Belgin, AYDIN, Mensure, et al. Physical fitness levels of blind and visually impaired goalball team players. *Isokinetics & Exercise Science* [online]. 2004, vol. 12, no. 4, pp. 247–252, December 2004, [cit. 2016-03-15]. ISSN: 09593020. Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Meric_Berguen/publication/228754483_Physical_fitness_levels_of_blind_and_visually_impaired_goalball_team_players/links/09e4150754e070a8ee000000.pdf

COLLIGNON, Olivier, DOLMAR, Giulia, ALBOUY, Genevieve, et al. Impact of blindness onset on the functional organization and the connectivity of the occipital cortex. *Brain A Journal of Neurology* [online]. 2013, vol. 136, no. 9, pp. 2769–2783, September 2013, [cit. 2016-04-16]. ISSN: 0006-8950. Dostupné z: <http://brain.oxfordjournals.org/content/136/9/2769>

CORNA, Stefano, NARDONE, Antonio, PRESTINARI, Alessandro, et al. Comparison of Cawthorne-Cooksey exercises and sinusoidal support surface translations to improve balance in patients with unilateral vestibular deficit. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 2003, vol. 84, pp. 1173–1184, January 2003, [cit. 2016-04-03]. ISSN: 0003-9993. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003999303001308?>

DAY, L. Brian, et al. Effect of vision and stance width on human body motion when standing: implications for afferent control of lateral sway. *The Journal Of Physiology* [online]. 1993, vol. 469, no. neuedeno, pp. 479–499, September 1993, [cit. 2016-04-15]. ISSN: 0022-3751. Dostupné z: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1113/jphysiol.1993.sp019824/pdf>

DICKSTEIN, Ruth. Stance stability with unilateral and bilateral light touch of an external stationary object. *Somatosensory & Motor Research* [online]. 2005, vol. 22, no. 4, pp. 319–325, December 2005, [cit. 2016-03-10]. ISSN: 08990220.

Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=a59c3bfc-c3ef-4ff5-b248-6834c10c5374%40sessionmgr120&vid=171&hid=114>

DIG-O, F. Jovelyn. Aerobic Exercises: A Corrective Measure to Postural Defects of Children with Visual Impairment. *International Journal for Cross-Disciplinary Subjects in Education (IJCDSE)* [online]. 2011, vol. 2, no. 4, pp. 534–539, December 2011, [cit. 2016-03-20]. ISSN 2042-6364. Dostupné z: <http://infonomics-society.ie/wp-content/uploads/ijcdse/published-papers/volume-2-2011/Aerobic-Exercises-A-Corrective-Measure-to-Postural-Defects-of-Children.pdf>

EASTON, D. Randolph, GREENE, J. Anthony, DIZIO, Paul, et al. Auditory cues for orientation and postural control in sighted and congenitally blind people. *Experimental Brain Research* [online]. 1998, vol. 118, no. 4, pp. 541-550, February 1998, [cit. 2016-03-02]. ISSN: 0014-4819. Dostupné z:

https://www.researchgate.net/profile/James_Lackner/publication/51302323_Auditory_cues_for_orientation_and_postural_control_in_sighted_and_congenitally_blind_people/links/00b7d517a9ce765379000000.pdf

ELBERT, Thomas, STERR, Annette, ROCKSTROH, Brigitte, et al. Expansion of the Tonotopic Area in the Auditory Cortex of the Blind. *The Journal of Neuroscience* [online]. 2002, vol. 22, no. 22, pp. 9941–9944, November 2002, [cit. 2016-03-18]. ISSN: 0270-6474.

Dostupné z: <http://www.jneurosci.org/content/22/22/9941.full>

FELLEMAN, D. J; VAN ESSEN, D. C. Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex. *Cerebral Cortex* [online]. 1991, vol. 1, no. 1, pp. 1–47, January 1991, [cit. 2016-03-05]. Jan. 1991. ISSN: 1047-3211. Dostupné z:

<http://cercor.oxfordjournals.org/content/1/1/1.1.short>

FORTIN, Madeleine, VOSS, Patrice, LORD, Catherine, et al. Wayfinding in the Blind: Larger Hippocampal Volume and Supranormal Spatial Navigation. *Brain* [online]. 2008, vol. 131, no. 11, pp. 2995-3005, November 2008, [cit. 2016-03-10]. ISSN: 0006-8950. Dostupné z: <http://brain.oxfordjournals.org/content/131/11/2995>

FRIEDRICH, Michaela, GREIN, Hans-Juergen, WICHER, Carola, et al. Influence of pathologic and simulated visual dysfunctions on the postural system. *Experimental Brain Research* [online]. 2008, vol. 186, no. 2, p. 305, April 2008, [cit. 2016-04-08]. ISSN: 00144819. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00221-007-1233-4>

GAUNET, Florence, ROSSETTI, Yves. Effects of visual deprivation on space representation: Immediate and delayed pointing toward memorised proprioceptive targets. *Perception* [online]. 2006, vol. 35, no. 1, pp. 107–124, 2006, [cit. 2016-04-19]. ISSN: 0301-0066. Dostupné z: <http://www1.up.univ-mrs.fr/gsite/Local/lpc/dir/gaunet/articles/Effects%20of%20visual%20deprivation%20on%20space%20representation.pdf>

GIAGAZOGLU, Paraskevi, AMIRIDIS, G. Ioannis, ZAFEIRIDIS, Andreas, et al. Static balance control and lower limb strength in blind and sighted women. *European Journal Of Applied Physiology* [online]. 2009, vol. 107, no. 5, pp. 571–579, November 2009, [cit. 2016-04-18]. ISSN: 14396319. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00421-009-1163-x>

GRAVELLE, C. Denise, LAUGHTON, A. Carrie, DHARUV, T. Neel, et al. Noise-enhanced balance control in older adults. *NeuroReport: For Rapid Communication of Neuroscience Research*. [online]. 2002, vol. 13, no. 15, pp. 1853–1856, October 2002, [cit. 2016-04-18]. ISSN: 0959-4965. Dostupné z: <http://www.bu.edu/abl/pdf/gravelle2002.pdf>

GRIVAS, B. Theodorus, SAVVIDOU, D. Olga, VASILADIS, Elias, et al. Prevalence of scoliosis in women with visual deficiency. *Studies In Health Technology And Informatics* [online]. 2006, vol. 123, pp. 52–56, 2006, [cit. 2016-03-15]. 2006. ISSN: 0926-9630. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9b0fa10d-a909-459f-9a36-05d6a26c733a%40sessionmgr198&vid=2&hid=114>

HAIBACH, Pamela, LIEBERMAN, Lauren, PRITCHETT, Jennifer. Balance in Adolescents with and without Visual Impairments. *Insight: Research & Practice in Visual Impairment & Blindness* [online]. 2011, vol. 4, no. 3, pp. 112–123, August 2011, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 2157037X. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=c9010c52-282b-4927-90fb-4ff60b2030cd%40sessionmgr198&vid=1&hid=114>

HÄKKINEN, Arja, HOLOPAINEN, Elina, KAUTIAINEN, Hannu, et al. Neuromuscular function and balance of prepubertal and pubertal blind and sighted boys. *Acta Paediatrica* [online]. 2006, vol. 95, no.10, pp. 1277-1283, October 2006, [cit. 2016-03-05]. ISSN: 08035253. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9b0fa10d-a909-459f-9a36-05d6a26c733a%40sessionmgr198&vid=94&hid=114>

HALLEMANS, Ann, BECCU, Sofie, VAN LOOCK, Kelly, et al. Visual deprivation leads to gait adaptations that are age- and context-specific: II. Kinematic parameters. *Gait & Posture* [online]. 2009, vol. 30, no. 3, pp. 307-311, October 2009, [cit.2016-04-10]. ISSN: 09666362. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19560925>

HANNAGAN, Thomas, AMEDI, Amir, COHEN, Laurent, et al. Opinion: Origins of the specialization for letters and numbers in ventral occipitotemporal cortex. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2015, vol. 19, no. 7, pp. 374–382, July 2015, [cit. 2016-03-15]. ISSN: 1364-6613. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364661315001187?>

HASHEMI, Masoumeh, DEHGHANI, Lida, SABOUNCHI, Reza, et al. Effect of Gymnastic Skills on Motor Capabilities of 7-10 Age Group Girls with Visually Impaired. *European Journal of Experimental Biology* [online]. 2012, vol. 2, no. 3, pp. 786–791, 2012, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 2248 –9215 Dostupné z: <http://pelagiaresearchlibrary.com/european-journal-of-experimental-biology/vol2-iss3/ejeb-2012-2-3-786-791.pdf>

HASSON, Uri, ANDRIC, Michael, ANTILGAN, Hicret, et al. Congenital blindness is associated with large-scale reorganization of anatomical networks. *NeuroImage* [online].

2016, vol. 128, pp.362–372, March 2016, [cit. 2016-04-18]. ISSN: 1053-8119. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1053811915011611>

HERSH Marion, JOHNSON, A. Michael. Assistive Technology for Visually Impaired and Blind People, Londýn, Springer 2010, pp. 742, ISBN: 9781846288678

HOFER, Sabine, FRAHM, Jens. Topography of the human corpus callosum revisited—Comprehensive fiber tractography using diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuroimage* [online]. 2006, vol. 32, no. 3, pp. 989–994, January 2006, [cit. 2016-04-16]. ISSN: 1053-8119. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811906006501>

HONEINE, Jean- Louis., SCHIEPPATI, Marco. Time-interval for integration of stabilizing haptic and visual information in subjects balancing under static and dynamic conditions. *Frontiers In Systems Neuroscience* [online]. 2014, vol. 8, no. 190, pp. 1–15, October 2014, [cit. 2016-03-25]. ISSN: 1662-5137. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4186340/>

HORAK, B. Fay. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age And Ageing* [online]. 2006, vol. 35, no. 2, pp. 7–11, September 2006, [cit. 2016]. ISSN: 0002-0729. Dostupné z: http://ageing.oxfordjournals.org/content/35/suppl_2/ii7.long

HORAK, B. Fay, KUO Arthur. Postural adaptation for altered environments, tasks and intentions. In: *Biomechanics and Neuronal Control of Posture and Movement*. New York: Springer, 2000; 267–81. ISBN: 978-1-4612-7415-5

HORAK, B. Fay. MACPHERSON, J. M. Postural orientation and equilibrium. In: Shepard J, Rowell L, *Handbook of physiology*, 12. Exercise: regulation and integration of multiple systems. New York, Oxford University, 1996: pp. 255-292, ISBN: 978-0195091748

HORAK, B. Fay, SHUPERT, L. Charlotte,; MIRKA, Alar. Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. *Neurobiology of Aging*. [online]. 1989, vol. 10, no. 6, pp. 727–738, November 1989, [cit. 2016-01-20]. ISSN: 0197-4580. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0197458089900109>

HORVAT, Michael, RAY, CHristopher, RAMSEY, K. Vincent. et al. Compensatory Analysis and Strategies for Balance in Individuals with Visual Impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness* [online]. 2003a, vol. 97, no. 11, pp. 695–703, November 2003a, [cit. 2016-02-28]. ISSN: 0145482X.

Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9b0fa10d-a909-459f-9a36-05d6a26c733a%40sessionmgr198&vid=5&hid=114>

HORVAT, Michael, RAY, Christopher, CROCE, Ron, et al. A comparison of isokinetic muscle strength and power in visually impaired and sighted individuals. *Isokinetics & Exercise Science* [online]. 2004, vol. 12, no. 3, pp. 179–183, September 2004, [cit. 2016-04-19]. ISSN: 09593020. Dostupné z:

<http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9b0fa10d-a909-459f-9a36-05d6a26c733a%40sessionmgr198&vid=8&hid=114>

HOTTING, Kirsten, RÖDER, Brigitte. Auditory and audito-tactile processing in congenitally blind humans. *Hearing research* [online]. 2009, vol. 258, no. 1–2, pp. 165–174, December 2009, [cit. 2016-]. ISSN: 0378-5955. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378595509001944>

HUNTER, C. Megan, HOFFMAN, A. Mark. Postural control: visual and cognitive manipulations. *Gait & Posture* [online]. 2001, vol. 13, no. 1, pp. 41–48, February 2001, [cit. 2016-03-01]. ISSN 09666362. Dostupné z:

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636200000898>

CHIBA, Ryosuke, TAKAKUSAKI, Kaoru, OTA, Jun, et al. Review article: Human upright posture control models based on multisensory inputs; in fast and slow dynamics. *Neuroscience Research*. [online]. 2016, vol. 104, no. Body representation in the brain, pp. 96–104, March 2016, [cit. 2016-04-18]. ISSN: 0168-0102.

Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168010215002928>

JACOBSON, P. Gary, NEWMAN, W. Craig, KARTUSH, M. Jack. *Handbook of balance function testing*. 1. vyd., San Diego, Calif.: 1997. ISBN 9781565939073.

JANURA, Miroslav, JANUROVÁ, Eva. Fyzikální základ biomechaniky. 1. vyd. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN: 978-80-244-1805-6.

JAZI, S. Davarpanah, PURRAJABI, Fatemah, MOVAHEDI, Ahmadreza, et al. Effect of Selected Balance Exercises on the Dynamic Balance of Children with Visual Impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*. [online]. 2012, vol. 106, no. 8, pp. 466–474, August 2012, [cit. 2016-03-25]. ISSN: 0145482X.

Dostupné z: <http://www.biomedsearch.com/article/Effect-selected-balance-exercises-dynamic/300980670.html>

JEKA, J. John. Light touch contact as a balance aid. *Physical Therapy* [online]. 1997, vol. 77, no. 5, p. 476, May 1997, [cit. 2016-02-10]. ISSN: 00319023. Dostupné z: <http://ptjournal.apta.org/content/ptjournal/77/5/476.full.pdf>

JEKA, J. John, LACKNER, R. James. Fingertip contact influences human postural control. *Experimental Brain Research* [online]. 1994, vol. 100, no. 3, pp. 495–502, 1994, [cit. 2016-03-02]. ISSN: 0014-4819. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00229188>

JOHANNSEN, Leif, WING, Alan, REDFERN, S. Mark. Tactile Control of Balance. *Scholarpedia of Touch* [online]. January 2016, p. 263 [cit. 2016-03-10]. ISSN: 9789462391321.

Dostupné z: http://link.springer.com/chapter/10.2991/978-94-6239-133-8_22.

JOÃO, M. A. Silvia, PÁDUA, de Michelle, TADDEI, T. Ulisses, et al. Children with visual impairments may have altered joint movement: an observational case-control study. *Fisioterapia e Pesquisa* [online]. 2014, no. 2, p. 156, May 2014, [cit. 2016-03-10]. ISSN: 1809-2950. Dostupné z: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1809-29502014000200156&script=sci_arttext

JUODZBALIENE, Vilma, MUCKUS, Kazimieras. The influence of the degree of visual impairment on psychomotor reaction and equilibrium maintenance of adolescents. *Medicina (Kaunas, Lithuania)* [online]. 2006, vol. 42, no. 1, pp. 49–56, 2006, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 1648-9144. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16467613>

KARSKI, Tomasz. Explanation of biomechanical etiology of the so-called idiopathic scoliosis (1995–2007). New clinical and radiological classification. *Locomotor System* [online]. 2010, vol. 17, no. 1–2, pp. 26–42, 2010, [cit. 2016-04-10]. ISSN: ISSN 1212-4575. Dostupné z: <http://www.pojivo.cz/cz/clanky-a-publikace/explanation-of-biomechanical-%C2%ADetiology-of-the-so-called-idiopathic-scoliosis/>

KEBLOVÁ, Alena. Integrované vzdělávání dětí se zrakovým postižením: [metodická příručka pro učitele]. 1. vyd. Praha: Septima, 1996. ISBN 80-85801-65-5.

KHALILI, A. Mohammad, DARAEI, R. Gholam, GHALAM, S. Mouna. A survey on postural deviation and flexibility of blind and sighted girls when compared with the normal situation. *Life science journal* [online]. 2012, vol. 9, no. 3, pp. 1848–1853, 2012, [cit. 2016-04-15]. ISSN: 1097-8135 Dostupné z: http://www.lifesciencesite.com/lj/life0903/268_10634life0903_1848_1853.pdf

KLINGE, Corinna, EIPERT, Falk, RÖDER, Brigitte, et al. Corticocortical connections mediate primary visual cortex responses to auditory stimulation in the blind. *The Journal of Neuroscience* [online]. 2010, vol. 30, no. 38, pp. 12798–12805, September 2010, [cit. 2016-03-10]. ISSN: 0270-6474. Dostupné z: <http://www.jneurosci.org/content/30/38/12798>

KOLÁŘ, Pavel. *Rehabilitace v klinické praxi*. 1. vyd. Praha: Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-657-1.

KUO, D. Arthur. An optimal state estimation model of sensory integration in human postural balance. *Journal of Neural Engineering* [online]. 2005, vol. 2, no. 3, pp. 235–249, August 2005, [cit. 2016-02-10]. ISSN 1741-2560. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/1741-2552/2/i=3/a=S07?key=crossref.c6ac93baff8ae7a2635c4df1d98e699f>

KUPERS, Ron, PTITO Maurice. Seeing through the tongue: cross-modal plasticity in the congenitally blind. *International Congress Series* [online]. 2004, vol. 1270, pp. 79–84, January 2004, [cit. 2016-03-20]. ISSN 05315131.

Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0531513104009410>

LAJOIE, Y., TEASDALE, N., BARD, C., et al. Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Experimental Brain Research* [online]. 1993, vol. 97, no. 1, pp. 139-144, 1993 [cit. 2016-02-10]. ISSN: 0014-4819. Dostupné z:

<http://link.springer.com/article/10.1007/BF00228824#page-1>

LEPORÉ, Natasha, VOSS, Patrice, THOMPSON, M. Paul, et al. Brain structure changes visualized in early- and late-onset blind subjects. *Neuroimage* [online]. 2010, vol. 49, no. neuvedeno, pp. 134–140, January 2010, [cit. 2016-04-16]. ISSN: 1053-8119. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2764825/>

LEVZION-KORACH, Osnat, TENNENBAUM, A., SCHNITZER, R. et al. Early motor development of blind children. *Journal of Paediatrics & Child Health* [online]. 2000, vol. 36, no. 3, pp. 226–229, June 2000, [cit. 2016-04-02]. ISSN: 10344810. Dostupné z:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1440-1754.2000.00501.x/full>

LORD, R. Stephen. Visual risk factors for falls in older people. *Age and Ageing* [online]. 2006, vol. 35, no. 2, pp. 42–45, September 2006, [cit. 2016-03-20]. ISSN: 00028614. Dostupné z: http://ageing.oxfordjournals.org/content/35/suppl_2/ii42.full.pdf+html

MAGALHÃES, H. Fernando, KOHN, F. André. Vibration- enhanced posture stabilization achieved by tactile supplementation: May blind individuals get extra benefits?. *Medical Hypotheses* [online]. 2011a, vol. 77, no. 2, pp. 301–304, January 2011a, [cit. 2016-02-28]. ISSN: 0306-9877. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306987711002118>

MAGALHÃES, H. Fernando, KOHN, F. André. Vibratory noise to the fingertip enhances balance improvement associated with light touch. *Experimental brain research* [online]. 2011b, vol. 209, no. 1, pp. 139–151, March 2011b, [cit. 2016-02-28]. ISSN: 0014-4819. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00221-010-2529-3>

MAHON, Z. Bradford, CARAMAZZA, Alfonso. What drives the organization of object knowledge in the brain? The distributed domain-specific hypothesis. *Trends in Cognitive Sciences* [online]. 2011, vol. 15, no. 3, p. 97–103, March 2011, [cit. 2016.04-18]. ISSN: 1364-6613. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3056283/>

McDONNELL, D. Mark, ABBOT, Derek. What is stochastic resonance? Definitions, misconceptions, debates, and its relevance to biology. *PLoS. Computational Biology* [online]. 2009, vol. 5 no. 5, e. 1000348, May 2009, [cit. 2016-03-10]. ISSN: 1553-7358. Dostupné z: <http://journals.plos.org/ploscompbiol/article?id=10.1371/journal.pcbi.1000348>

MELZER, Itshak, DAMRY, Elad, LANDAU, Anat, et al. The influence of an auditory-memory attention- demanding task on postural control in blind persons. *Clinical Biomechanics* [online]. 2011, vol. 26, no. 4. pp. 356–362, May 2011, [cit. 2016-03-18]. ISSN: 0268-0033. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268003310003025>

MISZKO, A. Tanya, RAMSEY, K. Vincent, BLASCH, B. Bruce. Tai Chi for People with Visual Impairments: A Pilot Study. *Journal of Visual Impairment and Blindness* [online]. 2004, vol. 98, no. 1, pp. 1–13, January 2004, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 0145-482X. Dostupné z: <http://eric.ed.gov/?id=EJ683400>

MOSS, Frank, WARD, M. Lawrence, SANNITA, G. Walter. Stochastic resonance and sensory information processing: a tutorial and review of application. *Clinical Neurophysiology* [online]. 2004, vol. 115, no. 2, pp. 267–281, February 2004, [cit. 2016-04-18]. ISSN 13882457. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1388245703003304>

NAKATA, Hideo, YABE, Kyonosuke. Automatic postural response systems in individuals with congenital total blindness. *Gait & Posture* [online]. 2001, vol. 14, no. nevedeno, pp. 36–43, January 2001, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 0966-6362. Dostupné z: [http://www.gaitposture.com/article/S0966-6362\(00\)00100-4/pdf](http://www.gaitposture.com/article/S0966-6362(00)00100-4/pdf)

NARDONE, Antonio, GRASSO, Margherita, TARANTOLA, Jessica, et al. Postural coordination in elderly subjects standing on a periodically moving platform. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation* [online]. 2000, vol. 81, no. 9, pp. 1217–1223, September 2000, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 0003-9993. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003999300725524?>

NOORDZIJ, L. Matthijs, ZUIDHOEK, Sander, POSTMA, Albert. The influence of visual experience on the ability to form spatial mental models based on route and survey descriptions. *Cognition* [online]. 2006, vol. 100, no. 2, pp. 321–342, January 2006, [cit. 2016-04-15]. ISSN: 0010-0277. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010027705000946>

NOPPENEY, Uta. Review: The effects of visual deprivation on functional and structural organization of the human brain. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* [online]. 2007, no. 31 (Lesions in the Developing Nervous System: Theoretical Considerations, Early Detection and Perspectives for Treatment), pp. 1169-1180, January 2007, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 0149-7634. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149763407000577?>

NOPPENNEY, Uta, FRISTON, J. Karl, ASHBURNER, John, et al. Correspondence: Early visual deprivation induces structural plasticity in gray and white matter. *Current Biology* [online]. 2005, vol. 15, no. 13, pp. R488–R490, January 2005, [cit. 2016-03-10]. ISSN: 0960-9822. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982205006883>

PARAVLIC, Armin, ALEKSANDROVIC, Marko, ZIVKOVIC, Dobrica, et al. THE EFFECTS OF EXERCISE PROGRAMS ON VISUALLY IMPAIRED CHILDREN: A SYSTEMATIC REVIEW STUDY. *Facta Universitatis: Series Physical Education & Sport*. [online]. 2015, vol. 13, no. 2, pp. 193–201, June 2015, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 1451740X. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9b0fa10d-a909-459f-9a36-05d6a26c733a%40sessionmgr198&vid=13&hid=114>

PASCUAL-LEONE, Alvaro, HAMILTON, Roy. The metamodal organization of the brain. *Progress In Brain Research*. 2001, vol. 134, pp. 427–445, 2001, [cit. 2016-04-10]. ISSN: 0079-6123. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0079612301340281>

PASCUAL-LEONE, Alvaro, et al. The plastic human brain cortex. *Annual Review of Neuroscience* [online]. 2005, vol. 28, no. 1, pp. 377–401, July 2005, [cit. 2016-03-06]. ISSN: 0147006X. Dostupné z: <http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.neuro.27.070203.144216>.

PASQUALOTTO, Achille, NEWELL, N. Fiona. The role of visual experience on the representation and updating of novel haptic scenes. *Brain and Cognition* [online]. 2007, vol. 65, no. neuedeno, pp. 184–194, January 2007, [cit. 2016-04-17]. ISSN: 0278-2626. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027826260700125X>

PASQUALOTTO, Achille, SPILLER, J. Mary, JANSARI, S. Ashok, et al. Visual experience facilitates allocentric spatial representation. *Behavioural Brain Research* [online]. January, vol. 236, no. 1, pp. 175-179, January 2013, [cit. 2016-04-08]. ISSN: 0166-4328. Dostupné z: http://research.gold.ac.uk/11163/1/2012_Pasqualotto_etal_Visual_experience.pdf

POSTMA, Albert, ZUIDHOEK, Sander, NOORDZIJ, L. Matthijs, et al. Haptic orientation perception benefits from visual experience: Evidence from early-blind, late-blind, and sighted people. *Perception & Psychophysics* [online]. 2008, vol. 70, no. 7, pp. 1197-1206, October 2008, [cit. 2016-04-20]. ISSN: 0031-5117. Dostupné z:

<http://link.springer.com/article/10.3758%2FPP.70.7.1197>

PRIPLATA, Attila, NIEMI, James, SALEN, Martin et al. Noise-enhanced human balance control. *Physical Review Letters* [online]. 2002, vol. 89, no. 23, p. 238101, December 2002, [cit. 2016-03-08]. ISSN: 0031-9007

Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/Lewis_Lipsitz/publication/10988432_Noise-enhanced_human_balance_control/links/09e41509a68e022cee000000.pdf

PTITO, Maurice, SCHNEIDER, C. Fabien, PAULSON, B. Olaf, et al. Alterations of the visual pathways in congenital blindness. *Experimental Brain Research* [online]. 2008, vol. 187, no.1, pp. 41–49, May 2008, [cit. 2016-02-27]. ISSN: 1432-1106. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00221-008-1273-4>

RAY, T. Christopher, HORVAT, Michael, CROCE, Ronald, et al. The impact of vision loss on postural stability and balance strategies in individuals with profound vision loss. *Gait & Posture* [online]. 2008, vol. 28, no. 1, pp. 58–61, July 2008, [cit. 2016-01-18]. ISSN 09666362. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966636207002548>

REICH, Lior, SZWED, Marcin, COHEN, Laurent, et al. Ventral Visual Stream Reading Center Independent of Visual Experience. *Current biology* [online]. 2011, vol. 25, no. 5, pp. 363–368, March 2011, [cit. 2016-04-04]. ISSN: 0960-9822.

Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960982211000637>

REYNOLDS, F. Raymond, DAY, L. Brian. Visual guidance of the human foot during a step. *The Journal Of Physiology* [online]. 2005, vol. 569, no. 2, pp. 677-684, December 2005, [cit. 2016-04-20]. ISSN: 0022-3751. Dostupné z:

<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1113/jphysiol.2005.095869/full>

RIBADI, Hani, RIDER, A. Robert, TOOLE, Tonya. A Comparison of Static and Dynamic Balance in Congenitally Blind, Sighted, Sighted Blindfolded Adolescents. *Adapted Physical Activity Quarterly* [online]. 1987, vol. 4, no. 3, pp. 220–225, 1987, [cit. 2016-03-20]. ISSN: 07365829. Dostupné z:

<http://eds.a.ebscohost.com/abstract?site=eds&scope=site&jrnl=07365829&AN=20730030&h=TFmUibnUt5aZmJGuKYmhKPQwE7oNzK1tmtYWf1c%2boSvQy3ZTFYtfsevOO6ZMyAMpOo1KihNmH6afWjtYZqPMkw%3d%3d&crl=c&resultLocal=ErrCrlNoResults&resultNs=Ehost&crlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d07365829%26AN%3d20730030>

RICCIARDI, Emiliano, BONINO, Daniela, PELLEGRINI, Silvia, et al. Mind the blind brain to understand the sighted one! Is there a supramodal cortical functional architecture? *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [online]. 2014, vol. 41, no. neuedeno, April 2014, pp. 64–77, 2014, [cit. 2016-03-12]. ISSN 01497634. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0149763413002303>

ROUGIER, Patrice. The influence of having the eyelids open or closed on undisturbed postural control. *Neuroscience Research* [online]. 2003, vol. 47, no. 1, pp. 73–83, September 2003, [cit. 2016-03-15]. ISSN: 0168-0102.

Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168010203001871>

SADATO, Norihiro, OKADA, Tomohisa, HONDA, Manabu, et al. Critical period for cross-modal plasticity in blind humans: a functional MRI study. *Neuroimage* [online]. 2002, vol. 16, no. 2, pp. 389–400, June 2002, [cit. 2016-04-16]. ISSN: 1053-8119.

Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811902911110>

SFORZA, Chiarella., EID, Luca, FERRARIO, F. Virgilio. Sensorial Afferents and Center of Foot Pressure in Blind and Sighted Adults. *Journal of Visual Impairment & Blindness* [online]. 2000, vol. 94, no. 2, p. 97, February 2000, [cit. 2016-04-15]. ISSN: 0145482X

Dostupné z: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?sid=950e9045-c25d-4315-ad02-2934b6ec8715%40sessionmgr4004&vid=0&hid=4103&bdata=Jmxhbm9Y3Mmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d&preview=false#AN=2806299&db=a9h>

SHI, Jie, COLLIGNON, Olivier, XU, Liang, et al. Impact of early and late visual deprivation on the structure of the corpus callosum: A study combining thickness profile with surface tensor-based morphometry. *Neuroinformatics* [online]. 2015, vol. 13, no. 3, pp. 321–336, July 2015, [cit. 2016-04-16]. ISSN: 1539-2791. Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007/s12021-014-9259-9>

SHUMWAY-COOK, Anne, WOOLLACOTT, H. Marjorie. *Motor control: translating research into clinical practice*. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2012. ISBN: 1608310183.

SCHIEPPATI, Marco, SCHMID, Micaela, SOZZI, Stefania. Rapid processing of haptic cues for postural control in blind subjects. *Clinical Neurophysiology* [online]. 2014, vol. 125, no. 7, pp. 1427–1439, July 2014, [cit. 2016-02-10]. ISSN 13882457. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1388245713011851>

SCHIEPPATI, Marco, GIORDANO, Andrea, NARDONE, Antonio. Variability in a dynamic postural task attests ample flexibility in balance control mechanisms. *Experimental Brain Research* [online]. 2002, vol. 144, no. 2, pp. 200–210, May 2002, [cit. 2016-03-20]. ISSN: 0014-4819. Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9b0fa10d-a909-459f-9a36-05d6a26c733a%40sessionmgr198&vid=27&hid=114>

SCHMID, Micaela, NARDONE, Antonio, DE NUNZIO, A. Marco, et al. Equilibrium during static and dynamic tasks in blind subjects: no evidence of cross-modal plasticity. *Brain* [online]. 2007, vol. 130, no. 8, pp. 2097–2107, August 2007, [cit. 2016-03-02]. ISSN 0006-8950. Dostupné z: <http://www.brain.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/brain/awm157>

SCHMIDT, Susanna, TINTI, Carla, FANTINO, Micaela, et al. Spatial representations in blind people: The role of strategies and mobility skills. *Acta Psychologica* [online]. 2013, vol. 142, no. 1, pp. 43–50, January 2013, [cit. 2016-04-18]. ISSN: 0001-6918. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001691812001928>

SCHWESIG, Rene, GOLDICH, Yakov, HAHN, A. et al. Postural control in subjects with visual impairment. *European Journal of Ophthalmology* [online]. 2011, vol. 201, no. 3, pp.303–309, 2011, [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://europepmc.org/abstract/med/20853264>

STEVENS, A. Alexander, WEAVER, E. Kurt. Functional characteristics of auditory cortex in the blind. *Behavioural Brain Research* [online]. 2009, vol. 196, pp. 134–138, January 2009 [cit. 2016-03-20]. ISSN 01664328. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166432808004117>

SURAKKA, Airi, KIVELÄ, Tero. THE EFFECT OF A PHYSICAL TRAINING PROGRAMME ON FLEXIBILITY OF UPPER BODY AND TRUNK IN VISUALLY IMPAIRED AND DEAF-BLIND PERSONS. *European Journal Of Adapted Physical Activity* [online]. 2011, vol. 4, no.1, p. 7, 2011, [cit. 2016-04-15]. ISSN: 18033857
Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9b0fa10d-a909-459f-9a36-05d6a26c733a%40sessionmgr198&vid=30&hid=114>

TAVARES, M. S. Graziela, LIBARDONI, Thiele, SANTOS, M. Gilmar, et al. Postural characterization in visually impaired young adults: preliminary study. *Manual Therapy, Posturology a Rehabilitation Journal* [online]. 2014, vol. 12, pp. 296–301, 2004, [cit. 2016-03-20]. ISSN 2236-5435. Dostupné z: <http://submission-mtprehabjournal.com/revista/article/view/238>

THÉORET, Hugo, MERABET, Lotfi, PASCUAL-LEONE, Alvaro. Behavioral and neuroplastic changes in the blind: evidence for functionally relevant cross-modal interactions. *Journal of Physiology-Paris* [online]. 2004, no. 98, pp. 221–233, January 2004, [cit. 2016-02-18]. ISSN 09284257. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0928425704000828>

THOMPSON, M. Paul, GIEDD, N. Jay. Growth patterns in the developing brain detected by using continuum mechanical tensor maps. *Nature* [online]. 2000, vol. 404, no. 6774, pp. 190–193, March 2000, [cit. 2016-04-16]. ISSN: 00280836.

Dostupné z: <http://eds.b.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?sid=9b0fa10d-a909-459f-9a36-05d6a26c733a%40sessionmgr198&vid=33&hid=114>

TROJAN, Stanislav. *Lékařská fyziologie*. 4. vyd. přepr. a dopl. Praha: Grada Publishing, 2003. ISBN 8024705125.

TROJAN, Stanislav, POKORNÝ Jaroslav. Teoretický a klinický význam neuroplasticity. *Bratislavské lékařské listy* [online]. 1997, roč. 98, č. 12, s. 667–673, 1997, [cit. 2016-01-18]. ISSN 1336-0345. Dostupný z: <http://bmj.fimed.uniba.sk/1997/09812-03.pdf>

VAŘEKA, Ivan. Posturální stabilita (1. část) Terminologie a biomechanické principy. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2002, roč. 9, č. 4, s. 115–121. ISSN 1211- 2658.

VAŘEKA, Ivan. Posturální stabilita (2. část) Řízení, zajištění, vývoj, vyšetření. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*. 2002, roč. 9, č. 4, s. 122–129. ISSN 1211-2658.

VAŘEKA, Ivan, DVORŇÁK, R. Ontogenesis of human motor-ability to control the position of the centre of gravity. *Rehabilitace A Fyzikální Lékařství*. 1999, vol. 6, no. 3, pp. 84-85, 1999. ISSN: 1211-2658.

VÉLE, František. *Kineziologie pro klinickou praxi*. Vyd. 1. Praha: Grada, 1997. ISBN 80-7169-256-5.

VOSS, Patrice, GOUGOUX, Frédéric, LASSONDE, Maryse, et al. A positron emission tomography study during auditory localization by late-onset blind individuals. *NeuroReport: For Rapid Communication of Neuroscience Research* [online]. 2006, vol. 17, no. 4, pp. 383–388, March 2006, [cit. 2016-02-14]. ISSN: 0959-4965. Dostupné z: http://www.zlab.mcgill.ca/docs/Voss_et_al_2006.pdf

VOSS, Patrice, GOUGOUX, Frédéric, ZATORRE, J. Robert, et al. Differential occipital responses in early- and late-blind individuals during a sound-source discrimination task. *NeuroImage* [online]. 2008, vol. 40, no. 2, pp. 746–758, April 2008, [cit. 2016-03-28]. ISSN: 1053-8119. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811907011354?>

VOSS, Patrice, PIKE, G. Bruce, ZATORRE, J. Robert. Evidence for both compensatory plastic and disuse atrophy-related neuroanatomical changes in the blind. *Brain: A Journal of Neurology* [online]. 2014, vol. 137, no. 4, pp. 1224–1240, April 2014, [cit. 2016-03-13]. ISSN: 0006-8950. Dostupné z: <https://brain.oxfordjournals.org/content/137/4/1224.full>

WATKINS, E. Kate, COWEY, Alan, ALEXANDER, Iona, et al. Language Networks in Anophthalmia: Maintained Hierarchy of Processing in "Visual" Cortex. *Brain* [online]. 2012, vol. 135, no. 5, pp. 1566–1577, May 2012, [cit. 2016-0-10]. ISSN: 0006-8950. Dostupné z: <http://brain.oxfordjournals.org/content/135/5/1566>

WIENER, R. William, WELSH, L. Richard, BLASCH, B. Bruce. *Foundations of orientation and mobility*. S.l.: New York: American Foundationn For The Blind, 3. vyd. 2010. ISBN 9780891284710

WINTER, D. PRINCE, F. FRANK, J, et al. Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. *Journal Of Neurophysiology* [online]. 1996, vol. 75, no. 6, pp. 2334-2343, June 1996, [cit. 2016-03-05]. ISSN: 0022-3077. Dostupné z: <http://jn.physiology.org/content/75/6/2334.short>

ZAHÁLKA, František, MALÝ, Tomáš, RICHTEROVÁ, Markéta et al. Posturální stabilita dětí se zrakovým postižením. *Česká kinantropologie* [online]. 2011, vol. 15, no. 3, pp. 180–191, 2011, [cit. 2016-01-20]. ISSN: 1211-9261. Dostupné z: <http://www.ceskakinantropologie.cz/index.php/TestJournal/article/view/46>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Model posturální kontroly	10
Obrázek 2: Schéma rozdílného zpracování přídatné sluchové aktivity v primární zrakové oblasti V1 u kongenitálně nevidomých (CB) a jedinců se získanou slepotou (LB)	21
Obrázek 3: Posturální deviace u kongenitálně nevidomých	27

SEZNAM ZKRATEK

- AP anteroposteriorní
- AS opěrná plocha
- BOS opěrná báze
- BSS Biodex stability system
- CB Kongenitálně nevidomí
- CNS Centrální nervová soustava
- COG Centre of gravity
- COM Centre of mass
- COP Centre of pressure
- DOLS Dynamic One Leg Stance
- fMRI Funkční magnetická rezonance
- GPS Globální polohovací systém
- LB Jedinci se získanou slepotou
- LOS limity stability
- ML mediolaterální
- PET Pozitronová emisní tomografie
- TMS Transkraniální magnetická stimulace
- V1 Primární zraková oblast