

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury

VPLYV POHYBU OČÍ NA POSTURÁLNÍ STABILITU U JEDINCŮ
STARŠÍHO VĚKU

Diplomová práce

(magisterská)

Autor: Bc. Diana Mihálová, fyzioterapie

Vedúci práce: Mgr. Lucia Bizovská

Olomouc 2019

Meno a priezvisko autorky: Bc. Diana Mihálová

Názov diplomovej práce: Vplyv pohybu očí na posturálnu stabilitu u jedincov staršieho veku

Pracovisko: Katedra fyzioterapie, Fakulta telesnej kultury, Univerzita Palackého v Olomouci

Vedúci diplomovej práce: Mgr. Lucia Bizovská

Rok obhajoby diplomovej práce: 2019

Abstrakt:

Cieľom tejto práce bolo posúdiť vplyv vizuálnych stimulov na posturálnu stabilitu u jedincov vo veku nad 60 rokov. Výskumu sa zúčastnilo 18 jedincov (3 muži a 15 žien, vo veku $70,3 \pm 7,7$ rokov). Na zaznamenávanie pohybu pôsobiska reakčnej sily podložky (COP) boli využité dve silové plošiny AMTI OR6-5, na ktorých sa nachádzala mäkká podložka. Pri testovaní boli porovnávané tri vizuálne podmienky, a to zrková fixácia a sakadické pohyby očí v horizontálnom a vertikálnom smere. Vizuálne stimuly prebiehali s frekvenciou 1,1 Hz a celková vzdialenosť týchto bodov vytvárala vizuálny uhol 11° . Vo výsledkoch sledujeme signifikantné zníženie celkovej rýchlosti pohybu COP a rýchlosti pohybu COP v antero-posteriórnom smere pri vykonávaní sakád, na rozdiel od fixácie zraku. Tieto rýchlosti postupne narastajú od podmienok vykonávania horizontálnych sakád cez vertikálne sakády až po maximum pri zrakovej fixácii. Zároveň bol preukázaný signifikantný rozdiel v rýchlosti pohybu COP v antero-posteriórnom smere medzi podmienkami vykonávania jednotlivých druhov sakád.

Kľúčové slová: posturálna stabilita, zrak, pohyby očí, sakády, starnutie

Súhlasím s požičiavaním diplomovej práce v rámci knižničných služieb.

Author's first name and surname: Bc. Diana Mihálová

Title of the master thesis: Effect of eye movements on postural stability in elderly people

Department: Department of Physiotherapy, Faculty of Physical Culture, Palacký University Olomouc

Supervisor: Mgr. Lucia Bizovská

The year of the presentation: 2019

Abstract:

The aim of this thesis is to evaluate the influence of visual stimuli on postural stability in individuals older than 60 years of age. The study was conducted on 18 subjects (3 men and 15 women aged 70.3 ± 7.7 years). The sway of the centre of pressure (COP) was recorded through two AMTI OR6-5 force platforms, which were covered with a soft pad. The experiment focused on comparing three visual conditions: fixation and both horizontal and vertical saccadic eye movements. The frequency of visual stimuli was set at 1.1 Hz, and the overall distance between the points formed a visual angle of 11° . The results show a significant decrease in the total COP sway velocity, as well as in the COP sway velocity in the anterior-posterior direction during saccades, as opposed to phases of fixation. These velocities progressively rise during horizontal saccades, increase even further during vertical saccades and achieve maximum values during fixation. It has also been proven that there is a significant difference in the COP velocity in the anterior-posterior direction during the respective types of saccades.

Keywords: postural stability, vision, eye movements, saccades, aging

I agree with lending of the master thesis within the library service.

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracovala samostatne s odbornou pomocou Mgr. Lucie Bizovskej, uviedla všetky použité literárne a odborné zdroje a riadila sa zásadami vedeckej etiky.

V Olomouci dňa 19. apríla 2019

.....

Ďakujem Mgr. Lucii Bizovskej za odborné vedenie, pomoc, cenné rady a pripomienky, ktoré mi poskytla pri spracovaní diplomovej práce. Ďalej celému kolektívu, ktorý sa podieľal na realizácii merania. Táto práca bola realizovaná v rámci projektu Internej grantovej agentúry Univerzity Palackého v Olomouci pod názvom Vliv pohybu očí na posturální stabilitu (IGA_FTK_2018_013).

OBSAH

1	ÚVOD.....	9
2	TEORETICKÉ POZNATKY	10
2.1	Vymedzenie základných pojmov	10
2.2	Statické a dynamické stratégie	13
2.3	Neurofyziologické princípy riadenia rovnováhy	14
2.4	Senzorická zložka posturálnej stability	20
2.4.1	Somatosenzorický systém	21
2.4.2	Vestibulárny aparát.....	22
2.4.3	Zrak.....	23
2.4.4	Podiel jednotlivých senzorických systémov na udržaní posturálnej stability	24
2.5	Neurofyziologické aspekty zrakového systému.....	26
2.6	Vplyv zraku na posturálnu stabilitu	29
2.7	Pohyby očí a ich vplyv na posturálnu stabilitu	34
2.7.1	Rozdelenie a riadenie pohybov očí.....	34
2.7.2	Porovnanie sakadických a hladkých sledovacích pohybov očí.....	36
2.7.3	Vplyv sakadických pohybov očí na posturálnu stabilitu.....	39
2.8	Vplyv starnutia na posturálnu stabilitu	43
3	CIELE A HYPOTÉZY	48
3.1	Ciele	48
3.1.1	Čiastkové ciele.....	48
3.2	Výskumné hypotézy.....	48
4	METODIKA	49
4.1	Charakteristika výskumného súboru	49
4.2	Metódy získavania dát.....	49
4.2.1	Klinické metódy	49
4.2.2	Biomechanické metódy	49
4.3	Postup merania	50
4.4	Spracovanie nameraných dát a štatistika.....	51
5	VÝSLEDKY	52
5.1	Vyjadrenie sa k výskumným hypotézam	53
6	DISKUSIA.....	54

6.1	Limity štúdie	59
7	ZÁVER.....	60
8	ZHRNUTIE	61
9	SUMMARY.....	63
10	REFERENČNÝ ZOZNAM	64
11	PRÍLOHY	72

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK

ADL - aktivity každodenného života

AP - antero-posteriórny

CNS - centrálna nervová sústava

COG - centre of gravity, priemet ťažiska do opornej bázy

COM - centre of mass, ťažisko

COP - centre of pressure, pôsobisko reakčnej sily podložky

m. - musculus

ML - medio-laterálny

1 ÚVOD

Špecifickosťou človeka je vzpriamený bipedálny stoj, ktorý mu umožňuje použiť horné končatiny pre cieľavedomú činnosť (Králiček, 2004). Schopnosť zaistiť vzpriamené držanie tela a reagovať na zmeny vonkajších a vnútorných podmienok tak, aby nedošlo k neriadenému alebo nezamýšľanému pádu, sa nazýva posturálna stabilita (Kolář, 2009). Táto schopnosť je dôležitým predpokladom funkčnej spôsobilosti, a teda vykonávania každodenných aktivít (Ragnarsdóttir, 1996). Posturálna instabilita u starších jedincov môže byť spôsobená zhoršením senzorického a motorického systému alebo centrálného spracovania informácií (Sturnieks, St George & Lord, 2008).

Vzpriamený stoj je vo svojej podstate nestabilný, a preto je nutná jeho neustála korekcia na základe informácií získaných zo senzorických systémov (Peterka & Loughlin, 2004). Medzi zásadné zdroje informácií patrí propiocepcia, zrakový a vestibulárny systém (Trojan, Druga & Pfeiffer, 1990). Podiel jednotlivých informácií sa mení v závislosti od danej situácie, úlohy, veku a funkčnosti jednotlivých systémov (Massion & Woollacott, 2004; Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Bolo preukázané, že jedinci vyššieho veku sa vo väčšej miere spoliehajú na propioceptívne informácie (Kumar & Tiwari, 2014). Vďaka dostupnej korekcii zraku dioptrickými okuliarmi alebo operáciou očí, sa však význam zraku vo vyššom veku zvyšuje (Faraldo-García, Santos-Pérez, Crujeiras-Casais, Labella-Caballero & Soto-Varela, 2012).

Zrak predstavuje najdôležitejší zdroj informácií pre mozog, a ak dochádza ku konfliktu informácií z jednotlivých senzorických systémov, človek má tendenciu spoliehať sa práve naň (Latash, 2008). Vizualný vstup je síce dôležitým, ale nie nevyhnutným zdrojom pre posturálnu kontrolu (Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

Sakadické pohyby očí slúžia k rýchlemu nasmerovaniu centrálnej jamky sietnice na objekt, ktorý sa pohybuje v zornom poli (Goldberg & Wurtz, 2003). Pohyby očí sú zabezpečené extraokulárnymi svalmi, ktoré patria medzi najbohatšie propioceptívne zdroje v ľudskom tele. Sú aktivované pri sakadických pohyboch očí a zvýšenie propioceptívnych informácií z týchto svalov môže prispieť k udržaniu alebo zlepšeniu posturálnej stability (Bae, 2016; Rey, Lê, Bertin & Kapoula, 2008). V našom výskume sme sa zaoberali mierou vplyvu týchto pohybov očí na pohyb pôsobiska reakčnej sily podložky počas bipedálneho stoja.

2 TEORETICKÉ POZNATKY

2.1 Vymedzenie základných pojmov

Oporná plocha (area of support) je časťou položky, ktorá je v kontakte s povrchom tela (Kolář, 2009). Presnejšie je to len tá časť plochy kontaktu (area of contact), ktorá je aktuálne využitá k vytvoreniu opornej bázy (base of support), a teda ku aktívnej opore a kontrole posturálnej stability (Vařeka, 2002a). Táto oporná báza pri bipedálnom stoji predstavuje plochu lichobežníkového tvaru, ktorá sa nachádza medzi najvzdialenejšími hranicami opornej plochy (Kolář, 2009). Jej zadnú kratšiu stranu tvorí spojnica piat, bočné strany sú tvorené laterálnymi hranami nôh a prednú, najdlhšiu časť vytvára spojnica hlavičiek metatarzov. Ťažisko tela sa premieta približne do jej stredu a zo skúseností vieme, že čím širšiu opornú bázu vyšetovaný zaujíma, tým ťažšie udržuje stoj (Véle, 2006). Pri určitých situáciách (novorodenec, hlboké bezvedomie) môžeme ešte definovať plochu úložnú (area of load), kedy táto plocha nie je využitá pre vytvorenie opornej bázy (Vařeka, 2002a).

Ťažisko (centre of mass, COM) predstavuje hypotetický hmotný bod, vzhľadom ku ktorému je výsledný moment tiažových síl pôsobiacich na jednotlivé segmenty telesa rovný nule. Jeho vertikálny priemet do roviny opornej bázy označujeme ako centre of gravity (COG) (Shumway-Cook & Woollacott, 2012; Winter, 2005). Počas stoja musí byť COG udržiavané v hraniciach individuálnej opornej bázy, čo označujeme ako limity stability. Limity stability teda označujú hranice bipedálneho stoja, v rámci ktorých sa môže jedinec nakláňať bez straty stability a zmeny opornej bázy. Tieto hranice nie sú fixované, ale menia sa v závislosti od danej úlohy, individuálnych charakteristík, akými sú sila, rozsah pohybu a v závislosti na rôznych aspektoch prostredia (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Pôsobisko vektoru výslednej reakčnej sily podložky označujeme ako centre of pressure (COP). Táto sila je váženým priemerom všetkých tlakov, ktoré pôsobia na kontaktnú plochu (Winter, 2005). Veľa štúdií využíva charakteristiku trajektórie COP na popis a kvantifikáciu posturálnych výchyliek (Latash, 2008).

Postura ako pokojná poloha tela je z biomechanického hľadiska definovaná ako orientácia telesných segmentov vzhľadom k vektoru tiažovej sily (Winter, 1995). Správna postura je nutná k úspešnému riešeniu situácií súvisiacich s udrжанím rovnováhy (Véle, 2006). Poruchy postury môžeme rozdeliť na anatomické (napr. antevertzia bedrových kĺbov alebo poúrazové morfológické zmeny), neurologické

(napr. mozočkové a vestibulárne) a funkčné (napr. porucha posturálne stabilizačných funkcií svalov počas pohybu, i statických pozícií). Stála poloha tela čelí neustálej labilitate pohybovej sústavy, a teda nie je statická, ale ide skôr o proces jej kontinuálneho zaujímania (Kolář, 2009). Úlohou posturálnej motoriky je udržiavanie nastavenej polohy jednotlivých segmentov neustálym vyvažovaním zaujatej polohy, čím je zaistená pohotovosť k rýchlemu prechodu z pokoja do pohybu a naopak. Táto neustála pohotovosť k akcii chráni telo pred poškodením (Véle, 2006). Aktívne držanie postury je riadené prostredníctvom centrálnej nervovej sústavy (CNS) podľa určitého programu, ktorý je realizovaný anatomicky definovaným pohybovým systémom s rešpektovaním biomechanických princípov (Vařeka, 2002a). Udržiavanie polohy je síce naprogramované a prebieha podvedome, ale zároveň sa flexibilne prispôbuje vnútorným a vonkajším podmienkam, a pri ich neočakávanej zmene vstupuje do vedomia (Latash, 2008; Véle, 2006). Súčasťou voľby vhodného pohybového programu pre riešenie danej situácie je aj porovnávanie súčasného stavu s predchádzajúcimi skúsenosťami. Z tejto činnosti sa postupne vyvíjajú špecifické posturálne programy, ktoré sú prostredníctvom učenia postupne individuálne dopĺňované a modifikované. Posturálna motorika pracuje viac so svalmi tonickými, avšak ak dôjde k zmene podmienok, je potrebný zásah svalov fázičných, aby sa zabránilo destabilizácii s možnosťou pádu. Ak máme v úmysle vykonať určitý pohyb, poloha statická sa mení v polohu pohotovostnú "stand by", ktorá tesne pred zamýšľaným pohybom prechádza do polohy účelovo orientovanej (atitudy) (Véle, 2006).

Posturálna stabilita predstavuje schopnosť zaistiť vzpriamené držanie tela a reagovať na zmeny vonkajších a vnútorných síl tak, aby nedošlo k neriadenému alebo nezamýšľanému pádu (Kolář, 2009). Jednou zo základných podmienok stability je, že ťažisko sa musí premietiť do opornej bázy (Shumway-Cook & Woollacott, 2012), ale nemusí smerovať do opornej plochy (Vařeka, 2002a). Čím viac sa COG približuje ku okrajom opornej bázy, tým náročnejšie je udržanie stability vzpriameného stoja, čo vyžaduje použitie značnej svalovej sily (Véle, 2006). Stabilitu ovplyvňujú mnohé biomechanické a neurofyziologické faktory. Posturálna stabilita je nepriamo úmerná výške ťažiska nad opornou bázou a vzdialenosťou medzi COG a stredom opornej bázy. Zároveň je priamo úmerná veľkosti plochy opornej bázy a hmotnosti jedinca. Aktívne, teda svalové držanie segmentov tela proti pôsobeniu vonkajších síl, hlavne sily tiažovej, riadené prostredníctvom CNS označujeme pojmom posturálna stabilizácia. To znamená,

že za statickej situácie umožňuje koaktivita svalov vzdorovať v danej polohe tiažovej sile, a tým dosiahnuť vzpriamené držanie tela (Kolář, 2009). Segmentovú stabilizáciu polohy zabezpečujú krátke svaly v hlbokjej vrstve pozdĺž chrbtice. Dlhšie svaly, nachádzajúce sa bližšie ku povrchu, spájajú väčší počet segmentov a vytvárajú sektorovú stabilizáciu polohy. Najpovrchnejšie uložené dlhé a silné svaly stabilizujú celý osový orgán a umožňujú celkovú stabilizáciu polohy. Svaly končatinové a pletencové používané pri stabilizácii majú špecifické funkcie, ktoré sú odvodené od vzdialenosti ich úponov od osy príslušného kĺbu (Véle, 2006). Basmajian (in Véle, 2006) označuje krátke paralelné svaly ako "shunt muscles", čiže vedľajšie stabilizujúce svaly a dlhšie kolmejšie prebiehajúce svaly ako "spurt muscles", teda svaly záberové, ktoré sú hlavným zdrojom sily pre pohyb alebo korekciu polohy. Programy slúžiace na kontrolu a riadenie posturálnej stability využívajú princípy zatvorených a otvorených slučiek (close loop a open loop). Počas krátkych intervalov sú uplatňované otvorené slučky. Označujú korekčné pohyby veľkého rozsahu a rýchlosti, ktoré sú kontrolované až po ich dokončení. Pri pohyboch malého rozsahu a rýchlosti, kontrolovaných sensorickými vstupmi už počas ich priebehu, hovoríme o uzatvorených slučkách prebiehajúcich v dlhších intervaloch. Pomocou týchto riadiacich slučiek sa vysvetľuje aj prediktívna (anticipačná) kontrola pohybu (Collins & De Luca, 1993; Vařeka, 2002b). Pri každom dobrovoľnom pohybe môžeme sledovať anticipačnú odpoveď CNS. Na to, aby mohla CNS správne odpovedať, potrebuje vedieť smer a veľkosť výchylky. Dôležité je aj načasovanie odpovede, aby došlo k obnove rovnováhy a predišlo sa tak pádu (Shupert & Horak, 1999; Winter, 1995).

Posturálna reaktibilita je reakčná stabilizačná funkcia, ktorej účelom je spevnenie jednotlivých pohybových segmentov tak, aby bolo získané čo najstabilnejšie punctum fixum. Žiadny cielený pohyb nemožno vykonať bez úponovej stabilizácie svalu, čiže zaistenia kĺbového segmentu v úponovej oblasti. Experimentálne bolo zistené, že aktivácia hlbokého stabilizačného systému predbieha pohybovú činnosť horných aj dolných končatín a táto reaktívna stabilizačná funkcia prebieha automaticky a mimovoľne. Ak je pri reakciách na vonkajšie podnety narušená aktivácia svalov chrbtice a trupu, dochádza k neprimeranému zaťaženiu a posturálnej instabilite (Kolář, 2009). Posturálna nestabilita môže byť u starších ľudí spôsobená zhoršením sensorického a motorického systému alebo centrálného spracovania informácií. Toto zhoršenie môže byť výsledkom špecifickej patológie, ktorá postihuje len určitú komponentu týchto systémov, alebo výsledkom celkovej straty funkcie v dôsledku

normálneho procesu starnutia (Sturnieks et al., 2008). Nestabilita je okrem iného spôsobená aj tým, že u človeka hovoríme o biomechanickom modeli obráteného kyvadla (Latash, 2008) s vysoko uloženým ťažiskom a malou plochou základne (Vařeka, 2002a). Pre obrátené kyvadlo je ťažké zaujať rovnovážnu polohu, najmä pri pôsobení vonkajších síl a situácia sa komplikuje prítomnosťou kĺbov v ľudskom tele (Latash, 2008). Pri stoji je možné pozorovať korekčné pohyby, ktoré prebiehajú disto-proximálnym smerom. Pri zvyšujúcej sa instabilite dochádza postupne k plantárnej flexii prstcov (noha sa opiera o podložku aj terminálnymi článkami prstcov) a ku aktivite lýtkových svalov (viditeľné ako hra šliach). Následne sa aktivujú svaly stehenné, trupové a nakoniec sa zapoja aj horné končatiny. Zreteľné kolísanie polohy sa prejavuje titubáciami, ktoré svedčia o zhoršenej stabilizácii tela vo vertikále (Véle, 2006). Patologické titubácie môžu byť abnormálne veľké, napr. u niektorých pacientov so sklerózou multiplex, ale rovnako aj abnormálne malé, ktoré sú časté u pacientov s Parkinsonovou chorobou. Toto je prejavom zlej posturálnej kontroly, ale neznamená to nevyhnutný pád pacienta (Ragnarsdóttir, 1996). Balans je obecným pojmom, ktorý opisuje dynamiku postoja s cieľom zabrániť pádu (Winter, 1995). Rovnováha je považovaná za predpoklad funkčnej spôsobilosti, pretože je dôležitá pre vykonávanie aktivít každodenného života (ADL). Dobrá rovnováha sa navyše považuje za nutnosť pre vykonávanie aktivít veľkou silou, rýchlosťou alebo vo veľkom množstve (Ragnarsdóttir, 1996).

2.2 Statické a dynamické stratégie

Proces udržania posturálnej stability pozostáva z niekoľkých fáz. Na začiatku je detekcia konkrétnej situácie senzorickým systémom a na základe týchto informácií CNS vyhodnotí situáciu a zvolí vhodný program. Následne dochádza ku eferenciácii, čiže aktivácii príslušných svalových skupín a generácii kontrakčnej svalovej sily, ktorá je prevedená na momenty síl v pákovom segmentovom systéme ľudského tela (Vařeka, 2002b). Pri výbere vhodnej stratégie zohrávajú úlohu aktuálne informácie zo spätnej väzby, ale aj predchádzajúca skúsenosť (Horak & Nasher, 1986).

Do statickej stratégie zaraďujeme rovnovážne reakcie, ktorými sa riadiaci systém snaží udržať posturálnu stabilitu bez zmeny opornej bázy. Ak však dôjde k prekročeniu bezpečnej hranice vychýlenia COP v rámci opornej bázy, riadiaci systém si vyberie k obnoveniu posturálnej stability stratégiu dynamickú. Pri tejto stratégii

dochádza k čiastočnému presunu opornej bázy napr. úkrokom, chytením sa pevnej opory alebo inými spôsobmi zväčšenia opornej bázy. Ak však ani dynamická stratégia nepostačuje ku zvládnutiu situácie, systém prechádza na program "preventívneho" riadeného pádu (Blaszczyk, Lowe & Hansen, 1994; Vařeka, 2002b). Menované stratégie sú využívané pri udržiavaní posturálnej stability za rôznych okolností v spätnej (feedback) kontrole ako posturálna odpoveď na senzorické informácie o vonkajších odchýlkach. Využívajú sa však aj v doprednej (feedforward) kontrole ako anticipačná posturálna odpoveď na potenciálnu destabilizáciu (Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

Statické stratégie využívajú v stoji spojnóm hlavne mechanizmus členkový v predozadnom smere (za pomoci plantárnych a dorzálnych flexorov členkového kĺbu) a bedrový v smere latero-laterálnom. Pri tandemovom stoji to platí opačne. Členková stratégia je využívaná počas pokojného stoja alebo pri malých posturálnych výchylkách (Winter, 1995) a pri stoji na pevnej podložke (Horak & Nasher, 1986). V prípade väčších posturálnych výchyliek, rovnako ako pri stoji na mäkkej podložke nastupuje stratégia bedrová (Horak & Nasher, 1986; Winter, 1995). Stabilita latero-laterálna je podstatne lepšia, pretože v tomto smere je anatomicky daná voľnosť pohybu dolných končatín viac obmedzená, na rozdiel od predozadného smeru (Collins & De Luca, 1993; Kapandji, 1987). Na udržaní posturálnej stability sa podieľa aj celý posturálny systém, prostredníctvom otvorených (možné zmeniť postavenie v jednom kĺbe, bez zmeny postavenia v ostatných) a zatvorených (zmena postavenia v jednom kĺbe vedie ku súčasnej zmene v kĺboch ďalších) kinematických reťazcov (Vařeka, 2002b).

2.3 Neurofyziologické princípy riadenia rovnováhy

Špecifickosťou človeka je vzpriamený bipedálny stoj, ktorý mu umožňuje použiť horné končatiny pre cieľavedomú činnosť. Na jeho udržaní sa podieľa veľký počet hierarchicky usporiadaných reflexných mechanizmov, ktoré fungujú ako spätnoväzbové regulačné okruhy. Ich úlohou je neustále usmerňovať COG do opornej bázy, prostredníctvom zmien v rozložení intenzity svalového tonu (Králiček, 2004). Hlavným prispievateľom ku udržaniu vzpriameného stoja je posturálny svalový tonus (Massion & Woollacott, 2004). Jeho príčinou je nízkofrekvenčná asynchrónna vzruchová aktivita alfa motoneurónov. Svalový tonus je riadený zo supraspinálnych oblastí CNS pôsobiacich na alfa motoneuróny prostredníctvom motorických dráh.

V záujme udržania vzpriamenej polohy tela prevažuje tonus extenzorových skupín svalov fungujúcich ako svaly antigravitačné (Králiček, 2004). Svalové úsilie potrebné na udržanie vzpriameného stoja voči gravitácii závisí na konkrétnej konfigurácii postury a pasívnej stuhnutosi kĺbov a väzov. Stuhnutie svalov a kĺbov zohráva dôležitú úlohu pri odolávaní posunu končatín z dôvodu pôsobenia vonkajších síl (Horak & Macpherson, 1996).

Kontrola postury je rozhodujúca pre väčšinu každodenných úloh. Samotná postura je tvorená dvoma zložkami, a to posturálnou stabilitou a orientáciou tela, ktoré vyžadujú neustálu úpravu a zapojenie niekoľkých senzorických systémov (Macpherson & Horak, 2003). Pod orientáciou postury rozumieme relatívnu polohu segmentov tela voči sebe a voči prostrediu (Horak & Macpherson, 1996). Na druhej strane posturálna stabilita ako taká zahŕňa aktívnu silu, ktorá odporuje vonkajším silám (hlavne sile tiažovej) pôsobiacim na telo (Macpherson & Horak, 2003). Je to stav, pri ktorom sú všetky sily pôsobiace na telo v rovnováhe. Tým pádom telo ostáva v požadovanej pozícii a orientácii (statická stabilita) alebo sa pohybuje riadene (dynamická stabilita). Posturálna stabilita je zásadnou zložkou väčšiny vykonávaných úloh (Horak & Macpherson, 1996). Pre udržanie stability musí nervový systém kontrolovať pozíciu a pohyb COM a tiež rotáciu tela okolo COM. Pozícia COM nie je fixovaná a závisí na orientácii tela. Človek je schopný udržať stabilitu v prípade, že COG sa premieta do opornej bázy (Macpherson & Horak, 2003).

Kedysi bola postura považovaná za statický stav, ktorý bol výsledkom reflexov. Teraz je však jasné, že postura je dynamickou interakciou medzi komplexným súborom mechanizmov organizovaných okolo orientácie trupu a hlavy v priestore. Hlavným cieľom posturálnej stability je riadenie postavenia a rýchlosti výchyliek trupu, pretože samotný trup predstavuje veľké množstvo telesnej masy (Horak & Macpherson, 1996). Podľa výskumu Mergner, Hlavacka a Schweigart (1993) sa ukazuje, že jedinici využívajú trup ako vzor na vnímanie a odhadnutie pozície hlavy v priestore, pozície hlavy voči trupu a samotného trupu v priestore. Orientácia, pozícia trupu a rýchlosť výchyliek trupu sú prioritné pri riadení neurálnych stratégií, pre orientáciu postury a posturálnu stabilitu. Počas vykonávania určitých komplexných úloh je tiež dôležitá stabilizácia orientácie hlavy s ohľadom na smer tiažovej sily (Pozzo, Berthoz & Lefort, 1990). Narušenie posturálnej stability môže byť výsledkom pôsobenia nečakaných vonkajších síl alebo z dôvodu voľného pohybu jedinca (Horak & Macpherson, 1996). Pri neočakávanej zmene podmienok, ktoré spôsobia posturálne výchylky tela, sú

využitie rôzne motorické stratégie k udržaniu COG v hraniciach opornej bázy (viď kapitola Statické a dynamické stratégie) (Macpherson & Horak, 2003). Pre zaistenie optimálnej rovnovážnej reakcie je nutná zodpovedajúca kvalita vnímania orientácie tela v priestore, senzorickej organizácie, prediktívnej centrálnej zložky, muskuloskeletálneho systému a tiež pohybovej koordinácie (Masion & Woollacott, 2004). Rovnovážna odpoveď môže byť modifikovaná viacerými faktormi, ako napr. postavením tela, predchádzajúcou skúsenosťou a inými faktormi (Horak & Macpherson, 1996).

Z dôvodu malej opornej bázy a vysokého uloženia COM je človek relatívne nestabilný. Udržovanie posturálnej stability je procesom dynamickým aj pri pokojnom stoji, pretože telo nie je nikdy úplne nehybné. To znamená, že COM je v neustálom pohybe kvôli výchylkám tela (Horak & Macpherson, 1996). Pri pokojnom stoji dochádza ku spontánnym posturálnym výchylkám, pretože systém svalov nie je schopný udržať úplne konštantnú polohu. Posturálnym výchylkám sa telo snaží brániť kokontrakciou svalov, avšak tá je nedostatočná pre udržanie a kontrolu rovnováhy. Namiesto toho však komplexné vzory aktivácie svalov vytvárajú špecifické smerovanie sily pre kontrolu COM (Macpherson & Horak, 2003). Z dôvodu posturálnych výchýliek musí byť systém posturálnej kontroly neustále upravovaný na základe funkčnej interakcie medzi otvorenými a zatvorenými slučkami neuromuskulárneho systému. Systém oboch týchto slučiek v posturálnej kontrole je aktivovaný spätnou väzbou alebo informáciami zo senzorickej sústavy (Collins & De Luca, 1993; Riach & Starkes, 1994). Hlavnou úlohou posturálnej kontroly je udržanie vzpriameného stoja a rovnováhy (Masion & Woollacott, 2004), pričom zabezpečuje stabilnú základňu pre účinné vykonávanie cielených pohybov (Horak & Macpherson, 1996). Pre efektívnu posturálnu kontrolu nestačí, aby CNS vedela kedy a ako použiť sily pre obnovu rovnováhy, ale rovnako tak musí mať obraz o aktuálnom umiestnení tela v priestore, či je nehybné alebo v pohybe (Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

Spätná kontrola (feedback) zabezpečuje posturálnu odpoveď na senzorickej informácii o vonkajších odchýlkach a dopredná kontrola (feedforward) je anticipačnou posturálnou odpoveďou na potenciálnu destabilizáciu. Anticipačná zložka posturálnej kontroly vyladzuje senzorickej a motorickej sústavy pre požiadavky posturálneho systému na základe skúseností a učenia. Adaptívna posturálna kontrola zas zahŕňa úpravu senzorickej a motorickej sústavy v závislosti na meniacich sa požiadavkách danej úlohy alebo prostredia (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Na zaistenie adaptability

a anticipačnej funkcie posturálnej kontroly majú významný vplyv vyššie integračné centrá, pričom do tejto skupiny neurálnych procesov s vplyvom na posturálne správanie zaraďujeme aj vplyv motivácie, pozornosti a sústredenia (Bizovská, Janura, Míková & Svoboda, 2017). Pri pohybe musia byť splnené rôzne požiadavky na držanie tela, aby bolo možné dosiahnuť cieľ daného pohybu koordinovaným spôsobom. Za účelom produkcie plynulých koordinovaných pohybov a udržania rovnováhy musí nervový systém odhadnúť a predvídať rôzne sily pôsobiace na telo (Horak & Macpherson, 1996). Voľné pohyby ako také, môžu narušiť posturálnu orientáciu a rovnováhu. Preto nervový systém tomuto narušeniu zabraňuje aktiváciou anticipačnej úpravy postury, ktorá predchádza samotný pohyb a je špecifická pre dané biomechanické podmienky (Macpherson & Horak, 2003). Táto úprava postury má tri hlavné funkcie, a to minimalizovať narušenie postury v zmysle rovnováhy alebo postavenia (orientácie) tela, samotnú prípravu postury a prevedenie asistenčných pohybov (Massion, 1998). Je známe, že napr. anticipačná aktivácia je oveľa menšia pri neočakávaných výchylkách podložky ako pri oboznámení jedinca s podmienkami, ktoré budú nasledovať (McIlroy & Maki, 1996).

Senzomotorická koordinácia dynamickej stability zahŕňa energeticky a výpočtovo výkonne stratégie pohybu ku riadeniu stabilizácie veľkého množstva stupňov voľnosti celého tela. Riadenie dynamickej stability zahŕňa na jednej strane anticipačné úpravy postury sprevádzajúce veľké pohyby a na strane druhej automatické odpovede na nečakané narušenie rovnováhy. Rýchle automatické posturálne odpovede sú vyvolané rušivým podnetom, ktorý má tendenciu narušiť rovnováhu alebo zmeniť posturálnu orientáciu (Horak & Macpherson, 1996). Sú tvorené na základe detekcie senzoričným systémom a modifikované mechanizmami CNS. Tieto mechanizmy sa vzťahujú ku danému očakávaniu, skúsenosti, vplyvu prostredia a zámeru činnosti (Massion & Woollacott, 2004). Keďže je posturálna odpoveď ovplyvnená určitou skúsenosťou, jej modifikácia na nové biomechanické podmienky prebieha postupne. Samotnú automatickú posturálnu odpoveď predstavuje synergistická aktivácia skupín svalov v typickom poradí, s cieľom udržať rovnováhu (Macpherson & Horak, 2003). Synergia znamená funkčné spojenie skupín svalov, ktoré pracujú spolu ako celok. Napriek tomu, že sú svalové synergie dôležité, nie sú jediným motorickým mechanizmom, ktorý má vplyv na posturálnu kontrolu (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Zapojenie určitej skupiny svalov do posturálnej odpovede závisí na počiatočnom postoji tela (Macpherson & Horak, 2003). Ktorýkoľvek segment tela alebo skupina

svalov môže zohrávať posturálnu rolu v závislosti na danej úlohe a prostredí (Horak & Macpherson, 1996).

Informácie zo somatosenzorického, vizuálneho a vestibulárneho aparátu sa integrujú v posturálnych centrách a poskytujú obraz o polohe a pohybe tela v priestore. Vytvárajú a aktualizujú motorické príkazy slúžiace na udržanie rovnováhy a orientácie tela (Macpherson & Horak, 2003). Využitie týchto senzorických informácií tvorí kľúčovú vlastnosť neurálnej kontroly orientácie tela s ohľadom na vertikálu a stabilizáciu tela voči vonkajším rušivým vplyvom (Massion & Woollacott, 2004). Vplyv jednotlivých senzorických vstupov na posturálnu kontrolu sa môže meniť v závislosti od vykonávanej úlohy, podmienok prostredia a biomechanických podmienok (Horak & Macpherson, 1996). Zdá sa, že najdlhšie vlákna somatosenzorického systému (typ I) sú nevyhnutné pre normálnu latenciu automatickej odpovede na zmenu (Macpherson & Horak, 2003). Proprioceptívne informácie sú využívané nie len na posturálnu orientáciu, ale tiež pre zistenie odchýlok stoja a na vyvolanie rýchlej odpovede potrebnej pre udržanie posturálnej stability (Inglis, Horak, Shupert & Jones-Rycewicz, 1994). Vestibulárny aparát informuje nervový systém o naklonení a smere náklonu tela. Tieto informácie na rozdiel od informácií zo somatosenzorického systému nie sú nutné pre normálne načasovanie rovnovážnych reakcií, ale ovplyvňujú nastavenie smeru posturálnej odpovede. Informácie z vestibulárneho aparátu sú rozhodujúce pre rovnováhu pri výpadku vizuálnej informácie a pri nestabilnom povrchu (Macpherson & Horak, 2003). Aferentácia z vestibulárneho aparátu taktiež zodpovedá za spustenie odpovede pri náhlom neočakávanom páde (Horak & Macpherson, 1996). Vizuálny vstup aj rýchlosť a smer optického toku zabezpečujú informácie o orientácii a pohybe tela pre posturálny systém. Zrak redukuje posturálne výchylky pri pokojnom stoji a zabezpečuje stabilizujúci podnet najmä pri skúšaní novej rovnovážnej úlohy a pri nestabilite. Zrak zohráva dôležitú úlohu pri anticipačnej úprave postury počas voľných pohybov (Macpherson & Horak, 2003) a v doprednom riadení, čo je rozhodujúce pri vyhýbaní sa prekážkam a pri prispôsobovaní sa meniacim podmienkam prostredia (Horak & Macpherson, 1996). Spracovanie zrakového signálu je však príliš pomalé na to, aby sa podieľalo na automatickej posturálnej odpovedi pri náhlej zmene rovnováhy (Macpherson & Horak, 2003).

Multisenzorické vstupy sú integrované a rozlúštené systémom posturálnej kontroly a zabezpečujú jasnú interpretáciu orientácie a posturálnej stability tela. Tieto

informácie sú následne porovnávané s vnútorným obrazom tela a akýkoľvek chybný výsledný signál je použitý ku generovaniu motorických príkazov, aby sa zachovala požadovaná úroveň postury. Tento proces prebieha podvedome a vyvoláva automatické úpravy orientácie a postavenia tela s krátkou latenciou (Horak & Macpherson, 1996). Informácie z jednotlivých sensorických systémov sú teda spájané a vytvárajú centrálné zobrazenie tela a okolitého prostredia, čo sa nazýva ako schéma tela. Mozoček a mozgový kmeň integrujú tieto sensorické vstupy a možno aj vytvárajú vnútorný model o orientácii a posturálnej stabilite tela. Informácie z vestibulárneho a zrakového aparátu putujú do centier v mozgovom kmeni a vestibulárnom mozočku. Informácie z kožných receptorov a proprioceptorov zas putujú do spinálneho mozočku a niektoré do vestibulárnych jadier a retikulárnej formácie (Macpherson & Horak, 2003). Vnútorný obraz využíva CNS pri výpočte vhodných anticipačných a automatických posturálnych reakcií ku udržaniu rovnováhy a orientácie tela (Merfeld, Young, Oman, & Shelhamer, 1993). Pre posturálnu kontrolu musí byť tento vnútorný obraz neustále aktualizovaný, a to na základe skúseností, ktoré zlepšujú rovnovážne stratégie, ale tiež v závislosti na starnutí a zmenách tela (Macpherson & Horak, 2003).

Na riadení kontroly posturálnej stability sa podieľa niekoľko oblastí CNS. Okruhy v spinálnej mieche sú dostatočné pre udržanie antigravitačného postavenia tela, ale nie pre udržanie rovnováhy. U ľudí s poškodením miechy môžeme pozorovať rôznu veľkosť posturálneho tonu antigravitačných svalov, avšak nedostatočnú automatickú posturálnu odpoveď pod úrovňou poškodenia miechy. Z toho vyplýva, že antigravitačné postavenie a kontrola rovnováhy sú dva rozdielne mechanizmy, pričom kontrola rovnováhy vyžaduje zapojenie supraspinálnych okruhov (Horak & Macpherson, 1996; Macpherson & Horak, 2003). Skúmaním jadier mozgového kmeňa a ich podielu na posturálnej kontrole sa ukázalo, že tieto centrá sú aktívne pri regulácii posturálneho tonu a taktiež sa zúčastňujú anticipačnej posturálnej kontroly (Macpherson et al. in Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Komplex vestibulárnych jadier je zas dôležitým centrom integrácie informácií z vestibulárneho, somatosenzorického a vizuálneho aparátu, čo je dôležité pre riadenie posturálnej orientácie a rovnováhy (Horak & Macpherson, 1996). Neuróny retikulárnej formácie v mozgovom kmeni sa významne podieľajú na návrate posturálnej stability po jej neočakávanom narušení (Stapley & Drew, 2009). Mozgový kmeň a mozoček sú navzájom prepojené a pracujú spolu pri modifikácii descendných príkazov pre miechové motorické centrá končatín a trupu. Svalové synergie využívajú pri automatických posturálnych odpovediach sú

organizované v retikulárnej formácii mozgového kmeňa (Macpherson & Horak, 2003), ale ich adaptáciu na meniace sa prostredie a úlohy zabezpečuje mozoček (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Mozoček má vplyv na veľkosť a trvanie danej automatickej posturálnej odpovede na neočakávané narušenie, pričom u pacientov s poškodením mozočku dochádza ku zväčšeniu tejto odpovede. U týchto pacientov sú hypermetrické aj reaktívne a anticipačné úpravy postury (Diener et al., 1990; Horak & Diener, 1994). Bazálne gangliá sa vyznačujú schopnosťou rýchlo meniť svalové vzory pri odpovedi na meniace sa prostredie alebo podmienky úlohy (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Ich význam pre posturálnu stabilitu je zrejmý u pacientov s ich poruchou, u ktorých môžeme pozorovať poškodenú posturu a instabilitu. Bazálne gangliá majú tonický excitačný a inhibičný vplyv a obsahujú aj cholinergné a dopamínové systémy, pričom každý z nich sa môže podieľať na rôznych senzomotorických systémoch nevyhnutných na udržanie rovnováhy. Výstup z bazálnych ganglií pokračuje do motorického systému mozgovej kôry a mozgového kmeňa (Hallett, 1993). Centrá v mozgovej kôre prispievajú k posturálnej kontrole a ovplyvňujú orientáciu a rovnováhu tela. Zahrňujú anticipačné aj automatické posturálne odpovede, pričom mozgová kôra má väčšiu kontrolu nad anticipačnými úpravami postury (Macpherson & Horak, 2003). Predpokladá sa, že zapojenie mozgovej kôry do rýchlych odpovedí na neočakávané narušenie je nepravdepodobné (Horak & Macpherson, 1996). Mozgová kôra zohráva dôležitú úlohu pri učení sa nových a komplexných stratégií (Macpherson & Horak, 2003). Ak sú všetky systémy neporušené, jedinec je schopný prispôbiť posturálnu kontrolu rôznym podmienkam a dosiahnuť stabilitu v akomkoľvek prostredí (Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

2.4 Senzorická zložka posturálnej stability

Vzpriamený stoj je vo svojej podstate nestabilný a vyžaduje neustále korekciu, ktorá je možná na základe informácií získaných zo senzorických systémov (Peterka & Loughlin, 2004). Pre zaistenie posturálnej stability má zásadný význam propiocepcia, zrak, vestibulárny systém (Trojan et al., 1990), ale vplyv majú aj interoceptívne informácie z vnútorných orgánov a nociceptívne informácie, ktoré menia držanie tela (Véle, 2006). Organizácia a výber vhodných senzorických impulzov sú dôležité pre udržanie stability počas meniacich sa úloh a podmienok prostredia (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Ak dôjde k výpadku alebo oslabeniu niektorej

senzorickej zložky, pohyb je ďalej možný, avšak so zvýšenou aktiváciou inej zmyslovej zložky. Preto sa výpadok alebo oslabenie niektorej funkcie nemusí prejaviť hneď, ale až napr. pri zvýšenej záťaži (Vařeka, 2002a; Winter, 1995). Ak sa informácie z rôznych receptorov líšia, systém na vyššej úrovni senzorickej organizácie alebo integrácie prispôsobí váhu jednotlivých senzorickej vstupov podľa danej situácie (Massion & Woollacott, 2004). Tento konflikt jednotlivých informácií môže však viesť aj ku pohybovej neistote až závratu, ktorý je často prisudzovaný len vestibulárnemu systému napriek tomu, že jeho funkcia môže byť intaktná (Véle, 2006).

Priestorová orientácia je závislá na informáciách z vestibulárneho a zrakového aparátu, propiocepcie, ale tiež z kožných exteroceptorov (hlavne pre dotyk a tlak). Tieto vstupy sa spájajú na kôrovej úrovni, a tak vytvárajú spojitý obraz o polohe jedinca v priestore (Ganong, 2005).

2.4.1 Somatosenzorický systém

Do somatosenzorického systému zaraďujeme kožné čítie (taktilná citlivosť, termocepčia a nocicepcia) a propiocepciu. Receptory tohto systému sú roztrúsené nerovnomerne po celom povrchu tela. Pod pojmom propiocepčia rozumieme státestéziu - vnímanie vzájomnej polohy jednotlivých segmentov tela voči sebe alebo voči podložke a tiež ich vzájomný pohyb - kinestéziu (Tortora & Derrickson, 2009). Kuthan (2003) do kvalít propiocepcie zaraďuje aj silový zmysel, ktorý umožňuje odhadnúť svalovú silu a odpor počas vykonávaného pohybu.

Svalové vretienka a šľachové telieska sú receptormi, ktoré neustále informujú CNS o aktuálnom funkčnom stave, čiže o úrovni napätia a o predĺžení alebo skrátení jednotlivých svalov (Trojan et al., 1990). Svalové vretienka informujú CNS o pohybe, čiže fázických zmenách dĺžky svalov a rovnako tak aj o zmenách tonických pri udržovaní určitej polohy (Ganong, 2005). Informácie zo svalových vretienok putujú do centier mozgovej kôry, kde dochádza k uvedomeniu si polohy a pohybu končatín a zároveň tieto vstupy putujú aj do mozočku, kde sú využité ku koordinácii svalovej kontrakcie (Tortora & Derrickson, 2009). Golgiho šľachové telieska reagujú na napätie svalového úponu pri natiahnutí svalu izometrickou alebo izotonickou kontrakciou (Kuthan, 2003). Ich funkcia spočíva v tlmení aktivity daného svalu a excitácii alfa-motoneurónov antagonistov, čím chránia sval pred poškodením extrémnou kontrakciou (Tortora & Derrickson, 2009). Ako propioceptory zrejme fungujú aj Ruffiniho kožné

telieska lokalizované v zamši, signalizujúce statestéziu, Ruffiniformné telieska (podobné Ruffiniho telieskam) uložené v kĺbovom puzdre a ligamentách, signalizujúce extrémne pozície v kĺbe a Paciniformné telieska (podobné Vater - Paciniho telieskam) s rovnakou lokalizáciou zabezpečujúce kinestéziu (Králiček, 2004).

Informácie získané z chodidiel zohrávajú významnú rolu v stabilizácii vzpriameného držania tela, ale môžu byť nahradené informáciami z osového orgánu. Z toho predpokladáme, že informácie z proximálnych receptorov majú pri riadení stability prevahu nad informáciami z distálnych receptorov (Véle, 2006). Počas stoja na rovnej a pevnej podložke zabezpečuje somatosenzorický systém informácie o polohe a pohybe tela s ohľadom na horizontálny povrch podložky. Tieto somatosenzorické vstupy prestávajú byť užitočné v prípade, že stojíme na pohyblivom alebo šikmom povrchu (Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

Proprioceptívne informácie prichádzajúce zo svalov, šliach a kĺbov osového orgánu majú povahu spätnej väzby a sú neustále porovnávané s informáciami z mozgovej kôry, mozočku, vestibulárneho aparátu a zrakového orgánu. Na základe spracovaných informácií je neustále upravovaná poloha jednotlivých segmentov do vhodného alebo navyknutého držania, čo tvorí dôležitú súčasť pri riadení stabilizácie tela. Ak však stabilizujúci proces ustane, zrúti sa celý posturálny systém (Véle, 2006).

2.4.2 Vestibulárny aparát

Vestibulárny aparát nás informuje o smere gravitácie v pokoji, ale aj pri pohybe (Véle, 2006). Úlohou vestibulárneho systému je detegovať polohu hlavy a jej uhlové a lineárne zrýchlenie, čím sa podieľa na udržiavaní rovnováhy (Tortora & Derrickson, 2009). Cez jeho reflexné riadenie kompenzačných pohybov končatín a očí prispieva k relatívnej stabilizácii obrazu na sietnici. Zúčastňuje sa aj regulácie svalového tonu (Kuthan, 2003). Vestibulárny aparát sa uplatňuje hlavne v situáciách, kedy dochádza ku konfliktu informácií prichádzajúcich zo zrakového aparátu a somatosenzorického systému. S vekom dochádza k oslabeniu funkcie vestibulárneho aparátu, a preto môžeme u seniorov pozorovať problémy so závratmi a instabilitou v spomínaných konfliktných situáciách (Allum et al. in Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

Vestibulárny aparát sa skladá zo senzoru kinetického a statického (Kuthan, 2003). Kinetický senzor pozostáva z troch polkruhovitých kanálikov, ktorých vláskové bunky v ampulách reagujú na uhlové zrýchlenie pri rotačných pohyboch hlavy (Latash,

2008). Tieto bunky sú dráždené na začiatku a na konci otáčavého pohybu hlavy, ale počas ustálenej rotácie nedochádza ku ich dráždeniu (Ganong, 2005). Statický senzor pozostáva z blanitých váčkov sakula a utrikula. Ich makulárne vlásokové bunky reagujú na pôsobenie gravitácie, čiže detegujú polohu hlavy v priestore (Tortora & Derrickson, 2009). Reagujú tiež na lineárne zrýchlenie hlavy v horizontálnom smere (utríkulus) a vo vertikálnom smere (sakulus) (Ganong, 2005).

Vestibulárne jadrá predstavujú hlavné integračné centrum rovnováhy, ktoré spája informácie prichádzajúce z vestibulárneho aparátu, zrakového aparátu a somatosenzorických receptorov (hlavne proprioceptorov svalov krku, ktoré identifikujú postavenie hlavy) (Tortora & Derrickson, 2009). Vzostupné dráhy vestibulárnych jadier smerujú k jadrám okoohybných nervov, kde sa podieľajú na ovládaní pohybov očí (Ganong, 2005). Sprostredkujú vestibulookulomotorický reflex, ktorý umožňuje udržať oči fixované na daný predmet pri zmenách polohy hlavy. Tieto dráhy sprostredkujú aj vestibulárny nystagmus viditeľný na začiatku a konci rotácie hlavy (Králiček, 2004; Kuthan, 2003). Každý polkruhovitý kanálik je spojený s tým párom okoohybných svalov, ktorý vykonáva sprážené pohyby očí v jeho rovine. Zostupné dráhy vestibulárnych jadier sa podieľajú na posturálnych funkciách, ktoré súvisia so vzájomnou polohou hlavy, šije a samotného tela (Ganong, 2005). Signály z vestibulárneho aparátu teda sprostredkujú posturálne reflexné reakcie, ktoré udržiavajú hlavu a trup vo vzpriamenej a vyváženej polohe (Králiček, 2004).

2.4.3 Zrak

Zrak je jeden z najdôležitejších zdrojov informácií pre mozog človeka (Latash, 2008) a získavame ním až 90 % informácií (Králiček, 2004). Ak dochádza ku konfliktu informácií z jednotlivých senzorických systémov, má človek tendenciu spoliehať sa na svoj zrak (Latash, 2008). Ide o príjem a spracovanie signálov o vonkajšom svete vo forme fotónov viditeľného svetla, ktoré predstavuje elektromagnetické vlnenie s ohraničením vlnovej dĺžky medzi cca 400 - 760 nm (Ganong, 2005). Vizúálne informácie v sebe zahŕňajú aj radu jednotlivých kvalít daného objektu, akými sú jeho farba, tvar, umiestnenie v priestore a jeho pohyb určitým smerom a rýchlosťou (Králiček, 2004). Zrak prináša dôležité informácie aj pre efektívnu navigáciu v prostredí. Jeho vstupy sú v CNS použité na vytvorenie priestorovej mapy okolia, ktorá je použitá ku rýchlemu vyhodnoteniu rýchlosti a smeru pohybujúcich sa telies,

čím napomáha lokalizovať nebezpečenstvo (Sturnieks et al., 2008). Zrak napomáha tiež stabilizovať polohu tela vďaka kontrole pozície hlavy a trupu v priestore (Buchanan & Horak, 1999). Vizuálny vstup je dôležitý, ale nie nevyhnutný pre posturálnu kontrolu. To znamená, že sme schopní udržať rovnováhu aj pri zatvorených očiach alebo v tme (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Očami sa akoby opierame o body vonkajšieho prostredia a získavame tak posturálnu istotu, ale v niektorých prípadoch aj neistotu (Véle, 2006). Zrakové signály nie sú vždy zdrojom správnych informácií o pohybe tela jedinca, pretože zrakový systém má za určitých okolností problémy pri rozlíšení pohybu objektu v prostredí a samotného subjektu (Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

2.4.4 Podiel jednotlivých senzorických systémov na udržaní posturálnej stability

Pre zistenie dominancie niektorého zo senzorických systémov využili Hansson, Beckman a Håkansson (2010) u zdravých jedincov vo veku medzi 21-59 rokov podmienky so zatvorenými a otvorenými očiach, s tvrdou a mäkkou podložkou a v rôznych polohách hlavy. Ukázalo sa, že najmenšie posturálne výchylky boli zaznamenané pri stoji na tvrdom povrchu s otvorenými očiach, v porovnaní s najväčšími výchylkami pri stoji na mäkkej podložke s očiach zatvorenými, pri maximálnej extenzii hlavy. Podľa výsledkov štúdie sa zdá, že najväčší vplyv na posturálne výchylky má strata zrakového vnemu. Pri stoji na mäkkej podložke sa výchylky v antero-posteriornom (AP) a medio-laterálnom (ML) smere zvýšili tiež, ale v menšej miere. Zmeny polohy hlavy, najmä jej rotácie, preukázali najmenší vplyv na posturálne výchylky hlavne v ML smere.

Faraldo-García et al. (2012) sa zaoberali podielom jednotlivých senzorických systémov na udržaní rovnováhy u rôznych vekových skupín. Vo výsledkoch sa ukázalo, že relatívna dôležitosť zrakových informácií s vekom klesá a svoje minimum dosiahne v 40-49 rokoch života. Autori sa domnievajú, že je to v dôsledku zhoršovania zraku so stúpajúcim vekom. Následne však význam zrakového vstupu opäť vzrastá, čo autori odôvodňujú tým, že v tomto veku často dochádza ku korekcii zraku dioptrickými okuliarmi alebo operáciou očí. Bolo tiež preukázané, že pre seniorov predstavujú proprioceptívne informácie hlavný stimul pre posturálnu kontrolu. Vo výsledkoch môžeme sledovať aj dôležitosť vestibulárnej informácie, ktorá postupne vzrastá až do maxima v 40-49 rokoch života. Táto situácia nastáva z dôvodu kompenzácie

zníženého významu zrakovej informácie v danom veku. Následne môžeme vidieť pokles významu vestibulárneho vstupu, čo môže byť spôsobené starnutím vestibulárneho aparátu alebo stúpajúcim významom zrakovej informácie.

Autori Kumar a Tiwari (2014) vo svojom výskume poukazujú na to, že v závislosti na veku dochádza k poklesu posturálnej kontroly, a to za normálnych podmienok, ale aj pri redukovaných senzorických informáciách. Autori uvádzajú zhodne s predchádzajúcou štúdiou, že podiel vizuálnych informácií s vekom klesá. Táto štúdia, ktorá zahŕňala jedincov vo veku nad 60 rokov, stanovila podiel zraku na udržaní rovnováhy na 11,7 %. Jeho podiel signifikantne vzrastá pri náročnejších podmienkach (napr. penová podložka), kedy dochádza k poklesu podielu propiocepcie. V týchto podmienkach sa na kontrole rovnováhy podieľa hlavne priestorové videnie a kontrastná citlivosť zraku, čo sa potvrdilo aj v štúdiu autorov Lord a Menz (2000). Zúčastnení jedinci využívali viac propioceptívne informácie na udržanie rovnováhy, avšak keď neboli k dispozícii, zvýšila sa závislosť na vizuálnom systéme. Z toho vyplýva, že pri znížení podielu jedného systému na kontrole rovnováhy sa dostáva do popredia iný senzorický systém (Kumar & Tiwari, 2014).

To, že propioceptívna informácia predstavuje dôležitý stimul pre posturálnu kontrolu seniorov, potvrdzujú aj nasledujúce štúdie. Kristinsdottir, Fransson a Magnusson (2001) vo svojom výskume so seniormi aplikovali vibračný stimul lýtkovým svalom na oboch dolných končatinách, ktorý CNS vyhodnotila ako predĺženie svalu. Jedinci so zníženou citlivosťou na dolných končatinách reagovali na tento podnet značným zvýšením celkových a vysokofrekvenčných posturálnych výchyliek, na rozdiel od jedincov s neporušenou citlivosťou. Tieto výchylky boli značne menšie pri súčasnej prítomnosti zrakových informácií, ale nie v takej miere ako u jedincov s neporušenou citlivosťou. Z toho autori usudzujú, že zrakové informácie nedokážu v plnej miere kompenzovať zhoršenú propiocepciu. Zároveň autori zistili, že seniori bez porušenej propiocepcie a zdraví dospelí jedinci mali podobnú mieru celkových a vysokofrekvenčných posturálnych výchyliek pri stoji s otvorenými očami. Táto skupina seniorov však nedokázala využiť zrakový vnem k redukcii týchto výchyliek v takej miere ako dospelí. Z toho vyplýva, že schopnosť využitia zraku ku redukcii posturálnych výchyliek súvisí s vekom. Aj Wiesmeier, Dalin a Maurer (2015) vo svojom výskume potvrdzujú, že seniori využívajú ku udržaniu rovnováhy viac vstupy propioceptívne, ako tie zo zrakového a vestibulárneho aparátu. Keďže sa však priemerná rýchlosť výchyliek pri zatvorených očiach zväčšila približne o 30 % autori

usudzujú, že ani zrak nemá zanedbateľný vplyv na rovnováhu. Shupert a Horak (1999) tiež uvádzajú, že seniori, u ktorých dochádza ku strate informácií zo somatosenzorického systému majú problémy odhadnúť prítomnosť posturálnych výchyliek, a preto je u nich problematické zahájiť rovnovážnu odpoveď dostatočne rýchlo. Riziko pádu sa zvyšuje aj tým, že necítia zmenu povrchu podložky. Tieto problémy narastajú pri nedostupnosti informácií z ostatných senzoričných systémov.

Z uvedených výskumov vyplýva, že pre posturálnu kontrolu u seniorov sú zásadné najmä informácie z proprioceptorov. Ukazuje sa však, že ani zrakový systém nemá zanedbateľnú funkciu. Jeho význam sa zvyšuje so stúpajúcim vekom a so stratou proprioceptívneho vstupu. V zásade sú však dôležité všetky senzoričné systémy, ktorých informácie sa navzájom prelínajú a ich podiel sa mení v závislosti od situácie, veku, zdravotného stavu jedinca a iných okolností.

2.5 Neurofyziologické aspekty zrakového systému

Väčšina pohybov človeka je vykonávaná pod zrakovou kontrolou. Zrakové informácie sa využívajú pre identifikáciu a lokalizáciu daného cieľa v priestore a ku korekcii prebiehajúcich pohybov (Latash, 2008). Optický aparát sa celkovo správa ako centrovaná, spojná, optická sústava (Králíček, 2004), prostredníctvom ktorej vzniká na sietnici reálny, prevrátený a zmenšený obraz daného objektu (Tortora & Derrickson, 2009). Fotoreceptory sietnice premieňajú elektromagnetické vlnenie na akčné potenciály, ktoré sú prostredníctvom zrakovej dráhy prenášané do zrakového centra v mozgovej kôre (Meister & Tessier-Lavigne, 2003). Tam sú dané informácie o obraze spracované, čím sa umožní ich vnímanie (Králíček, 2004). Vizualne informácie v sebe zahŕňajú aj radu jednotlivých kvalít daného objektu. Na úrovni sietnice je odhalený jas a farba obrazu a na úrovni primárnej zrakovej kôry dochádza ku analýze orientácie, smeru pohybu objektu a tiež hĺbky obrazu. Ďalšie arey zrakového kôry analyzujú povrch objektu a integrujú informácie o farbe, tvare a pohybe objektu (Gilbert, 2003a).

Na sietnici jedného oka sa nachádza približne 120 miliónov tyčíniek a 6 miliónov čapíkov, pričom nervových vlákien v zrakovom nerve je asi len 1 milión (Gilbert, 2003b). Z toho vyplýva, že dochádza ku veľmi výraznej konvergencii vertikálnych spojov. V centrálnej jamke sietnice sa nachádzajú len čapíky a nedochádza ku konvergencii spojov. Vďaka tomu má obrazová informácia z tejto oblasti minimálnu "zrornosť", čiže je vnímaná s maximálnou zrakovou ostrosťou (Ganong, 2005). Čapíky

teda zabezpečujú zrakovú ostrosť, sprostredkujú vnímanie v celom rozsahu viditeľného spektra a videnie farieb je trichromatické (Tortora & Derrickson, 2009). Čapíky majú omnoho vyšší prah dráždivosti ako tyčinky, čiže zabezpečujú fotopické videnie (videnie pri dennom svetle) (Gilbert, 2003b). Pri slabšom osvetlení dochádza ku vyradeniu čapíkov centrálnej jamky z funkcie, a tým pádom sa centrálna ostrosť zraku fyziologicky znižuje (fyziologický centrálny skotóm). Smerom do periférie klesá počet čapíkov a rastie koncentrácia tyčínok (Kuthan, 2003). Tyčinky sprostredkujú monochromatické videnie a zároveň sú mimoriadne citlivé na svetlo, takže sú receptormi skotopického videnia (videnia za šera). Smerom do periférie dochádza aj ku výraznej konvergencii spojov, následkom čoho má táto obrazová informácia vysokú "zrornosť" - je vnímaná s malou zrakovou ostrosťou (Tortora & Derrickson, 2009).

Optická časť sietnice obsahuje 5 hlavných typov buniek, a to fotoreceptory - tyčinky a čapíky, bipolárne, horizontálne, amakrinné a gangliové bunky. Všetky tieto bunky sú postupne usporiadané do troch vrstiev. Jednotlivé vrstvy predstavujú prvé tri neuróny zrakovej dráhy (Ganong, 2005). Axóny gangliových buniek sa zbierajú na terči zrakového nervu a očné guľu opúšťajú ako zrakový nerv. Zrakové nervy z oboch očí sa spájajú v chiasma opticum, kde sa charakteristicky krížia. Axóny z mediálnych polovic sietnic sa krížia, z laterálnych polovic prebiehajú homolaterálne a zo žltej škvrny sietnice sa krížia čiastočne. Axóny ďalej vytvárajú dva optické trakty (Tortora & Derrickson, 2009), ktoré smerujú do troch subkortikálnych regiónov, a tými sú nucleus geniculatum laterale talamu, pretektálna area stredného mozgu zaisťujúca zrenicové reflexy a horné hrbolčeky štvorhrbolia stredného mozgu (Gilbert, 2003b). Niektoré vetvy smerujú ešte do hypotalamu, kde riadia spánok a iné aktivity, na ktoré má vplyv striedanie intervalov svetla a tmy (Tortora & Derrickson, 2009). Horné hrbolčeky štvorhrbolia stredného mozgu zjednocujú informácie zo zrakového, sluchového a somatosenzorického aparátu, vďaka ktorým upravujú pohyby hlavy a očí k danému stimulu. Spolupracujú tiež s frontálnym okohybným poľom mozgovej kôry a využívajú tieto senzorické informácie ku riadeniu sakadických pohybov očí. Sú spojené aj s miechou, kde prispievajú ku reflexnej kontrole polohy hlavy a krku a tiež s mozočkom, ktorý ďalej spracováva zrakové informácie. Najdôležitejšie subkortikálne centrum podieľajúce sa na zrakovom vnímaní je nucleus geniculatum laterale talamu, kde smeruje väčšina axónov optického traktu. Ďalej pokračujú ako radiatio optica do primárnej zrakovej oblasti mozgovej kôry (Gilbert, 2003b; Latash,

2008). Táto oblasť sa nachádza na mediálnej strane záhlavného laloku, okolo sulcus calcarinus (Brodmannova area 17). Dochádza tu k dekódovaniu vizuálnej informácie a k jej premene na najjednoduchší zmyslový vnem (Tortora & Derrickson, 2009). Informácie z primárnej zrakovej oblasti mozgovej kôry pokračujú ďalej dvoma cestami. Ventrálnou cestou putujú do spánkového laloku, kde sa integrujú a vytvára sa predstava o tvare objektu a dochádza ku jeho identifikácii. Táto oblasť je sídlom najvyššieho stupňa kortikálneho spracovania vizuálnych informácií. Dorzálna cesta smeruje do čelového a temenného laloku a informuje o tom, kde sa daný stimul nachádza, čo má význam pre vedenie pohybu. Táto oblasť využíva zrkovú informáciu pre vizuomotorickú integráciu (Gilbert, 2003b; Goldberg & Wurtz, 2003).

Pojem zrková ostrosť označuje, s akou presnosťou dokážeme vnímať obrisy a detaily pozorovaných predmetov (Ganong, 2005). Je vyjadrením schopnosti odlišiť dva body v priestore, nachádzajúce sa v minimálnej vzdialenosti medzi sebou. Túto vzdialenosť nazývame ako minimálny zorný uhol, ktorý má u zdravého oka hodnotu aspoň 1'. To znamená, že na to, aby bolo zdravé oko schopné rozoznať od seba dva blízko ležiace body, musia lúče smerujúce od nich zvierat' v uzlovom bode optického systému oka uhol aspoň 1' (Batterbury, Bowling & Murphy, 2009; Gilbert, 2003b). Táto najnižšia hodnota uhlu je v centrálnej jamke sietnice. Smerom do periférie sa hodnota minimálneho zorného uhlu zväčšuje, pretože dochádza ku konvergencii medzi fotoreceptormi a gangliovými bunkami, a tým sa znižuje zrková ostrosť (Kuthan, 2003). Ďalší pojem, s ktorým sa stretávame v súvislosti so zrakom je zorné pole. Zorné pole je označením tej časti priestoru, ktorú vidíme daným okom nehybne upreným vpred (Tortora & Derrickson, 2009). Teoreticky by malo byť kruhové, avšak mediálne je obmedzené nosom a v hornej časti stropom očnice (Ganong, 2005). Vďaka binokulárnemu videniu nám oči poskytujú priestorové videnie. To znamená, že zrkové informácie sú získané súčasne z oboch očí a každé oko vidí objekt z mierne inej perspektívy (Batterbury et al., 2009). Platí, že ak sa daný obraz fixovaného bodu v priestore premieta na identické miesta oboch sietnic (centrálnej jamky sietnice a ďalšie body), dochádza v CNS ku splynutiu oboch obrazových signálov do jedného optického vnemu (Kuthan, 2003). Keď sa však body premietajú na neidentické miesta oboch sietnic, tak CNS síce dokáže zabezpečiť splynutie týchto obrazových signálov, avšak len do vzdialenosti 20' (pričná disparita). Ak je táto vzdialenosť väčšia, dochádza ku dvojitému videniu - diplopii (Ganong, 2005). Na základe informácie o vzdialenosti sietnicovej disparity je CNS schopná vypočítať hĺbku priestoru (Králiček, 2004).

2.6 Vplyv zraku na posturálnu stabilitu

Vizuálny vstup je síce dôležitý, ale nie nevyhnutný pre posturálnu kontrolu. Z toho vyplýva, že človek je schopný udržať rovnováhu aj pri zatvorených očiach (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). S využitím podmienok zatvorených a otvorených očí pri testovaní posturálnej stability súvisí Rombergov kvocient (RK). Rombergov kvocient sa využíva na hodnotenie zrakovej závislosti pri posturálnej stabilite (Lacour et al., 1997). Jeho časté využívanie môžeme vidieť pri posturografii (Furman in Tjernström, Björklund & Malmström, 2015) a jeho hodnotu vypočítame ako pomer posturálnych výchýliek v podmienkach so zatvorenými (EZ) a otvorenými (EO) očami. Hodnota presahujúca 1,0 indikuje väčšie množstvo posturálnych výchýliek pri zatvorených očiach (Tjernström et al., 2015). Ďalšou možnosťou výpočtu je nasledovný vzorec:

$$RK = 100 \cdot \frac{EZ - EO}{EZ + EO}$$

Výsledok blízky nule alebo negatívna hodnota indikujú, že veľkosť posturálnych výchýliek bola podobná alebo menšia v podmienkach so zatvorenými očami, v porovnaní s podmienkami s otvorenými očami. Z toho vyplýva, že vizuálne informácie boli menej dôležité pre posturálnu kontrolu (Lacour et al., 1997).

Vplyv zraku na posturálnu stabilitu bol vo všetkých nasledujúcich výskumoch testovaný na silovej plošine, aby autori mohli sledovať pohyb COP. Testovaní jedinci zaujali väčšinou nekorigovaný pohodlný stoj alebo korigovaný štandardný stoj, ktorý bol definovaný ako stoj s nohami otočenými 30° smerom von a s pätami vo vzdialenosti 3 cm od seba. Jedinci mali ruky spustené voľne pozdĺž tela a ich snahou bolo udržať rovnováhu čo najdlhšie. Vo výskumoch boli vystriedané dve podmienky, a to daný stoj s otvorenými očami a pohľadom fixovaným na cieľ pred sebou alebo stoj so zatvorenými očami.

U autorov Tanaka, Nakashizuka, Uetake a Itoh (2000), ktorí testovali mladých dospelých jedincov, môžeme vo výsledkoch pozorovať zvýšenie výchýliek COP v ML smere pri zavretých očiach. V kontraste s týmito výsledkami je zníženie výchýliek COP v AP smere. Pri podmienkach so zatvorenými očami môžeme sledovať aj vyššie hodnoty celkovej dĺžky trajektórie a priemernej rýchlosti COP. Tieto rozdiely v hodnotách jednotlivých charakteristík pohybu COP pri otvorených a zatvorených očiach však neboli ani v jednom prípade signifikantné. To znamená, že výsledky tejto

štúdie nepodporujú obvyklú predstavu, že pri podmienkach so zatvorenými očami dochádza bezpodmienečne ku zvýšeniu posturálnych výchyliek. Na druhej strane autori Hunter a Hoffman (2001), ktorí sa tiež zaoberali mladými dospelými jedincami, avšak s využitím tandemového stoja, uvádzajú že posturálna stabilita sa celkovo znižuje pri absencii vizuálneho podnetu alebo v experimentálnych podmienkach, v ktorých dochádza ku zmene typu alebo kvality dostupného vizuálneho podnetu.

Vplyvom zraku na posturálnu stabilitu u mladých dospelých jedincov aj jedincov stredného veku sa vo svojom výskume zaoberal Rougier (2003). Tento výskum, na rozdiel od ostatných, zahŕňal navyše stoj s otvorenými očami v úplnej tme. Výsledky ukázali, že pri otvorených očiach došlo ku zníženiu výchyliek COG, pričom výchylky boli menšie aj v úplnej tme s otvorenými očami, v porovnaní s výchylkami pri zatvorených očiach. Autori Wiesmeier et al. (2015) do svojho výskumu zapojili mladých dospelých jedincov, jedincov v strednom veku a seniorov. Výsledky ukázali, že pri zavretých očiach došlo ku zvýšeniu priemernej rýchlosti výchyliek COP u seniorov o 26 %, u dospelých stredného veku o 36 % a u mladých dospelých len o 18 %. Hodnoty priemernej frekvencie výchyliek COP boli u seniorov signifikantne vyššie, v porovnaní s ostatnými dvoma skupinami jedincov. Väčšie hodnoty frekvencie výchyliek COP boli zaznamenané v ML smere u všetkých skupín, a to hlavne v podmienkach so zatvorenými očami, v porovnaní s otvorenými očami.

Porovnaním vplyvu zraku na posturálnu stabilitu u mladých a starších dospelých jedincov sa zaoberali autori Prieto, Myklebust, Hoffmann, Lovett a Myklebust (1996). Vo výsledkoch ich štúdie môžeme pozorovať výraznejšie zmeny priemernej rýchlosti, rozsahu a priemernej frekvencie výchyliek COP v AP smere u starších dospelých, v porovnaní s mladšími jedincami. Na rozdiel od toho, v ML smere neboli nájdené žiadne signifikantné zmeny závislé na veku. Hodnoty variability pohybu COP, priemernej vzdialenosti, rozsahu a veľkosti plochy konfidenčnej elipsy identifikovali rozdiel medzi podmienkami s otvorenými a zatvorenými očami u mladých dospelých, ale neboli nájdené u seniorov. Výsledky tiež poukazujú na to, že hodnoty priemernej vzdialenosti a variability pohybu COP sa signifikantne nemenia v závislosti na veku, na rozdiel od priemernej rýchlosti. Jedine v meraniach priemernej rýchlosti celkových výchyliek COP a priemernej rýchlosti výchyliek COP v AP smere boli zaznamenané zmeny súvisiace s vekom v oboch zrakových podmienkach a tiež rozdiel medzi zrakovými podmienkami v oboch skupinách. Hodnota priemernej rýchlosti výchyliek COP rástla s vekom, pričom bola väčšia v podmienkach so zatvorenými očami.

Hodnoty veľkosti plochy konfidenčnej elipsy a priemernej frekvencie ukázali vekovo závislé zmeny pri zatvorených očiach a rozdiel medzi zrakovými podmienkami u starších jedincov, ale u mladých nie. Autori Abrahamova a Hlavačka (2008) skúmali rozsiahlu škálu jedincov vo vekovom rozpätí 20-82 rokov. Títo jedinci absolvovali testovanie na tvrdej a mäkkej podložke. Výsledky tohto výskumu ukazujú, že výchyľky COP sa zväčšili pri podmienkach so zatvorenými očami, pričom u seniorov boli preukázané väčšie výchyľky COP, v porovnaní s mladými jedincami a jedincami stredného veku. Výchyľky COP v AP a ML smere získali u všetkých skupín najvyššie hodnoty pri zatvorených očiach v stoji na mäkkej podložke. Peterka a Black (1989) uvádzajú, že všetci zúčastnení jedinci ich výskumu, mladší aj starší dospelí, boli veľmi stabilní pri testovaní s otvorenými, ale aj so zatvorenými očami, počas stoji na pevnej podložke. To znamená, že neboli viditeľné žiadne zmeny v posturálnej kontrole závislé na veku. Autori to vysvetľujú tým, že v týchto podmienkach sú prítomné multisenzorické vstupy, ktoré sa spájajú a spolupracujú na generácií vhodnej posturálnej odpovede. Je zrejmé, že jedinci sú dobre prispôbení na prostredie, v ktorom nedochádza ku konfliktu informácií z jednotlivých senzorických vstupov.

Uvádza sa, že priestorová kontrola hlavy a trupu je rozhodujúca pre udržanie rovnováhy, pretože trup predstavuje značné množstvo telesnej hmoty a tvorí aj základňu, na ktorú nasadá hlava spolu so zrakovým a vestibulárnym aparátom (Buchanan & Horak, 1999). Pri stabilizácii polohy hlavy a trupu počas stoji na pohyblivej platforme predstavuje prítomnosť normálneho zrakového vstupu určitú výhodu, čo je v kontraste so situáciou bez prítomnosti zrakového signálu. Tento rozdiel môže byť menej viditeľný pri stoji na stabilnej podložke (Schmid, Casabianca, Bottaro & Schieppati, 2008). Pri pohyboch podložky sú zrakové informácie dôležité hlavne pri kontrole pomalého vychýlenia trupu a pri udržiavaní COP v rámci opornej bázy. Koordinovaný pohyb dolných končatín napomáha tlmiť energiu prichádzajúcu z pohybujúcej sa podložky, čo uľahčuje kontrolu hornej časti trupu a fixáciu hlavy pri otvorených očiach. Ak však dôjde k zatvoreniu očí za rovnakých podmienok pohybu podložky, objavia sa pomalé výchyľky hlavy a trupu. Pri najpomalších pohyboch podložky sú zotrvačné sily pôsobiace na hlavu a trup minimálne, a to pri otvorených aj zatvorených očiach. Zrak zohráva významnú úlohu pri kontrole pozície hlavy a COM v priestore, hlavne pri vysokých frekvenciách pohybu podložky. To znamená, že vplyv zraku sa zvyšuje so stúpajúcou frekvenciou. Pri dostupnosti zrakovej informácie došlo k redukcii variability polohy hlavy aj COM, čo naznačuje, že fixácia hlavy a trupu

v priestore je funkčne spojená so stabilizáciou postury (Buchanan & Horak, 1999). Autori ďalšieho výskumu na základe svojich výsledkov konštatujú, že zrak určuje výber rovnovážneho vzoru rozhodujúcim spôsobom a tiež, že stabilizácia polohy hlavy umožňuje ľahšie využívanie informácií o prostredí (Schmid et al., 2008). Neschopnosť človeka, presne si uvedomiť pozíciu a pohyb tela v priestore, môže byť určitou predispozíciou ku pádom. Napr. starší ľudia s oslabeným zrakom, si ťažšie uvedomujú a reagujú na pohyby tela pri stoji a chôdzi na nerovnom alebo mäkkom povrchu (Lord & Menz, 2000). Príkladom môže byť aj výskum autorov Mergner, Schweigart, Maurer a Blümle (2005), v ktorom bolo ukázané, že vizuálny stimul (pohyb kabíny s optokinetickým vzorom) vyvolal vychýlenie COP. U zdravých jedincov, ktorí stáli na stabilnej podložke, však vyvolal menší a pomalší posun COP ako v situácii, kedy stáli na pohyblivej podložke.

Zrak ako celok, ale aj kvalita jeho jednotlivých prvkov majú vplyv na posturálnu stabilitu. Výsledky výskumu autorov Schmid et al. (2008) poukazujú na vzťah medzi zrakovou ostrosťou a posturálnou stabilitou. Pri stoji na pohyblivej podložke dochádzalo u jedincov s poklesom zrakovej ostrosti ku zhoršeniu stabilizácie hlavy. Tým sa telo dostávalo bližšie ku hraniciam udržania rovnováhy, čo vyžadovalo energeticky náročnejšie zvýšenie práce svalov. Aj autori Lord, Rogers, Howland a Fitzpatrick (1999) potvrdzujú vzťah medzi zrakovou ostrosťou a posturálnou stabilitou. Vo svojom výskume zaznamenali prítomnosť slabšej zrakovej ostrosti u seniorov, ktorí niekedy utrpeli pád, v porovnaní s jedincami bez skúsenosti s pádom. Na druhej strane autori Uchiyama a Demura (2008) vo svojom výskume preukázali, že u jedincov s nízkou zrakovou ostrosťou boli zaznamenané signifikantne menšie posturálne výchylky v AP smere pri otvorených očiach. Taktiež boli zaznamenané menšie vysokofrekvenčné výchylky pri zatvorených očiach, v porovnaní s jedincami s vysokou zrakovou ostrosťou. Autori Uchiyama a Demura (2007) na základe výsledkov svojho výskumu konštatujú, že u jedincov so slabou zrakovou ostrosťou môžeme pozorovať malý vplyv zmien vizuálnych podnetov na výchylky COP, čo však neplatí u jedincov s korekciou zraku.

Autori viacerých štúdií sa zaoberali otázkou, či je pre udržanie posturálnej stability dôležitejšie centrálné alebo periférne zrakové pole. Za periférne zrakové pole sa pokladá oblasť sietnice, ktorá obklopuje to centrálné (Berencsi, Ishihara & Imanaka, 2005), ale na hodnote veľkosti centrálného zrakového poľa sa autori nevedia zhodnúť.

Môžeme nájsť hodnoty 2°- 4° alebo 7° centrálného zrkového poľa (Daniel & Whitteridge in Horiuchi, Ishihara & Imanaka, 2017; Osaka in Berencsi et al., 2005).

Výskum autorov Schmid et al. (2008), ktorý sa zaoberal otázkou vplyvu centrálného a periférneho zrkového poľa na posturálnu stabilitu u jedincov stojacich na pohybujúcej sa platforme, ukázal nasledujúce výsledky. Výchyľky hlavy boli pri prítomnosti výhradne centrálného zrkového poľa väčšie, v porovnaní s využitím celého zrkového poľa. Z toho autori usudzujú, že súčasná prítomnosť periférneho zrkového poľa značne prispieva ku stabilizácii hlavy počas stoja na pohyblivej podložke. Pri prítomnosti samotného periférneho poľa však došlo ku zvýšeniu oscilácie hlavy, v porovnaní so situáciami, kedy bolo k dispozícii len centrálné alebo celé vizuálne pole. Zároveň bolo však toto zvýšenie menšie ako pri podmienkach so zatvorenými očami. Autori Uchiyama a Demura (2008) potvrdzujú závery z prechádzajúceho výskumu, a to že dominantnú úlohu pri posturálnej stabilizácii môže zohrávať periférne zrkové pole. Toto usudzujú na základe výsledkov, kde sledujeme, že rýchlosť výchyľiek COP bola vyššia pri prítomnosti len centrálného zrkového poľa, v porovnaní s prítomnosťou celého zrkového poľa. To znamená, že periférne aj centrálné zrkové pole zohrávajú významnú úlohu pri posturálnej stabilizácii. Autori Berencsi et al. (2005) zas uvádzajú, že pri zrkových signáloch prichádzajúcich z periférneho zrkového poľa dochádza ku zníženiu posturálnych výchyľiek. To znamená, že môžeme pozorovať stabilnejší stoj ako za situácie, kedy vizuálny podnet prichádza len z centrálného zrkového poľa. Zníženie amplitúdy posturálnych výchyľiek môžeme pozorovať skôr v AP smere ako v ML smere. Presnejšie povedané, tento stabilizujúci efekt periférneho zrkového poľa pôsobí v smere vizuálneho podnetu (v smere postavenia hlavy, pohľadu), bez ohľadu na postavenie trupu. V tomto výskume nebol zaznamenaný signifikantný rozdiel v posturálnych výchyľkách za podmienok signálu prichádzajúceho z periférneho zrkového poľa a za prítomnosti celého zrkového poľa. Najväčšie výchyľky COP v AP smere boli zaznamenané pri prítomnosti signálov prichádzajúcich len z centrálného zrkového poľa. Aj autori Horiuchi et al. (2017) skúmali vplyv centrálného a periférneho zrkového poľa na posturálnu stabilitu, ale za prítomnosti alebo bez prítomnosti optického toku (použitie okuliarov s displejom). Za prítomnosti optického toku bola celková dĺžka výchyľiek COP menšia, a to pri prítomnosti periférneho alebo celého zrkového poľa, v porovnaní s prítomnosťou iba centrálného zrkového poľa alebo bez prítomnosti zrkového signálu. Na rozdiel od týchto výsledkov, pri podmienkach bez optického

toku nebol zreteľný žiadny signifikantný rozdiel vo výchylkách COP pri jednotlivých vizuálnych podmienkach. Z toho by vyplývalo, že periférne zrakové pole neprispieva ku lepšej posturálnej kontrole pokojného stoja do tej doby, pokým nie je prítomný aj optický tok. Autori predpokladajú, že centrálné zrakové pole pravdepodobne neprispieva ku udržaniu stabilného stoja aj za prítomnosti optického toku, pretože neboli zaznamenané žiadne signifikantné rozdiely v posturálnych výchylkách oproti podmienkam bez prítomnosti zrakového signálu. Autori usudzujú, že určitý poloautomatický proces minimalizuje posturálne výchylky na základe informácií získaných optickým tokom. To znamená, že napr. pri náklone tela smerom dopredu dôjde ku zmenšeniu vzdialenosti medzi sietnicou a objektom, a tým dochádza ku expanzii optického toku na sietnici. Následne je vyvolaný spätný pohyb tela, ktorý minimalizuje túto expanziu. Rovnaký princíp platí aj opačne.

2.7 Pohyby očí a ich vplyv na posturálnu stabilitu

2.7.1 Rozdelenie a riadenie pohybov očí

Dokonalú pohyblivosť očnej gule zabezpečuje šesť priečne pruhovaných očných svalov. Medzi ne patria m. rectus superior, inferior a medius a m. obliquus inferior inervované okohybným nervom; m. obliquus superior inervovaný kladkovým nervom a m. rectus lateralis inervovaný odťahujúcim nervom. Pri pohyboch očnej gule hovoríme o jej abdukcii, addukcii, elevácii, depresii, intorzii a extorzii (rotácia bez zmeny smeru pohľadu). Menované svaly očí sú bohaté na svalové vretienka (Latash, 2008), a preto patria medzi najbohatšie propioceptívne zdroje človeka a môžu hrať významnú úlohu pri stabilizácii tela (Büttner-Ennever & Büttner in Rey et al., 2008). Malé motorické jednotky v týchto svaloch zabezpečujú hladké, presné a rýchle pohyby očí (Tortora & Derrickson, 2009).

Očné pohyby ako také rozdeľujeme na voľné a mimovoľné (automatické). Predpokladá sa, že prvotný popud k voľnému pohľadu vychádza z kaudálnej časti temenného laloku. Táto oblasť je súčasťou informačnej cesty, ktorá zaisťuje detekciu pohybu a polohy sledovaného predmetu. V spolupráci s limbickým systémom generuje tiež motorický vzorec smerujúci pozornosť človeka na vizuálny objekt, ktorý sa vyskytne v jeho zornom poli. Táto oblasť mozgovej kôry je prostredníctvom asociačných vlákien prepojená s čelovým lalokom a jeho motorickými oblasťami. V súvislosti s očnými pohybmi je dôležité hlavne frontálne okohybné pole, kde sa

iniciuje voľný pohľad. Axóny vedúce z tejto oblasti, smerujú do retikulárnej formácie a prostredníctvom fasciculus longitudinalis medialis sú prepojené s jadrami okohybných nervov (Králíček, 2004). Pri pozorovaní objektu pohybujúceho sa v zornom poli horizontálne alebo vertikálne, dochádza ku symetrickému vychýľovaniu oboch očí v rovnakom smere. Tento druh vzájomného pohybu označujeme ako konjugovaný. Ak sa však pozorovaný predmet pohybuje v AP smere, hovoríme o disjunktívnom pohybe očných gúľ. To znamená, že obe oči sa síce pohybujú symetricky, ale v smere navzájom opačnom (Fukushima, Kaneko & Fuchs, 1992). Tieto pohyby očí zabezpečujú fixáciu pohľadu na ciele, ktoré majú rôznu hĺbku (Latash, 2008). Pri pohybe objektu od pozorovateľa, zorné osy oboch očí divergujú a pri opačnom pohybe objektu zas konvergujú. Účelom pohybov očí je to, aby sa obraz daného objektu vytváral na identických miestach sietnice, a teda CNS bola schopná zaistiť splynutie oboch obrazových signálov do jedného optického vnemu. Ak dôjde k porušeniu symetrickosti pohybu očí, vzniká strabizmus a s ním spojená diplopia (Králíček, 2004). Ďalším druhom pohybu sú sakadické pohyby očí, ktoré sa vyznačujú mimoriadnou rýchlosťou (Ganong, 2005) (trvajú menej ako 40 ms) a slúžia k rýchlemu nasmerovaniu centrálnej jamky sietnice na objekt, ktorý sa pohybuje v zornom poli. Tieto pohyby očí môžu byť nahradené aj pohybmi hlavy alebo tela (Goldberg & Wurtz, 2003). Pod voľnou kontrolou človeka je ich smer a veľkosť, ale nie ich rýchlosť. Sakadické pohyby očí sú príkladom pohybu, ktorý je kontrolovaný dopredným spôsobom (feedforward), pretože počas ich výkonu nie je dostatočný čas pre spätnoväzbový (feedback) efekt (Latash, 2008). Pre generovanie sakadických pohybov očí sú dôležité horné hrbolčeky štvorhrbolia stredného mozgu, ktoré prostredníctvom tractus tectoreticularis prevádzajú motorické povely k jadram okohybných nervov (Králíček, 2004). Sakadické pohyby očí sú riadené mozgovou kôrou spolu s bazálnymi gangliami a sú generované v retikulárnych centrách Varolovho mostu a stredného mozgu. Presnejšie povedané, retikulárna formácia Varolovho mostu vytvára horizontálne sakády a retikulárna formácia stredného mozgu tie vertikálne (Latash, 2008). Hladké sledovacie pohyby očí nám zas umožňujú udržať obraz sledovaného objektu v pohybe na centrálnej jamke sietnice. Je to však možné len do momentu, pokiaľ rýchlosť pohybu vizuálneho podnetu neprekročí rýchlosť 25-30°/s (Králíček, 2004), ale Latash (2008) udáva maximálnu rýchlosť týchto pohybov očí až okolo 100°/s. Ich riadenie je veľmi komplexné (Latash, 2008) a jeho kľúčovou štruktúrou sú oblasti mozgovej kôry detegujúce pohybovú zložku zrakovej informácie. Odtiaľto idú vlákna cez tractus

corticotectalis do horných hrbolčekov štvorhrbolia stredného mozgu a prostredníctvom neurónov retikulárnej formácie sú spojené s jadrami okoohybných nervov (Králíček, 2004). Vlastné sledovacie pohyby sú programované v mozočku (Ganong, 2005). Kombináciu týchto pohybov, v zmysle rytmického striedania pomalého hladkého sledovacieho pohybu a rýchleho sakadického pohybu v opačnom smere môžeme pozorovať u optokinetického nystagmu (Fukushima et al., 1992). Pri náhlej zmene polohy hlavy dochádza ku vychýleniu oboch očí opačným smerom, čo umožňuje udržať obraz sledovaného objektu na sietnici a táto reakcia predstavuje vestibulookulomotorický reflex (okulocefatický reflex) (Latash, 2008). Táto reakcia je iniciovaná vestibulárnym aparátom detegujúcim pohyb a zmenu polohy hlavy z čoho vyplýva, že menovaný reflex prebieha aj pri zatvorených očiach (Fukushima et al., 1992). Ak rotácia hlavy pokračuje ďalej po tom, ako oči dosiahli okraj očnice, oči neostávajú v tejto extrémnej pozícii, ale rýchlo zmenia smer pohybu a vrátia sa naspäť (rýchla fáza nystagmu). Celkovo tento fenomén nazývame vestibulárnym nystagmom (Latash, 2008). V situácií, v ktorej sa pozorovateľ ani objekt nepohybujú, vykonávajú oči dva typy veľmi drobných mimovoľných pohybov. Zaraďujeme sem drobné, pomalé, kĺzavé pohyby oka z jednej strany na druhú a rýchle trhavé pohyby. Tieto trhavé pohyby očí vracajú obraz sledovaného objektu na centrálnu jamku v prípade, že došlo k jeho vychýleniu z dôvodu predchádzajúceho pohybu oka. Tieto dva druhy pohybov sú charakteristické tým, že obe oči sa pohybujú nezávisle na sebe a asymetricky (Králíček, 2004). Ak by bol obraz na sietnici stabilizovaný, došlo by počas niekoľkých sekúnd ku vyblednutiu a až ku zániku obrazového vnemu. To znamená, že je nutný neustály drobný pohyb obrazu na sietnici, aby sme boli schopní sústavne vidieť objekty okolo nás (Gilbert, 2003a).

2.7.2 Porovnanie sakadických a hladkých sledovacích pohybov očí

Vo výskumoch zaoberajúcich sa vzťahom pohybu očí a posturálnej kontroly bol často porovnávaný vplyv hladkých sledovacích pohybov očí, sakadických pohybov očí a fixácie pohľadu na posturálnu stabilitu. Vo väčšine výskumov mali jedinci zaujať stoj, pri ktorom boli dolné končatiny vzdialené od seba na šírku panvy. Jedinci stáli na silovej plošine, ktorá autorom poskytovala informácie o pohybe COP počas jednotlivých vizuálnych podmienok. Úlohou jedincov bolo udržať vzpriamený stoj, pričom ruky mali ostať spustené pozdĺž tela. Zrakom nemali predbiehať, ale nasledovať

pohyb bodu. Taktiež sa mali vyhýbať pohybom hlavy počas testovania, čo však nedostali vždy ako pokyn. Vo všetkých nižšie spomenutých výskumoch sa rozsah pohybu zrakového stimulu určil tak, aby pohyby hlavy neboli pri vykonávaní určených pohybov očí potrebné. Autori pre kontrolu alebo nahrávanie pohybov očí u daných jedincov využívali kameru.

Vo výskume Rodrigues et al. (2015) boli porovnávané sakadické a hladké sledovacie pohyby očí u mladých dospelých jedincov, pričom pohyby očí boli vykonávané len v horizontálnom smere. Pri meraní boli využité dve frekvencie pohybu zrakového podnetu, a to 0,5 Hz a 1,1 Hz. Tieto pokusy boli vykonávané v náhodnom poradí. Výsledky ukázali, že pri sakadických pohyboch očí dochádza ku zníženiu posturálnych výchyliek. Na druhej strane však autori zistili, že aj pri hladkých sledovacích pohyboch dochádza ku zníženiu posturálnych výchyliek, v porovnaní s posturálnymi výchylkami pri fixovanom pohľade. Navyše sa ukázalo, že dve odlišné frekvencie pohybu vizuálneho podnetu majú rovnaký efekt zníženia posturálnych výchyliek u oboch druhov pohybov očí. Autori Schulmann, Godfrey a Fisher (1987) skúmali tieto dva druhy pohybov očí na dynamickú stabilitu u mladých dospelých jedincov. Jedinci pri testovaní stáli na stabilometrickej plošine pohyblivej vo frontálnej rovine a ich úlohou bolo udržať plošinu čo najdlhšie v horizontálnej polohe. Výsledky ukázali, že pri prvých troch pokusoch s fixovaným pohľadom na stabilný bod došlo k zvyšovaniu času, počas ktorého dokázali jedinci udržať plošinu v horizontálnej polohe. Pri nasledujúcich pokusoch v rovnakých podmienkach sa však hodnota tohto času stabilizovala, čo by poukazovalo na to, že jedinci sa po troch pokusoch naučili danú úlohu. Výsledky tiež ukázali, že tento čas bol signifikantne dlhší pri fixovanom pohľade a pri sakadických pohyboch očí, v porovnaní s hladkými sledovacími pohybmi. Tieto výsledky boli v súlade so subjektívnymi názormi jedincov - až 75 % jedincov sa zhodovalo v tom, že najnáročnejšou úlohou boli hladké sledovacie pohyby očí. Autori teda uvádzajú, že fixácia pohľadu a sakadické pohyby očí posilňujú kontrolu dynamickej stability na rozdiel od sledovacích pohybov, ktoré ju oslabujú. Autori Glasauer, Schneider, Jahn, Strupp a Brandt (2005) sa vo svojom výskume zaoberali mladými dospelými jedincami, pričom testovanie prebiehalo v tandemovom stoji. Výsledky ukázali, že pomalé sledovacie pohyby očí, ale aj v kombinácii s pohybom hlavy vyvolali signifikantné posturálne výchylky. Sledovacie pohyby v tme vyvolali väčšie množstvo titubácií ako fixácia zraku na stabilný cieľ.

Autori Thomas, Bampouras, Donovan a Dewhurst (2016) testovali vplyv sakadických, hladkých sledovacích pohybov očí a fixácie zraku na posturálnu stabilitu za využitia stabilného alebo pohyblivého pozadia. Výskumu sa zúčastnili mladí dospelí jedinci a seniori a meranie prebiehalo v stojí spojnom. Vizuálne stimuly (body) pre aktiváciu oboch pohybov očí prebiehali v rozsahu 6° a s frekvenciou 0,33 Hz. Tieto body sa objavovali náhodne v horizontálnom, vertikálnom a diagonálnom smere, čiže jedinec nemohol predpovedať ich smer pohybu. Vo výsledkoch môžeme vidieť, že pri zrakovej fixácii stabilného cieľa v tme, došlo ku zníženiu posturálnych výchyliek. Pri sakadických pohyboch očí, v porovnaní s fixáciou stabilného bodu, neboli nájdené žiadne zmeny v posturálnych výchylkách. Počas hladkých sledovacích pohybov očí došlo ku nárastu posturálnych výchyliek pri statickom pozadí, v porovnaní so sakadickými pohybmi očí. Autori to odôvodňujú tým, že na sietnici sa mohlo zdať, že cieľ je stabilný, ale pozadie sa voči nemu posunulo na sietnici opačným smerom. Toto generovalo rovnaký vzor sietnicového toku ako pri pohybujúcom sa pozadí, čo spôsobilo náročnejšiu situáciu pre odhad pozície tela v priestore. Stabilné pozadie ovplyvňovalo posturálnu kontrolu tým, že dovoľovalo presnejšie odhadnúť polohu tela v priestore. Na druhej strane, pohybujúce sa pozadie malo destabilizujúci efekt počas všetkých testovaných pohybov očí. Všetky zmeny v posturálnych výchylkách pri daných meraniach boli zaznamenané v ML smere. To by nasvedčovalo tomu, že pri stojí spojnom je na rozdiel od normálneho stoja stabilita v AP smere lepšia. Vo výsledkoch neboli nájdené žiadne rozdiely medzi skupinami jedincov, z čoho vyplýva, že starší jedinci využívali zrakové informácie ku posturálnej kontrole a pri rozlišovaní pohybu tela od pohybu vonkajšieho prostredia rovnako efektívne ako mladí jedinci. Vo výskume autora Bae (2016) boli testovaní seniori rozdelení do dvoch skupín. Seniori v prvej skupine fixovali zrakom stabilný bod v priebehu dvoch minút, potom si na 30 sekúnd zavreli oči a následne 5 minút vykonávali sakadické pohyby očí s frekvenciou 0,5 Hz. Nakoniec znova 30 sekúnd držali oči zatvorené. Druhá skupina vykonávala to isté, ale sakadické pohyby očí boli nahradené hladkými sledovacími pohybmi. Pohyby očí boli vykonávané náhodne v horizontálnom a vertikálnom smere. Vždy pred a po intervencii autor zaznamenával pohyb COP a plochu kontaktu plochy, pretože plocha kontaktu nohy s podložkou je priamo úmerná vstupu z kožných receptorov. Vo výsledkoch môžeme vidieť, že plocha kontaktu signifikantne vzrástla na oboch nohách po oboch intervenciách. Na druhej strane sa plocha konfidencnej elipsy, dĺžka trajektórie a rýchlosť pohybu COP signifikantne znížila v oboch skupinách

pri meraní s otvorenými očami. Dĺžka trajektórie a priemerná rýchlosť pohybu COP bola však v skupine so sakadickými pohybmi očí signifikantne nižšia ako v druhej skupine. Pri podmienkach merania so zatvorenými očami bolo zreteľné signifikantné zníženie všetkých parametrov pohybu COP u oboch skupín. Skupina so sakadickými pohybmi očí znova zaznamenala väčšiu mieru zníženia dĺžky trajektórie a rýchlosti výchyliek COP. Na základe týchto výsledkov autor usudzuje, že hladké sledovacie a sakadické pohyby očí aktivujú propioceptory extraokulárnych svalov, čo pozitívne ovplyvňuje posturálnu stabilitu.

2.7.3 Vplyv sakadických pohybov očí na posturálnu stabilitu

V nasledujúcich výskumoch bol skúmaný vplyv sakadických pohybov očí, vyvolaných vizuálnymi stimulmi na posturálnu stabilitu. Porovnávaný bol aj vplyv rôznych frekvencií sakád na posturálnu stabilitu, pričom testovanie prebiehalo v rôznych druhoch stoja. Jedinci stáli na silových plošinách, aby autori mohli získať informácie o pohybe COP. Od jedincov sa vyžadovalo, aby zrakom nepredbiehali, ale nasledovali daný vizuálny stimul a tiež, aby ruky nechali voľne pozdĺž tela. Rozsah pohybu vizuálnych stimulov bol taký, aby neboli potrebné pohyby hlavy, avšak tie neboli vyslovene zakázané. Pohyby očí boli kontrolované alebo nahrávané kamerou.

Autori Aguiar et al. (2015) porovnávali vplyv fixovaného pohľadu a horizontálnych sakadických pohybov očí s frekvenciou 0,5 Hz a 1,1 Hz na posturálnu kontrolu u seniorov. Boli vystriedané dva druhy stoja, a to stoj spojný a stoj na šírku ramien. Rovnaké podmienky využili vo svojom výskume aj Rodrigues et al. (2013), avšak oni svoj výskum aplikovali na mladých jedincoch. Vo výsledkoch bolo zaznamenané, že pri sakadických pohyboch očí u seniorov, ale aj mladých jedincov, sa znížila veľkosť posturálnych výchyliek, v porovnaní so zrkovou fixáciou stabilného bodu (Aguiar et al., 2015; Rodrigues et al., 2013). Ďalej bola u seniorov viditeľná podobná veľkosť a frekvencia posturálnych výchyliek v AP smere pri oboch druhoch stoja počas sakadických pohybov očí. Tieto výsledky poukazujú na rigidnejšiu stratégiu posturálnej kontroly u seniorov, ktorá nepovoľuje väčšie posturálne výchylky pri náročnejších podmienkach (stoj spojný) počas vykonávania daných pohybov očí (Aguiar et al., 2015). Odlišné výsledky boli zaznamenané u mladých jedincov, u ktorých boli posturálne výchylky v AP smere väčšie pri stoji spojnóm, na rozdiel od stoja o šírke ramien (Rodrigues et al., 2013). V ML smere bolo u seniorov pozorované zvýšenie veľkosti a frekvencie posturálnych výchyliek pri stoji spojnóm

(Aguiar et al., 2015). Tieto výsledky môžeme sledovať aj u mladých jedincov s tým rozdielom, že pri stojí o šírke ramien počas rýchlych sakadických pohybov očí dochádzalo ku zníženiu posturálnych výchýliek (Rodrigues et al., 2013). V týchto výskumoch zohrávala dôležitú úlohu aj frekvencia sakadických pohybov očí. Pri nižšej frekvencii sakád bol zaznamenaný pokles posturálnych výchýliek, v porovnaní s podmienkami, pri ktorých bol zrak fixovaný. Pri vyššej frekvencii sakád však môžeme pozorovať ešte výraznejší pokles posturálnych výchýliek. Mechanizmus stabilizácie pri podmienkach s fixovaným pohľadom je založený hlavne na aferentných informáciách, kedy sa telo snaží minimalizovať zmeny v optickom toku. Na druhej strane sa pri sakadických pohyboch očí dostáva do popredia eferentná informácia a plánovanie sakád očí zahŕňa mechanizmus doprednej (feedforward) kontroly. Pri sakadických pohyboch vyššej frekvencie je plánovací čas zredukovaný, čo môže byť dôvodom rozdielnosti posturálnych výchýliek pri jednotlivých frekvenciách sakád (Aguiar et al., 2015). Ak je čas pre plánovanie sakadického pohybu očí dostatočný, zmena náročnosti stoja nezmení posturálne výchýlky. Ak však tento čas dostatočný nie je (vyššia frekvencia výchýliek), dochádza k výraznej redukcii posturálnych výchýliek len pri ľahšom stojí (stoj na šírku ramien) (Rodrigues et al., 2013).

Autori Stoffregen, Bardy, Bonnet, Hove a Oullier (2007) skúmali vplyv sakadických pohybov očí s frekvenciou 0,5 Hz; 0,8 Hz a 1,1 Hz na posturálnu stabilitu u mladých dospelých jedincov. Vo výsledkoch bol zaznamenaný pokles variability pohybu COP v ML smere počas sakadických pohybov očí všetkých frekvencií, v porovnaní s posturálnymi výchýlkami pri fixovanom pohľade. V AP smere neboli zaznamenané žiadne zmeny výchýliek COP. Autori to odôvodňujú tým, že pre väčšinu zdravých dospelých jedincov je riziko pádu nízke, a preto facilitácia supra-posturálneho výkonu môže hrať dôležitú úlohu pre posturálnu kontrolu. V tomto prípade to môže znamenať to, že jedinec zredukuje posturálne výchýlky, a tým facilituje pohyby očí, aby úspešne udržali vizuálny podnet dopadať na centrálnu jamku.

Autori Rougier a Garin (2007) testovali tri rôzne vizuálne podmienky u mladých dospelých jedincov a ich vplyv na rovnováhu pri normálnom stojí. Tieto podmienky zahŕňali zrkovú fixáciu stabilného bodu a sakadické pohyby očí vo vertikálnom a horizontálnom smere s frekvenciou 1 Hz, kedy bol rytmus udávaný metronómom. Výsledky ukázali, že pri oboch druhoch sakadických pohybov očí došlo ku zníženiu amplitúdy výchýliek COP v oboch smeroch. Tieto výsledky podporujú teóriu, že určité pohyby očí môžu meniť posturálnu kontrolu pri udržiavaní vzpriameného stoja.

Autori Stoffregen, Bardy, Bonnet a Pagulayan (2006) testovali u mladých dospelých jedincov štyri rôzne vizuálne podmienky. Tie zahŕňali zrakovú fixáciu s otvorenými a zatvorenými očami a vykonávanie sakád pri otvorených a zatvorených očiach (snaha jedinca o rovnakú amplitúdu pohybu a rytmus udával metronóm). Vo výsledkoch môžeme pozorovať redukciu výchyliek hlavy a trupu v ML smere pri vykonávaní sakadických pohybov očí, v porovnaní s výchylkami pri fixácii očí. Pri zavretých očiach bola variabilita výchyliek hlavy (ale nie trupu) v ML smere menšia pri sakadických pohyboch očí ako pri fixácii. Autori to odôvodňujú tým, že redukciou pohybov hlavy došlo k väčšiemu sústredeniu sa na zvukové signály udávané metronómom. Odôvodnením môže byť aj to, že pri zatvorených očiach jedinec prichádza o zrakovú informáciu, a tým pádom sa musí viac spoliehať na propiocepciu a vestibulárny aparát. Redukciou pohybov hlavy predchádza tomu, že by sa propioceptívne a vestibulárne informácie o pohyboch hlavy nezhodovali alebo boli v konflikte s informáciami o pohybe očí. Variabilita výchyliek trupu aj hlavy v oboch smeroch bola menšia pri sakadických pohyboch očí s otvorenými očami, v porovnaní so zatvorenými očami. Z toho vyplýva, že redukcia posturálnych výchyliek slúži ku facilitácii pohybov očí, ale vizuálne vedených (Stoffregen et al., 2006).

Autori Rey et al. (2008) vo svojom výskume na mladých dospelých jedincoch využili sakadické pohyby očí v horizontálnom a vertikálnom smere s frekvenciou 1 Hz. Obrazovka, na ktorej sa premietali vizuálne stimuly vo forme bodov, bola vo vzdialenosti 40 cm a 200 cm. Hlavný efekt odlišných vzdialeností zrakového stimulu bol viditeľný hlavne na ploche výchyliek COP, v posturálnych výchylkách v ML smere a v rozptyle rýchlosti COP. Hodnoty týchto troch parametrov boli signifikantne vyššie pri väčšej vzdialenosti objektu. Z toho vyplýva, že posturálna stabilita je lepšia pri menšej vzdialenosti objektu. Pohyby očí mali signifikantný efekt jedine na posturálne výchylky v AP smere, pričom tieto výchylky boli nižšie pri sakadických pohyboch očí ako pri fixovanom pohľade. Nebol pozorovaný ani signifikantný rozdiel v posturálnych výchylkách v AP smere medzi horizontálnymi a vertikálnymi sakádami. Možným vysvetlením prečo vykonávanie sakadických pohybov očí znižuje posturálne výchylky hlavne v AP smere je, že nechcený pohyb v tomto smere by zmenil uhol samotného vizuálneho cieľa. Realizácia presných sakadických pohybov očí medzi cieľmi redukuje malé prirodzené posturálne výchylky v tomto smere. Autori na záver uvádzajú, že sakadické pohyby očí nezávisle na ich smere a vzdialenosti nenarušujú kvalitu posturálnej kontroly. Na druhej strane však môžu zlepšiť určité jej

aspekty, ako je napr. redukcia posturálnych výchyliek v AP smere. Zvýšenie propioceptívnych signálov z okohybných svalov môže prispieť ku udržaniu alebo zlepšeniu posturálnej stability pri vykonávaní sakád (Rey et al., 2008).

Ďalším výskumom, ktorý sa zaoberal vplyvom horizontálnych sakadických pohybov očí, bol výskum autorov White, Post a Leibowitz (1980). Tí, pre zvýšenie laterálnych posturálnych výchyliek, využili testovanie pri stoji na jednej dolnej končatine. Testované boli dve rôzne vizuálne podmienky. V prvom prípade probandi vykonávali horizontálne sakadické pohyby očí na základe striedavého osvetľovania jednotlivých bodov. V druhom prípade mali jedinci za úlohu pohľadom fixovať jeden bod a boli vykonávané pohyby pozadia rovnakou rýchlosťou ako v predchádzajúcej úlohe, aby stimulovali sakadické pohyby očí. Výsledky poukazujú na to, že sakadické pohyby očí majú malý vplyv na titubácie tela. V druhom teste sa zas ukázalo, že pri pohyboch pozadia vyvolávajúcich sakády očí sa signifikantne zvýšili všetky frekvenčné komponenty posturálnych výchyliek. Posturálna stabilita bola významne zmenená, čo spôsobilo, že jedinci začali padať alebo znížili postavenie zdvihnutej dolnej končatiny, aby sa vyhli pádu. Z toho autori usudzujú, že posturálne výchylky sú závislé na pohybe sietnicového obrazu, na základe voľných pohybov očí alebo pohybov produkovaných vonkajšími podmienkami.

Autori Hunter a Hoffman (2001) využili vo svojom výskume na mladých dospelých jedincoch tandemový stoj. Výsledky ukázali, že sakadické pohyby očí mali signifikantný efekt na variabilitu výchyliek COP v ML smere na rozdiel od AP smeru. Taktiež bola zaznamenaná väčšia variabilita pohybu COP, v porovnaní so situáciou, v ktorej neboli vykonávané pohyby očí a pohľad bol fixovaný.

V uvedených výskumoch, ktoré sa zaoberali pohybmi očí a ich vplyvom na posturálnu stabilitu môžeme pozorovať, že hladké sledovacie pohyby očí vyvolali vo väčšine prípadov zvýšenie posturálnych výchyliek, a teda mali efekt destabilizačný. Bolo preukázané, že sakadické pohyby očí zabezpečujú lokalizáciu objektov a ich vykonávanie malo malý vplyv na titubácie tela, čiže nenarušovali kvalitu posturálnej kontroly. Dokonca redukovali posturálne výchylky v oboch smeroch, ale hlavne v AP smere, v porovnaní s podmienkami pri fixovanom pohľade. Tieto výsledky však neboli zhodné naprieč uvedenými výskumami. V niektorých výskumoch sme sa stretli s tým, že redukcia výchyliek sa objavila hlavne v ML smere alebo autori nepozorovali žiadnu zmenu posturálnych výchyliek, v porovnaní so zrakovou fixáciou. Výsledky sa tiež nezhodujú vo vplyve frekvencie sakád na posturálnu stabilitu. V niektorých výskumoch

je uvedené, že dve rozdielne frekvencie mali rovnaký vplyv na zníženie posturálnych výchyliek a v druhom, že čím vyššia bola frekvencia sakád, tým výraznejší bol pokles posturálnych výchyliek. Nebol pozorovaný ani signifikantný rozdiel v posturálnych výchylkách počas vykonávania horizontálnych a vertikálnych sakád, a to hlavne v AP smere. Veľký vplyv na rozdielnosť týchto výsledkov môže mať zaujatie rôznych druhov stoja pri meraní, využitie iných frekvencií pohybujúceho sa vizuálneho stimulu, vek jedincov alebo ďalšie odlišnosti medzi podmienkami uvedených výskumov.

2.8 Vplyv starnutia na posturálnu stabilitu

Faktory podmieňujúce starnutie rozdeľujeme na primárne - genetické, ktoré majú obmedzenú kontrolu a sekundárne - vonkajšie (vplyv životného štýlu), nad ktorými máme značnú kontrolu. Starnutie nemusí byť charakterizované celkovým poklesom funkcie, pretože môže byť obmedzená len určitá funkcia alebo nervová štruktúra (Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

Prejavy starnutia môžeme pozorovať napr. na muskuloskeletálnom systéme, ktorý je dôležitý pre kontrolu rovnováhy. S vekom dochádza ku znižovaniu flexibility kĺbov, atrofii svalových vlákien II. typu a tiež k redukcii svalovej sily (Tang & Woollacott, 2004). Podľa výsledkov štúdie autorov Hughes et al. (2001) dochádza starnutím ku značnému dlhodobému poklesu v produkcii maximálnej sily svalových skupín na horných aj dolných končatinách. U starších jedincov autori pozorujú relatívne väčšiu stratu sily na dolných končatinách ako u mladších jedincov. Aj keď sa u seniorov predpokladá pokles svalovej sily, u niektorých dochádza ku jej zvýšeniu na základe cvičenia. U jedincov, ktorí nadobudli určitú svalovú hmotu boli zistené menšie straty svalovej sily alebo dokonca jej zvýšenie. V kontraste s týmito výsledkami boli jedinci, u ktorých síce došlo k nárastu svalovej hmoty, ale zároveň aj k poklesu svalovej sily. Autori z toho usudzujú, že samotný vek nie je pôvodcov zmien svalovej sily, ale dôležité sú aj iné nemerateľné faktory súvisiace so starnutím.

S narastajúcim vekom môžeme sledovať aj zmeny v rovnovážnej funkcii. Vo výskume autorov Abrahamova a Hlavačka (2008) sa ukázalo, že u osôb okolo 60 rokov začína dochádzať ku značnému zvýšeniu variability pohybu COP, amplitúdy a rýchlosti výchyliek COP v AP smere. Toto zvýšenie bolo vo väčšej miere viditeľné na mäkkej podložke a pri zatvorených očiach. Aj autori Wiesmeier et al. (2015) potvrdzujú, že u skupiny ľudí nad 60 rokov bola priemerná rýchlosť a frekvencia

spontánnych posturálnych výchyliek signifikantne vyššia ako u mladých jedincov. Autori to odôvodňujú prítomnosťou väčšieho množstva kontrolnej rovnovážnej aktivity u seniorov. Tento výskum potvrdzuje aj väčšiu priemernú rýchlosť výchyliek v AP smere, čo sa zhoduje s biomechanickým modelom obráteného kyvadla. V kontraste s týmito štúdiami sú výskumy, v ktorých sa nepotvrdili rovnaké výsledky. Napr. autori Peterka & Black (1989) vo svojom výskume nenašli v súvislosti so starnutím významné zvýšenie posturálnych výchyliek pri stoji na pevnej nepohyblivej podložke s očami otvorenými a zatvorenými. To znamená, že starší jedinci boli rovnako úspešní ako mladší. Rovnako tak aj autori Kristinsdottir et al. (2001) zistili, že seniori bez porušenej propiocepce a zdraví dospelí jedinci mali podobnú mieru celkových a vysokofrekvenčných posturálnych výchyliek pri otvorených očiach. Autori Patla et al. (in Shumway-Cook & Woollacott, 2012) poukazujú na to, že normálny pokojný stoj nie je pre seniorov výzvou, a teda nie je úplne vhodný na meranie kontroly posturálnej stability. Pripomínajú tiež, že väčšie exkurzie COP sú často považované za prejav slabého rovnovážneho systému. To však nemusí byť pravdou, pretože niektorí seniori môžu používať tieto zvýšené exkurzie výchyliek vysokej frekvencie ku získaniu väčšieho množstva informácií o postavení ich tela skrz senzorický systém. Autori Lin, Woollacott a Jensen (2004) uvádzajú, že pri rovnakých podmienkach testovania dochádza u jednotlivých jedincov ku rôznej miere destabilizácie. Preto môžeme pozorovať aj odlišné nároky na posturálnu stabilizáciu u nestabilných seniorov, v porovnaní so stabilnými seniormi a mladšími jedincami. Ďalšie výskumy poukazujú na to, že starší jedinci využívajú ku udržaniu rovnováhy hlavne bedrovú stratégiu (najmä nestabilní seniori), v porovnaní s mladšími jedincami. Tí, na rozdiel od seniorov využívajú pri pokojnom stoji hlavne členkovú stratégiu a bedrovú používajú až pri posturálne náročnejších situáciách (Lin et al., 2004; Sundermier, Woollacott, Jensen & Moore, 1996). Pri neočakávaných pohyboch podložky v AP smere bolo najčastejšie zaznamenané využitie krokovej stratégie u seniorov, ale aj mladých jedincov. Väčšine mladých jedincov však stačil len jeden krok na navrátenie rovnováhy na rozdiel od seniorov, u ktorých po iniciálnom kroku nasledovali ďalšie. Rápidna rýchlosť iniciálneho kroku bola zaznamenaná u oboch skupín jedincov. To znamená, že napriek poklesu kapacity myoskeletálneho systému u seniorov, nie je problém s generáciou rýchlosti potrebnej ku krokovej stratégii. V tomto prípade nie je potrebná ani maximálna svalová sila alebo veľký rozsah pohybu v kĺboch (McIlroy & Maki, 1996).

Zmeny súvisiace so starnutím sa objavujú aj na senzorických systémoch. Pokles taktilnej citlivosti, napriek akumulácii degeneratívnych procesov počas starnutia, nie je nezvratný a môžeme ho obnoviť učením a tréningom (Kalisch, Ragert, Schwenkreis, Dinse & Tegenthoff, 2008). Kožná citivosť a propiocepcia klesajú hlavne na dolných končatinách a sú ovplyvňované aj rôznymi patológiami a ochoreniami (Kristinsdottir et al., 2001). Keďže je somatosenzorický vstup považovaný za hlavný stimul pre posturálnu kontrolu u seniorov, môže mať jeho pokles vplyv na zvyšovanie rizika pádu u týchto jedincov (Faraldo-García et al., 2012). S poklesom somatosenzorického vstupu môže súvisieť aj signifikantné zvýšenie výchyliiek COP pri zatvorených očiach oproti otvoreným (Tang & Woollacott, 2004). Takisto môžeme pozorovať zvýšenie posturálnych výchyliiek pri aplikácii vibračného stimulu na sval. Bolo však zistené, že ak majú seniori neporušenú propiocepciu, reagujú na vibračný stimul (v tomto výskume aplikovaný na lýtkové svaly) v rovnakej miere ako dospelí jedinci stredného veku (Kristinsdottir et al., 2001). S vekom dochádza aj k poklesu funkcie zrakového systému. Pozorujeme zmeny samotnej štruktúry oka, prenášanie menšieho množstva svetla na sietnicu a tiež vzrast prahovej hodnoty množstva svetla potrebného pre videnie objektov. Typicky nastáva aj strata zorného poľa, zníženie citlivosti zrakového kontrastu a zrakovkej ostrosti, čo zhorší vnímanie hĺbky obrazu a obrysov (Sturnieks et al. in Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Vo výskume autorov Lord a Menz (2000) bola preukázaná signifikantná súvislosť medzi slabým výkonom v teste vzdialenej kontrastnej citlivosti aj priestorového videnia a zvýšenými titubáciami tela. Z toho autori usudzujú, že správne vnímanie vizuálneho podnetu a jeho hĺbky, zohráva významnú úlohu v stabilizácii tela vzhľadom ku okolitému prostrediu. Toto potvrdzujú aj autori Lord et al. (1999), ktorí vo svojom výskume zaznamenali prítomnosť slabšej zrakovkej ostrosti u seniorov, ktorí niekedy utrpeli pád, v porovnaní s jedincami bez skúsenosti s pádom. Autori Faraldo-García et al. (2012) poukazujú na to, že vďaka dostupnej korekcii zraku dioptrickými okuliarmi alebo operáciou sa vo vyššom veku zvyšuje význam zraku pri udržiavaní rovnováhy. Na druhej strane Kristinsdottir et al. (2001) zistili, že pri otvorených očiach mali seniori podobnú mieru výchyliiek COP ako dospelí, avšak seniori nedokázali využiť zrakový vnem k redukcii výchyliiek v takej miere ako mladí dospelí jedinci a jedinci v strednom veku. Proces starnutia pozorujeme aj na redukcii funkcie vestibulárneho aparátu. Po 70-tom roku života dochádza k postupnej čiastočnej strate vláskových a nervových buniek, ale aj buniek vestibulárnych jadier (Rosenhall & Rubin, 1975). Pri čiastočnej strate funkcie

vestibulárneho aparátu sa môžu jedinci sťažovať na závrat, ktorý môže významne prispieť ku instabilite u seniorov (Shumway-Cook & Woollacott, 2012).

Autori Faraldo-García, Santos-Pérez, Crujeiras a Soto-Varela (2016) sa zaoberali otázkou vplyvu starnutia na posturálne zmeny, zaznamenané na dynamickom posturografe s využitím senzorickeho organizačného testu. Očakávané boli horšie výsledky so zvyšujúcim sa vekom. Toto sa však potvrdilo len pri pohybujúcej sa platforme, kedy mal jedinec oči otvorené a pozadie bolo statické a v druhom prípade, kedy mal jedinec oči zatvorené a stál na pohybujúcej sa platforme. Autori poukazujú na to, že so stúpajúcim vekom síce dochádza ku zhoršovaniu senzorickeho systému, ale organizmus je schopný kompenzácie vďaka schopnosti tela sa prispôbiť ťažkej senzorickej situácii a rokom tréningu. Výsledky zvýšenia posturálnych výchyliek u seniorov, pri zmenách vizuálnych a somatosenzorických signálov, potvrdzujú aj Peterka a Black (1989). Títo autori navyše zistili, že najstarší jedinci boli viac ovplyvnení meniacim sa vizuálnym podnetom na rozdiel od mladších, ktorí mali väčšie problémy pri zmenách somatosenzorického podnetu. Na rozdiel od týchto výsledkov, Shumway-Cook a Woollacott (2012) uvádzajú, že pri redukcii alebo nesprávnosti určitého senzorickeho vstupu nedochádza u seniorov ku signifikantne vyšším výchylkám tela, v porovnaní s mladými jedincami. Opačnú situáciu však pozorujú pri vyradení dvoch senzorickeho vstupov, čo má signifikantný vplyv na stabilitu seniorov. Toto potvrdzujú aj Tang a Woollacott (2004) a zároveň dodávajú, že udržanie vzpriameného stoja je u seniorov najnáročnejšie pri súčasnom vyradení zrakového a somatosenzorického vstupu, kedy informácie z vestibulárneho aparátu predstavujú jediný vstup pre kontrolu rovnováhy.

Úprava postury v zmysle stabilizácie tela pred zahájením voľného pohybu prebieha proaktívne. U seniorov môžeme sledovať pomalší, oneskorený nástup alebo narušenie poradia aktivácie posturálnych synergií, čím môže byť ovplyvnená schopnosť vykonať voľný pohyb. Starší jedinci majú problémy vytvoriť anticipačnú úpravu postury dostatočne rýchlo a účinne, najmä v situácii bez predchádzajúceho nácviku. Táto neschopnosť stabilizovať telo pred samotným voľným pohybom prispieva ku riziku pádov u seniorov (Shumway-Cook & Woollacott, 2012). Pri vykonávaní dvojitej úlohy potrebujú seniori venovať danej úlohe väčšie množstvo pozornosti, pravdepodobne z dôvodu slabšej posturálnej kontroly (Tang & Woollacott, 2004). V štúdiu, ktorá skúmala vplyv sekundárnej (v tomto prípade sluchovej) úlohy na posturálnu stabilitu pri rôznych senzorickeho podmienkach (otvorené / zatvorené oči,

pevná / pohyblivá podložky a s prítomnosťou / bez prítomnosti optokinetickej stimulácie) dospeli autori k nasledujúcim výsledkom. U zdravých seniorov mala táto úloha vplyv na posturálne výchylky iba pri súčasnej redukcii zrakového a somatosenzorického vstupu. Na druhej strane u seniorov, u ktorých bol v nedávnej dobe zaznamenaný pád, mala sekundárna úloha signifikantný vplyv na posturálnu stabilitu za všetkých senzoričných podmienok (Shumway-Cook & Woollacott, 2000). Pri vykonávaní dvojitej úlohy dochádza tiež k poklesu veľkosti svalovej odpovedi u agonistov aj antagonistov (u mladých aj starých jedincov), v porovnaní so situáciou, kedy je vykonávaná len jedna úloha. U seniorov však dochádza ku výraznejšiemu poklesu svalovej aktivity ako u mladých jedincov a pre navrátenie rovnováhy je častejšie využívaná dynamická - kroková stratégia (Rankin, Woollacott, Shumway-Cook & Brown, 2000).

Posturálna kontrola je veľmi komplexná reakcia pozostávajúca z mnohých zložiek. V závislosti na tom, ktorá zložka nefunguje optimálne sa líšia aj príčiny pádov u starších ľudí. Napr. redukcia až strata senzoričných funkcií znižuje schopnosť detegovať pád, porucha CNS môže limitovať posturálnu odpoveď na zmeny podmienok a nedostatočná svalová sila limituje návrat do pôvodnej polohy po vychýlení (Shupert & Horak, 1999; Tang & Woollacott, 2004). Neplatí to však u všetkých seniorov. Niektorí seniori majú výbornú senzoričnú a motorickú funkciu a ich kontrola rovnováhy je porovnateľná s mladými a zdravými jedincami. Z toho vyplýva, že vekovo závislé zníženie stability spojené s degeneráciou senzoričného, muskuloskeletálneho a neuromuskulárneho systému môže byť relatívne malé. Jeho zvýšenie môže spôsobiť určitý patologický proces (aj subklinický), a tým je spôsobená instabilita (Shupert & Horak, 1999).

3 CIELE A HYPOTÉZY

3.1 Ciele

Hlavným cieľom práce je posúdiť vplyv vizuálnych stimulov na posturálnu stabilitu u jedincov vo veku nad 60 rokov.

3.1.1 Čiastkové ciele

- Porovnať vplyv fixácie zraku a sakadických pohybov očí na posturálnu stabilitu u jedincov vo veku nad 60 rokov.
- Posúdiť vplyv sakadických pohybov očí vykonávaných v horizontálnom smere na posturálnu stabilitu u jedincov vo veku nad 60 rokov.
- Posúdiť vplyv sakadických pohybov očí vykonávaných vo vertikálnom smere na posturálnu stabilitu u jedincov vo veku nad 60 rokov.

3.2 Výskumné hypotézy

H1) Posturálna stabilita sa pri stoji s rôznymi vizuálnymi stimulmi líši.

H2) Pri stoji s vykonávaním sakadických pohybov očí v horizontálnom smere je posturálna stabilita lepšia ako pri stoji, počas ktorého je zrak fixovaný.

H3) Pri stoji s vykonávaním sakadických pohybov očí vo vertikálnom smere je posturálna stabilita lepšia ako pri stoji, počas ktorého je zrak fixovaný.

Kritériom pre potvrdenie hypotéz je nájdenie aspoň jedného štatisticky významného rozdielu na hranici $p = 0,05$.

4 METODIKA

Táto práca bola riešená v rámci projektu Internej grantovej agentúry Univerzity Palackého v Olomouci, pod názvom Vliv pohybu očí na posturální stabilitu. Projekt prebiehal na Katedre přírodních věd v kinantropologii Fakulty tělesné kultury UPOL, pod vedením hlavnej riešiteľky Mgr. Lucie Bizovskej. Návrh projektu bol 8. 1. 2018 schválený Etickou komisiou FTK UP v Olomouci, pod jednacím číslom 1/2018 (viď Príloha 1).

4.1 Charakteristika výskumného súboru

Do výskumu bolo zaradených 18 jedincov, z toho 3 muži a 15 žien vo veku $70,3 \pm 7,7$ rokov, s výškou $164,4 \pm 6,0$ cm a hmotnosťou $74,7 \pm 9,5$ kg. Jedinci boli oslovení poštou, telefonicky a v rámci výučby na Univerzite tretieho veku pri Univerzite Palackého v Olomouci. Všetci zúčastnení jedinci boli vopred oboznámení s cieľom a priebehom merania a podpísali informovaný súhlas (viď Príloha 2). Do výskumu boli zaradení len jedinci nad 60 rokov, ktorí boli schopní samostatného stoja, chôdze a vykonávania bežných denných aktivít bez pomoci a opory. Pred samotným testovaním boli z výskumného súboru vylúčení jedinci trpiaci vestibulárnymi poruchami, závratmi, neurologickými alebo muskuloskeletálnymi poruchami a závislosťou na alkohole alebo drogách. Taktiež boli vylúčení jedinci, ktorí v priebehu posledného roku pred testovaním utrpeli vážny úraz pohybového aparátu a jedinci užívajúci lieky ovplyvňujúce ich rovnovážne schopnosti. Z dôvodu prístrojového obmedzenia boli vylúčení aj jedinci trpiaci poruchami a chybami zraku (krátkozrakosť, škúlenie, šedý zákal, retinopatia a iné).

4.2 Metódy získavania dát

4.2.1 Klinické metódy

Jedincom výskumného súboru bola pred samotným meraním odobratá anamnéza so zameraním na exkluzívne a inkluzívne kritéria tohto výskumu.

4.2.2 Biomechanické metódy

Pohyb COP bol počas daného experimentu zaznamenávaný pomocou dvoch silových plošín AMTI OR6-5 (Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown,

MA, USA; snímkovacia frekvencia 200 Hz), na ktorých sa nachádzala mäkká podložka Airex Balance Pad (Airex AG, Sins, Švajčiarsko). Pre kontrolu vykonávania pohybov očí bol využitý Eyetracker (SMI ETG 2W, SensoMotoric Instruments GmbH (SMI), Teltow, Nemecko; vzorkovacia frekvencia 60 Hz), pričom systém kamier umiestnený v ráme prístroja identifikoval smerovanie pohľadu s presnosťou 0,5°.

4.3 Postup merania

Meranie prebiehalo na Katedre prírodných vied v kinantropológii Fakulty telesnej kultury UPOL v uzavretej miestnosti, ktorá bola zatemnená a zapnutá bola iba malá stolná lampa a dva počítače. Po príchode do testovacej miestnosti bol jedinec oboznámený s postupom samotného testovania a mohol si vyskúšať stoj na mäkkej podložke. Jedincovi bol aplikovaný Eyetracker a uskutočnila sa jeho kalibrácia. Silové plošiny, na ktorých prebiehalo meranie boli kalibrované pred každým pokusom. V priebehu merania sa v miestnosti nachádzal len proband a dvaja asistenti. Na začiatku každého pokusu sa proband postavil na mäkkú podložku, ktorá sa nachádzala na silovej plošine. Keď proband zastabilizoval svoju polohu a pozrel sa na plátno pred seba, asistenti súčasne spustili záznam údajov zo silovej plošiny a prezentáciu, v ktorej boli nahraté dané pohyby vizuálneho podnetu. V priebehu celého testovania stál jeden asistent za probandom pre prípad, že by došlo k pádu jedinca.

Testovanie prebiehalo v bipedálnom stoju o pohodlnej šírke opornej bázy, pričom mal proband horné končatiny spustené voľne pozdĺž tela. Inštrukciou pre probanda bolo, aby vizuálne stimuly sledoval len očami. Biele plátno, na ktorom sa premietali tieto vizuálne podnety (čierny body) vo výške očí, bolo vzdialené 2 metre od probanda. Testované boli tri vizuálne podmienky, a to zrková fixácia a sakadické pohyby očí v horizontálnom a vertikálnom smere. Vizualne podmienky sa náhodne striedali, avšak pred každým pokusom bol jedinec informovaný, aké vizualne podmienky budú nasledovať. Každý pokus trval 30 sekúnd, pričom boli 3 série pokusov a každá séria obsahovala všetky vizualne podmienky, ktoré sa zopakovali dvakrát. Celkom teda jedinci absolvovali 18 pokusov. Po každom pokuse jedinec zostúpil z mäkkej podložky a nasledovala prestávka 30 sekúnd, počas ktorej jedinec stál. Po každej sérii nasledovala prestávka trvajúca 1 minútu, počas ktorej jedinec sedel na stoličke.

Pri podmienkach zrakovkej fixácie bol daný bod v priebehu celého pokusu zobrazený v strede plátna a úlohou jedinca bolo po celú dobu fixovať tento bod pohľadom. Pri sakadických pohyboch sa daný bod najskôr objavil na jednej strane plátna, a to 9,75 cm od stredu plátna. Následne tento bod zmizol a ihneď sa objavil na opačnej strane plátna, tiež 9,75 cm od jeho stredu. Jedinci boli inštruovaní, aby sledovali pohľadom tieto body počas celej doby trvania pokusu. Tieto body sa objavovali s frekvenciou 1,1 Hz v horizontálnom a v následnom pokuse aj vo vertikálnom smere. Z toho vyplýva, že počas jedného pokusu bolo vykonaných 33 sakadických pohybov očí. Celková vzdialenosť týchto bodov bola 19,5 cm, čo vytváralo vizuálny uhol 11° . Veľkosť tohto uhlu by mala zabezpečiť to, že jedincovi bude ku sledovaniu vizuálneho podnetu stačiť pohyb očí bez súčasného pohybu hlavy (Aguiar et al., 2015).

4.4 Spracovanie nameraných dát a štatistika

Zo softwaru ku stabilometrickým plošinám boli vyexportované údaje o polohe COP v čase, ktoré boli najskôr prefiltrované obojsmerným Butterworthovým filtrom 4. rádu s dolnofrekvenčnou priepustnosťou s hraničnou frekvenciou 10 Hz. Z filtrovaných dát boli následne dopočítané smerodajné odchýlky polohy COP v AP a v ML smere, priemerná rýchlosť COP v daných smeroch a celková rýchlosť. Tieto výpočty boli uskutočnené v prostredí softwaru Matlab (R2017b, MathWorks, Inc., Natick, MA, USA).

Na štatistické spracovania sme použili priemery zo všetkých pokusov v daných vizuálnych podmienkach. Samotná štatistická analýza bola vykonaná prostredníctvom softwaru Statistica 12 (Stat-Soft, Inc., Tulsa, OK, USA) na hladine $\alpha = 0,05$. Pomocou Shapiro-Wilkova testu bola overená normalita skúmaných dát. Keďže normalita nebola potvrdená pre všetky premenné, následne bola použitá Friedmannova analýza rozptylu. Pre zistenie konkrétnych rozdielov medzi testovacími podmienkami bol vykonaný post-hoc test - Wilcoxonov párový test.

5 VÝSLEDKY

Výsledky pre jednotlivé parametre merania je možné nájsť v Tabuľke 1.

Tabuľka 1

Hodnoty mediánov, horného a dolného kvartilu pre jednotlivé parametre merania

Parameter	Vizuálny stimul	Medián	Dolný kvartil	Horný kvartil	<i>p</i>
Sway ML (mm)	Fixácia	5,71	5,45	7,32	0,411
	Horizontálne sakády	6,08	4,54	6,29	
	Vertikálne sakády	5,80	4,52	6,01	
Sway AP (mm)	Fixácia	8,96	7,98	9,70	0,179
	Horizontálne sakády	8,22	7,45	9,45	
	Vertikálne sakády	8,59	7,83	9,23	
V ML (mm.s ⁻¹)	Fixácia	12,13	8,95	13,09	0,311
	Horizontálne sakády	11,85	8,80	13,26	
	Vertikálne sakády	10,64	8,76	12,92	
V AP (mm.s ⁻¹)	Fixácia	24,02	20,85	27,61	< 0,001*
	Horizontálne sakády	21,00	19,29	24,14	
	Vertikálne sakády	22,58	19,93	25,77	
V (mm.s ⁻¹)	Fixácia	29,06	24,96	33,82	0,024*
	Horizontálne sakády	26,06	22,66	29,77	
	Vertikálne sakády	27,60	23,32	30,19	

Vysvetlivky: Sway - smerodajná odchýlka polohy COP, V - priemerná rýchlosť pohybu COP, AP - antero-posteriórny smer, ML - medio-laterálny smer, * $p < 0,05$

Štatisticky signifikantný vplyv vizuálnych stimulov bol nájdený pre rýchlosť COP v AP smere ($p < 0,001$) a pre celkovú rýchlosť pohybu COP ($p = 0,024$). Rýchlosť COP v AP smere sa postupne zvyšovala od podmienok vykonávania horizontálnych sakád cez vertikálne sakády až po maximum pri fixácii pohľadu. Štatisticky významné rozdiely boli nájdené medzi podmienkami s vykonávaním horizontálnych a vertikálnych sakád ($p = 0,002$) a medzi podmienkami s vykonávaním horizontálnych sakád a fixáciou pohľadu ($p = 0,003$). Pri celkovej rýchlosti pohybu COP môžeme pozorovať obdobný trend zvyšovania s tým, že štatisticky významné rozdiely boli nájdené len medzi podmienkami s vykonávaním horizontálnych sakád a fixáciou pohľadu ($p = 0,007$).

5.1 Vyjadrenie sa k výskumným hypotézam

H1) Posturálna stabilita sa pri stoji s rôznymi vizuálnymi stimulmi líši.

Porovnanie jednotlivých vizuálnych podmienok bolo vykonané prostredníctvom Friedmannovej analýzy rozptylu. Kritériom pre prijatie hypotézy bolo nájdenie aspoň jedného štatisticky významného rozdielu na hranici $p = 0,05$. Toto kritérium bolo splnené u hodnoty parametru rýchlosti pohybu COP v AP smere ($p < 0,001$) a u hodnoty parametru celkovej rýchlosti pohybu COP ($p = 0,024$). Vplyv vizuálnych stimulov na ostatné parametre nebol štatisticky signifikantný.

Z týchto výsledkov vyplýva, že posturálna stabilita sa pri stoji s využitím rôznych vizuálnych stimulov líši v určitých parametroch. Táto hypotéza bola prijatá.

H2) Pri stoji s vykonávaním sakadických pohybov očí v horizontálnom smere je posturálna stabilita lepšia ako pri stoji, počas ktorého je zrak fixovaný.

Porovnanie podmienok fixácie pohľadu a sakadických pohybov očí v horizontálnom smere bolo uskutočnené prostredníctvom Wilcoxonovho párového testu. Kritérium pre prijatie tejto hypotézy bolo splnené u hodnoty parametru rýchlosti pohybu COP v AP smere ($p = 0,003$) a u hodnoty parametru celkovej rýchlosti pohybu COP ($p = 0,007$).

Z týchto údajov vyplýva, že pri vykonávaní sakadických pohybov očí v horizontálnom smere bola rýchlosť pohybu COP v AP smere a celková rýchlosť pohyb COP signifikantne nižšia, v porovnaní s podmienkami zrakovej fixácie. Táto hypotéza bola prijatá.

H3) Pri stoji s vykonávaním sakadických pohybov očí vo vertikálnom smere je posturálna stabilita lepšia ako pri stoji, počas ktorého je zrak fixovaný.

Porovnanie podmienok fixácie pohľadu a sakadických pohybov očí vo vertikálnom smere bolo uskutočnené prostredníctvom Wilcoxonovho párového testu. Kritérium pre prijatie tejto hypotézy nebolo splnené ani u jedného parametru.

Z výsledkov vyplýva, že pri vykonávaní sakadických pohybov očí vo vertikálnom smere nedochádza ku signifikantným zmenám pohybu COP, v porovnaní s podmienkami fixácie zraku. Táto hypotéza bola zamietnutá.

6 DISKUSIA

Táto práca sa zaoberala otázkou vplyvu vizuálnych stimulov na posturálnu stabilitu u jedincov nad 60 rokov. Presnejšie bol skúmaný vplyv horizontálnych a vertikálnych sakadických pohybov očí na pohyb COP v AP a ML smere. Tieto údaje boli porovnávané s podmienkami, pri ktorých bol zrak fixovaný na stabilný bod.

Udržovanie posturálnej stability je procesom dynamickým (Horak & Macpherson, 1996), pri ktorom aj stála poloha tela čelí neustálej labilitate pohybovej sústavy, a teda nie je statická (Kolář, 2009). Pri pokojnom stoji dochádza k neustálym, spontánnym, posturálnym výchylkám, pretože systém svalov nedokáže udržať úplne konštantnú polohu (Macpherson & Horak, 2003). Úlohou posturálnej motoriky je teda udržiavanie nastavenej polohy jednotlivých segmentov neustálym vyvažovaním (Véle, 2006). Určitý stupeň nestability je u človeka daný aj tým, že hovoríme o biomechanickom modeli obráteného kyvadla, pre ktoré je ťažké zaujať rovnovážnu polohu, hlavne pri pôsobení vonkajších síl (Latash, 2008).

Výskumy autorov Kumar a Tiwari (2014); Wiesmeier et al. (2015), ale aj iných autorov poukazujú na prednostné využívanie propioceptívnych vstupov pri udržiavaní rovnováhy u seniorov. Autori sa však zhodujú aj na tom, že ani zrak nemá zanedbateľný vplyv na rovnováhu, pretože pri jeho neprítomnosti dochádza ku zväčšeniu a zrýchleniu posturálnych výchyliek (Hansson et al., 2010; Wiesmeier et al., 2015). Význam zraku stúpa s vekom, pretože je možná jeho korekcia, na rozdiel od ostatných systémov (Faraldo-García et al., 2012). Podiel zraku sa tiež signifikantne zvyšuje pri náročnejších podmienkach, kedy dochádza k poklesu podielu propiocepce (napr. použitím penovej podložky) (Kumar & Tiwari, 2014).

V ostatných výskumoch boli k dispozícii všetky zdroje informácií, potrebné ku zaisteniu posturálnej stability. Náš výskum sa od ostatných odlišoval v použití mäkkej podložky na silovej plošine, čím sme zabezpečili vylúčenie propiocepce a sťažili stabilizáciu postury. Napriek tomuto sťaženiu sme vo výsledkoch zaznamenali signifikantné zníženie rýchlosti pohybu COP v AP smere a celkovej rýchlosti pohybu COP. Zároveň sme nenašli žiadne signifikantné zmeny v ostatných parametroch. V našom výskume nedošlo ani ku žiadnemu pádu jedinca počas testovania. Vylúčenie propiocepce bolo využité aj vo výskume autorov Schulmann et al. (1987), ktorí však využívali stabilometrickú plošinu pohyblivú vo frontálnej rovine a probandami boli mladí dospelí jedinci. V tomto prípade nebol sledovaný pohyb COP, ale čas, počas

ktorého dokázali jedinci udržať plošinu v horizontálnej polohe. Vo výsledkoch výskumu nebol pozorovaný rozdiel v čase balancovania medzi podmienkami vykonávania sakád v horizontálnom smere a fixáciou pohľadu na stabilný bod. Na základe výsledkov autori uvádzajú, že fixácia pohľadu a vykonávanie sakád posilňujú kontrolu dynamickej stability.

Pri porovnaní podmienok fixácie zraku a sakadických pohybov očí môžeme teda v našom výskume pozorovať signifikantné zníženie celkovej rýchlosti pohybu COP a rýchlosti pohybu COP v AP smere. Toto môže súvisieť s princípom biomechanického modelu obráteného kyvadla a tiež s tým, že anatomicky daná voľnosť pohybu dolných končatín je v ML smere viac obmedzená ako v AP smere (Collins & De Luca, 1993; Kapandji, 1987). Pri bližšom skúmaní sakadických pohybov očí v jednotlivých smeroch zistujeme, že tieto parametre nadobudli signifikantné hodnoty len pri porovnaní podmienok fixácie zraku a sakád vykonávaných v horizontálnom smere. Pri vykonávaní sakád vo vertikálnom smere neboli zaznamenané žiadne signifikantné zmeny. V kontraste s našimi výsledkami je výskum autorov Hunter a Hoffman (2001), ktorí nezaznamenali signifikantnú zmenu v rýchlosti pohybu COP pri porovnaní podmienok fixácie zraku a vykonávania sakád v tandemovom stoji. Na druhej strane vo viacerých výskumoch (napr. Aguiar et al., 2015; Rey et al., 2008; Rodrigues et al., 2013) došlo ku signifikantnej zmene vo veľkosti výchyliek COP, čo sa však nepotvrdilo v našom výskume.

V našom výskume sme sa zaoberali nie len všeobecným vplyvom sakadických pohybov očí na posturálnu stabilitu, ale aj rozdielnym vplyvom jednotlivých - vertikálnych a horizontálnych sakadických pohybov očí. Pred každým pokusom sme jedincov informovali o tom, v akom smere bude prebiehať daný vizuálny stimul, čiže sa mohla uplatniť anticipácia a plánovanie daného pohybu očí. Na rozdiel od tohto, vo väčšine ostatných výskumov môžeme sledovať využitie len jedného smeru sakadických pohybov očí, a to hlavne smeru horizontálneho (napr. Stoffregen et al., 2007; White et al., 1980). Pri využití viacerých smerov sakád vo výskumoch sa tieto smery náhodne striedali, čiže jedinec nemohol predpovedať ich smer pohybu. Dané smery sakád neboli väčšinou testované samostatne v jednotlivých pokusoch, čo znamená, že autori nedokázali porovnať ich samostatný vplyv alebo neporovnávali ich vplyv navzájom (napr. Bae, 2016; Rougier & Garin, 2007; Thomas et al., 2016). V našom výskume pozorujeme signifikantné zmeny medzi týmito dvoma vizuálnymi podmienkami len v hodnotách rýchlosti pohybu COP v AP smere. Tieto hodnoty

ukazujú, že pri vykonávaní sakadických pohybov očí v horizontálnom smere bola rýchlosť pohybu COP v AP smere signifikantne nižšia ako pri vykonávaní sakád vo vertikálnom smere. Na druhej strane autori Rey et al. (2008) vo svojom výskume nepozorovali signifikantný rozdiel medzi jednotlivými druhmi sakád, avšak títo autori porovnávali veľkosť posturálnych výchyliek v AP smere a nie ich rýchlosť.

V niektorých predchádzajúcich výskumoch skúmajúcich sakadické pohyby očí (napr. Moschner & Baloh, 1994; Schik, Mohr & Hofferberth, 2000; Warabi, Kase & Kato, 1984) nemôžeme pozorovať ich vplyv na posturálnu stabilitu, pretože boli vykonávané v sede, bez využitia silovej plošiny. Ostatné výskumy, ako aj ten náš, využívali pri vykonávaní sakadických pohybov očí stoj na silovej plošine, ktorá umožňovala záznam pohybu COP. Druh stoja sa v jednotlivých výskumoch líšil, čo malo pravdepodobne vplyv na odlišné hodnoty skúmaných parametrov pohybu COP v AP a ML smere. Autori Hunter a Hoffman (2001) vo svojej štúdií využili tandemový stoj, ktorým dosiahli zúženie opornej bázy, čo malo signifikantný efekt na variabilitu výchyliek COP v ML smere. V tomto smere došlo ku zväčšeniu výchyliek COP pri sakadických pohyboch očí na rozdiel od AP smeru, kde bol zaznamenaný ich pokles. Stoffregen et al. (2007) považuje využitie tohto druhu stoja pri testovaní za nevýhodné, pretože nie je typickým pre dospelého človeka. Vo výsledkoch výskumu autorov Rougier a Garin (2007), v ktorom bol využitý stoj s vonkajšou rotáciou dolných končatín o 30° a so vzdialenosťou 3 cm medzi päťami, bolo zaznamenané zníženie amplitúdy výchyliek COP v AP aj ML smere. Vo výskumoch autorov Aguiar et al. (2015) a Rodrigues et al. (2013) môžeme pozorovať porovnanie stoja spojného a stoja na šírku ramien pri vykonávaní sakadických pohybov očí. Výsledky ukázali, že veľkosť a frekvencia posturálnych výchyliek sa znížila pri oboch druhoch stoja, ale v menšej miere v stoju spojnom, a to v oboch smeroch. Väčšie posturálne výchylky v stoju spojnom však neboli pozorované u skupiny seniorov, u ktorých autori predpokladajú viac rigidnú stratégiu, ktorá nedovoľuje väčšie výchylky počas náročnejších podmienok stoja. V našom výskume bol na rozdiel od predchádzajúcich výskumov využitý stoj o pohodlnej šírke opornej bázy. Pri tomto druhu stoja sme nezaznamenali signifikantný vplyv na veľkosť výchyliek COP, avšak táto veľkosť mala klesajúci trend pri vykonávaní sakád.

Posturálne výchylky môžu byť závislé aj na frekvencii sakadických pohybov očí. V štúdiách autorov Aguiar et al. (2015), Rodrigues et al. (2013) a Rodrigues et al. (2015) boli porovnané frekvencie 0,5 Hz a 1,1 Hz, ktorá bola ako jediná frekvencia

využitá aj v našom výskume. V štúdií Stoffregen et al. (2007) bola navyše pridaná ešte frekvencia 0,8 Hz, pričom poradie jednotlivých frekvencií bolo náhodné, a teda ich jedinci nedokázali predpovedať. Vo výsledkoch autorov Rodrigues et al. (2015) a Stoffregen et al. (2007) môžeme sledovať rovnaký efekt jednotlivých frekvencií na posturálne výchylky a variabilitu pohybu COP. Na druhej strane vo výskumoch autorov Aguiar et al. (2015) a Rodrigues et al. (2013) bol zaznamenaný výraznejší pokles posturálnych výchýliek pri vyššej frekvencii sakadických pohybov očí. Autori uvádzajú, že pri sakadických pohyboch očí vyššej frekvencie je čas plánovania realizácie pohybu očí zredukovaný, čo sa môže prejavovať ako rozdiel v posturálnych výchýlkách pri odlišných frekvenciách sakád. Poukazujú tiež na to, že ak je čas plánovania týchto pohybov očí dostatočný, zmena náročnosti stoja neovplyvní posturálne výchylky. Ak je však tento čas nedostatočný, dochádza ku výraznej redukcii výchýliek len pri ľahšom druhu stoja.

Autori Bae (2016) a Rey et al. (2008) uvádzajú, že propioceptory v extraokulárnych svaloch patria medzi najbohatšie propioceptívne zdroje v ľudskom tele a sú aktivované pri sakadických pohyboch očí. Autori tiež uvádzajú, že zvýšenie propioceptívnych signálov z oko-hybných svalov môže prispieť k udržaniu alebo zlepšeniu posturálnej stability pri vykonávaní sakád. Toto tvrdenie autori podkladajú tým, že pri vykonávaní sakadických pohybov očí pri zatvorených očiach, došlo ku zníženiu plochy konfidenčnej elipsy a dĺžky trajektórie COP. V kontraste s týmito výsledkami je výskum autorov Stoffregen et al. (2006), ktorí zaznamenali pokles posturálnych výchýliek pri vykonávaní sakadických pohybov očí, ale len pri podmienkach s otvorenými očami. Z toho autori vyvodzujú, že redukcia posturálnych výchýliek slúži ku facilitácii pohybov očí, ale vizuálne vedených. Autori Rougier a Garin (2007) podporujú teóriu, že niektoré pohyby očí môžu ovplyvňovať posturálnu kontrolu pri udržiavaní vzpriameného stoja a navrhujú, že posturálna kontrola môže byť modulovaná z dôvodu facilitácie výkonu inej ako posturálnej úlohy. S týmto sa stotožňujú aj autori Stoffregen et al. (2007), ktorí odôvodňujú, že redukciou posturálnych výchýliek dochádza ku facilitácii supraposturálneho výkonu, v našom prípade sakadických pohybov očí, aby jedinci úspešne udržali vizuálny podnet dopadať na centrálnu jamku. Toto vysvetlenie sa však nezhoduje s väčšinou výskumov skúmajúcich vplyv hladkých sledovacích pohybov očí na posturálnu stabilitu, v ktorých bolo preukázané zvýšenie posturálnych výchýliek pri výkone týchto pohybov očí, v porovnaní s fixáciou zraku (napr. Glasauer et al., 2005). Autori Aguiar et al. (2015)

odôvodňujú zníženie posturálnych výchyliek tým, že plánovanie výkonu sakadických pohybov očí zahŕňa mechanizmus doprednej kontroly, čo znamená, že posturálna stabilizácia môže byť užitočná ku spojeniu presakadického a postsakadického obrazu scény. Autori Schulmann et al. (1987) uvádzajú, že pri zmene pozície tela dochádza k pohybu vizuálneho poľa opačným smerom, ako je pohyb hlavy, a keďže to CNS vníma ako vlastný pohyb, okamžite vykoná príslušné posturálne úpravy. Na to, aby sme mohli presne vnímať pohyb vizuálneho poľa, musí byť najskôr toto pole vnímané ako stacionárne. Dôkazom môže byť aj výskum autorov Thomas et al. (2016), ktorí uvádzajú, že pohybujúce sa pozadie má destabilizujúci efekt, pretože predstavuje náročnejšiu situáciu pre odhad pozície tela v priestore, na rozdiel od stabilného pozadia. Pohyby očí, ktoré zobrazujú prostredie ako stabilné, by teda mohli zlepšovať stabilitu, čo môžeme pozorovať u sakadických pohybov očí (pohyb z jedného fixačného bodu na druhý) a pri fixácii zraku. Pri týchto dvoch podmienkach dochádza k potlačeniu vnímania pohybu vizuálneho pozadia s následným zlepšením vnímania malých pohybov tela, čo by uľahčilo vykonávanie kompenzačných rovnovážnych reakcií a podporilo posturálnu stabilitu počas stoja (Schulmann et al., 1987). Autori Rey et al. (2008) na konci svojho výskumu konštatujú, že sakadické pohyby očí nezávisle na ich smere nenarušujú kvalitu posturálnej kontroly a dokonca môžu zlepšiť jej určité aspekty.

Tieto poznatky môžeme priamo uplatniť napr. pri vizuomotorickom výcviku, ktorý by mal podporovať zlepšenie rovnovážnych odpovedí u pacientov so sekundárnou poruchou rovnováhy pri cerebelárnej alebo vestibulárnej ataxii, po cievnej mozgovej príhode a u ostatných chorôb, akými sú tabes dorsalis alebo Parkinsonova choroba (Schulmann et al., 1987). Navrhujeme, že tieto poznatky by sme mohli aplikovať u pacientov s posturálnou instabilitou aj tak, že by sme trénovali prehliadanie si okolia s využitím sakadických pohybov očí, čiže jednotlivých refixácií. Rovnako by mohol prebiehať aj nácvik udržiavania pohľadu fixovaného na jeden bod alebo objekt prostredia, ku zlepšeniu rovnovážnych reakcií. Keďže bolo dokázané, že hladké sledovacie pohyby očí zvyšujú posturálne výchylky (napr. Glasauer et al., 2005), mali by sa im títo pacienti vyhýbať. Schulmann et al. (1987) upozorňujú na to, že niektorí pacienti s porušenou propiocepciou sú učení, aby stratu statestézie a kinestézie nahradzovali sledovaním pohybu končatiny očami. Pri tomto však dochádza k uplatneniu hladkých sledovacích pohybov očí, čo by mohlo viesť k narušeniu priestorovej orientácie a rovnováhy.

6.1 Limity štúdie

Za limity štúdie považujeme malú veľkosť výskumného súboru ($N = 18$), prípadne nerovnomerné zastúpenie mužov a žien. Ďalším limitom môže byť využitie pohodlného stoja pri meraní, ktorý je pre každého človeka individuálny. Využitie prístroja na sledovanie pohybu očí limitovalo výber výskumného súboru, do ktorého nemohli byť zaradení jedinci s poruchami zraku, ktoré sú v staršom veku časté. Náš výskum navyše sledoval len sakadické pohyby očí a nezaoberal sa ďalšími možnými pohybmi očí a ich vplyvom na posturálnu stabilitu.

7 ZÁVER

Štatistická analýza s využitím Friedmannovej analýzy rozptylu preukázala, že ku signifikantným zmenám pri vykonávaní sakadických pohybov očí došlo len v parametroch celkovej rýchlosti pohybu COP ($p = 0,024$) a v rýchlosti pohybu COP v AP smere ($p < 0,001$). Sakadické pohyby očí teda nemali signifikantný vplyv na veľkosť výchýliek COP v jednotlivých smeroch jeho pohybu. Pri bližšej analýze prostredníctvom Wilcoxonovho párového testu bolo zistené, že signifikantné zmeny v týchto parametroch boli nájdené len medzi podmienkami vykonávania sakadických pohybov očí v horizontálnom smere a zrakovej fixácie ($p = 0,003$ a $p = 0,007$). Zároveň bol preukázaný signifikantný rozdiel medzi podmienkami vykonávania sakadických pohybov očí v horizontálnom a vo vertikálnom smere, ale len v hodnotách rýchlosti pohybu COP v AP smere ($p = 0,002$).

Vo výsledkoch môžeme pozorovať postupné zvyšovanie celkovej rýchlosti pohybu COP a rýchlosti pohybu COP v AP smere, od podmienok vykonávania horizontálnych sakád cez vertikálne sakády až po maximum pri zrakovej fixácii.

8 ZHRNUTIE

Táto diplomová práca bola zameraná na určenie vplyvu vizuálnych stimulov na posturálnu stabilitu u jedincov nad 60 rokov. Presnejšie sa zameriavala na určenie vplyvu sakadických pohybov očí, vykonávaných v horizontálnom a vertikálnom smere, na pohyb COP.

V teoretickej časti sú zhrnuté poznatky o neurofyziologických princípoch riadenia rovnováhy a o vplyve a podiele jednotlivých sensorických systémov na zaistení posturálnej stability. Následne práca pojednáva aj o neurofyziologických aspektoch zrakového systému a o jeho význame pri riadení posturálnej stability, čo je podložené viacerými výskumami. Keďže sa skupina jedincov staršieho veku vyznačuje určitými zmenami, práca tiež zahŕňa kapitolu o vplyve starnutia na posturálnu stabilitu. Teoretická časť pojednáva aj o rozdelení pohybov očí a o ich rozdielnom vplyve. Vo výskumoch, zaoberajúcich sa vplyvom sakadických pohybov očí na posturálnu stabilitu, sledujeme signifikantné zlepšenie v jednotlivých parametroch pohybu COP pri vykonávaní týchto pohybov očí.

Výskumnej časti sa zúčastnilo 18 jedincov vo veku nad 60 rokov (3 muži a 15 žien), ktorí boli vybratí na základe exkluzívnych a inkluzívnych kritérií. Účastníkom bola najskôr odobratá anamnéza a následne vysvetlený postup merania. Pri testovaní boli využité dve silové plošiny AMTI OR6-5 (Advanced Mechanical Technology, Inc., Watertown, MA, USA), na ktorých sa nachádzala mäkká podložka Airex Balance Pad (Airex AG, Sins, Švajčiarsko). Vďaka tomu došlo k vylúčeniu propiocepcie, v čom sa odlišoval náš výskum od ostatných. Pri testovaní boli využité tri vizuálne podmienky, a to zraková fixácia a sakadické pohyby očí v horizontálnom a vertikálnom smere. Celkovo jedinci absolvovali 18 pokusov, v ktorých sa tieto vizuálne podmienky náhodne striedali. Vizuálne stimuly prebiehali s frekvenciou 1,1 Hz a celková vzdialenosť týchto bodov vytvárala vizuálny uhol 11° , ktorý mal zabezpečiť sledovanie vizuálneho stimulu bez súčasného pohybu hlavy. Následne bolo vykonané spracovanie nameraných údajov a ich štatistická analýza.

Z výsledkov nášho výskumu vyplýva, že pri vykonávaní sakadických pohybov očí dochádza ku signifikantnému zníženiu celkovej rýchlosti pohybu COP a rýchlosti pohybu COP v AP smere, v porovnaní s fixáciou zraku. Tieto rýchlosti postupne narastajú od podmienok vykonávania horizontálnych sakád cez vertikálne sakády až po maximum pri zrakovej fixácii. Zároveň bolo preukázané, že pri vykonávaní

sakadických pohybov očí v horizontálnom smere, bola rýchlosť pohybu COP v AP smere signifikantne nižšia ako pri vykonávaní sakád vo vertikálnom smere.

9 SUMMARY

This thesis aims to evaluate the influence of visual stimuli on postural stability in individuals older than 60 years of age. More specifically, it focuses on determining what influence saccadic eye movements in the vertical and horizontal direction have on the COP sway.

The theoretical part summarizes the current state of knowledge regarding neurophysiological mechanisms of postural control, as well as the contribution of the respective sensory systems to postural stability. The thesis then analyses the neurophysiological aspects of the visual system and its importance in controlling the postural stability, which is backed up by several studies. Since elderly individuals undergo certain changes, the thesis also includes a chapter on how ageing influences postural stability. The theoretical part outlines also the basic types of eye movements and their different functions. Studies focusing on the influence of saccadic eye movements on postural stability show a significant improvement of the respective COP sway parameters when such eye movements are made.

Based on certain exclusion and inclusion criteria, 18 subjects (3 men and 15 women) aged over 60 were selected for the research. We obtained the participants' medical history and explained them how the tests would be carried out. During testing, we used two AMTI OR6-5 force platforms covered with a soft Airex Balance Pad. This pad eliminated proprioception, thus making our research different from others. During testing, we used three visual conditions: fixation and both horizontal and vertical saccadic eye movements. In total, the subjects underwent 18 trials where visual conditions randomly changed. The frequency of the visual stimuli was set at 1.1 Hz, and the overall distance between the points formed a visual angle of 11°. This allowed the subjects to follow the visual stimulus without moving their head. The research phase was concluded with data collection and its statistical analysis.

The results of our research show that performing saccadic eye movements significantly decrease the total COP sway velocity and the COP sway velocity in the anterior-posterior direction, as opposed to phases of fixation. These velocities progressively rise during horizontal saccades, increase even further during vertical saccades and achieve maximum values during fixation. It has also been proven that during horizontal saccadic eye movements, the COP sway velocity in the anterior-posterior direction was significantly lower than during vertical saccades.

10 REFERENČNÝ ZOZNAM

- Abrahamova, D., & Hlavačka, F. (2008). Age-related changes of human balance during quiet stance. *Physiological Research*, 57(6), 957-964.
- Aguiar, S. A., Polastri, P. F., Godoi, D., Moraes, R., Barela, J. A., & Rodrigues, S. T. (2015). Effects of saccadic eye movements on postural control in older adults. *Psychology & Neuroscience*, 8(1), 19-27.
- Bae, Y. (2016). Saccadic eye movement improves plantar sensation and postural balance in elderly women. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 239(2), 159-164.
- Batterbury, M., Bowling, B., & Murphy, C. (2009). *Ophthalmology: an illustrated colour text* (3rd ed.) Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone.
- Berencsi, A., Ishihara, M., & Imanaka, K. (2005). The functional role of central and peripheral vision in the control of posture. *Human Movement Science*, 24(5-6), 689-709.
- Bizovská, L., Janura, M., Míková, M., & Svoboda, Z. (2017). *Rovnováha a možnosti jejího hodnocení*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci.
- Blaszczyk, J. W., Lowe, D. L., & Hansen, P. D. (1994). Ranges of postural stability and their changes in the elderly. *Gait & Posture*, 1(2), 11-17.
- Buchanan, J. J., & Horak, F. B. (1999). Emergence of postural patterns as a function of vision and translation frequency. *Journal of Neurophysiology*, 81(5), 2325-2339.
- Collins, J. J., & De Luca, C. J. (1993). Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Experimental Brain Research*, 95(2), 308-318.
- Diener, H. C., Dichgans, J., Guschlbauer, B., Bacher, M., Rapp, H., & Langenbach, P. (1990). Associated postural adjustments with body movement in normal subjects and patients with parkinsonism and cerebellar disease. *Revue Neurologique*, 146(10), 555-563.
- Faraldo-García, A., Santos-Pérez, S., Crujeiras, R., & Soto-Varela, A. (2016). Postural changes associated with ageing on the sensory organization test and the limits of stability in healthy subjects. *Auris Nasus Larynx*, 43(2), 149-154.

- Faraldo-García, A., Santos-Pérez, S., Crujeiras-Casais, R., Labella-Caballero, T., & Soto-Varela, A. (2012). Influence of age and gender in the sensory analysis of balance control. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 269(2), 673-677.
- Fukushima, K., Kaneko, C. R., & Fuchs, A. F. (1992). The neuronal substrate of integration in the oculomotor system. *Progress in Neurobiology*, 39(6), 609-639.
- Ganong, W. F. (2005). *Přehled lékařské fyziologie* (20th ed.) Praha: Galén.
- Gilbert, Ch. D. (2003a). Intermediate-level visual processing and visual primitives. In E. R. Kandel et al. (Eds.), *Principles of neural science* (5th ed., pp. 602-620). New York, N.Y.: McGraw-Hill Education/Medical.
- Gilbert, Ch. D. (2003b). The Constructive Nature of Visual Processing. In E. R. Kandel et al. (Eds.), *Principles of neural science* (5th ed., pp. 556-576). New York, N.Y.: McGraw-Hill Education/Medical.
- Glasauer, S., Schneider, E., Jahn, K., Strupp, M., & Brandt, T. (2005). How the eyes move the body. *Neurology*, 65(8), 1291-1293.
- Goldberg, M. E., & Wurtz, R. H. (2003). Visual processing and action. In E. R. Kandel et al. (Eds.), *Principles of neural science* (5th ed., pp. 638-653). New York, N.Y.: McGraw-Hill Education/Medical.
- Hallett, M. (1993). Physiology of basal ganglia disorders: an overview. *Canadian Journal of Neurological Sciences*, 20(3), 177-183.
- Hansson, E. E., Beckman, A., & Håkansson, A. (2010). Effect of vision, proprioception, and the position of the vestibular organ on postural sway. *Acta Oto-Laryngologica*, 130(12), 1358-1363.
- Horak, F. B., & Diener, H. C. (1994). Cerebellar control of postural scaling and central set in stance. *Journal of Neurophysiology*, 72(2), 479-493.
- Horak, F. B., & Macpherson, J. M. (1996). Postural orientation and equilibrium. In L. B. Rowell & J. T. Shepherd (Eds.), *Handbook of physiology* (pp. 255-292). New York: Oxford University Press.
- Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55(6), 1369-1381.

- Horiuchi, K., Ishihara, M., & Imanaka, K. (2017). The essential role of optical flow in the peripheral visual field for stable quiet standing: Evidence from the use of a head-mounted display. *PloS One*, *12*(10), 1-16.
- Hughes, V. A., Frontera, W. R., Wood, M., Evans, W. J., Dallal, G. E., Roubenoff, R., & Singh, M. A. F. (2001). Longitudinal muscle strength changes in older adults: influence of muscle mass, physical activity, and health. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *56*(5), B209-B217.
- Hunter, M. C., & Hoffman, M. A. (2001). Postural control: visual and cognitive manipulations. *Gait & Posture*, *13*(1), 41-48.
- Inglis, J. T., Horak, F. B., Shupert, C. L., & Jones-Rycewicz, C. (1994). The importance of somatosensory information in triggering and scaling automatic postural responses in humans. *Experimental Brain Research*, *101*(1), 159-164.
- Kalisch, T., Ragert, P., Schwenkreis, P., Dinse, H. R., & Tegenthoff, M. (2008). Impaired tactile acuity in old age is accompanied by enlarged hand representations in somatosensory cortex. *Cerebral Cortex*, *19*(7), 1530-1538.
- Kapandji, I. A. (1987). *The physiology of the joints. Volume two. Lower limb* (5th ed.). London: Churchill Livingstone.
- Kolář, P. (2009). Vyšetření posturálních funkcí. In L. Houdek (Ed.), *Rehabilitace v klinické praxi* (pp. 35-56). Praha: Galén.
- Králíček, P. (2004). *Úvod do speciální neurofyzologie*. Praha: Karolinum.
- Kristinsdottir, P. A., Fransson, M., & Magnusson, E. K. (2001). Changes in postural control in healthy elderly subjects are related to vibration sensation, vision and vestibular asymmetry. *Acta Oto-Laryngologica*, *121*(6), 700-706.
- Kumar, S., & Tiwari, S. P. (2014). Contribution of visual and proprioceptive system to the limit of stability in geriatric population - An observational study. *The European Journal of Physiotherapy*, *16*(2), 121-128.
- Kuthan, V. (2003). Senzorické funkce. In *Lékařská fyziologie* (4th ed. pp. 555-611). Praha: Grada Publishing as.

- Lacour, M., Barthelemy, J., Borel, L., Magnan, J., Xerri, C., Chays, A., & Ouaknine, M. (1997). Sensory strategies in human postural control before and after unilateral vestibular neurotomy. *Experimental Brain Research*, *115*(2), 300-310.
- Latash, M. L. (2008). *Neurophysiological basis of movement* (2nd ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Lin, S. I., Woollacott, M. H., & Jensen, J. L. (2004). Postural response in older adults with different levels of functional balance capacity. *Aging Clinical and Experimental Research*, *16*(5), 369-374.
- Lord, S. R., & Menz, H. B. (2000). Visual contributions to postural stability in older adults. *Gerontology*, *46*(6), 306-310.
- Lord, S. R., Rogers, M. W., Howland, A., & Fitzpatrick, R. (1999). Lateral stability, sensorimotor function and falls in older people. *Journal of the American Geriatrics Society*, *47*(9), 1077-1081.
- Macpherson, J. M., & Horak, F.B. (2003). Posture. In E. R. Kandel et al. (Eds.), *Principles of neural science* (5th ed., pp. 935-959). New York, N.Y.: McGraw-Hill Education/Medical.
- Massion, J. (1998). Postural control systems in developmental perspective. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *22*(4), 465-472.
- Massion, J., & Woollacott M. H. (2004). Posture and equilibrium. In A. M. Bronstein et al. (Eds.), *Clinical disorders of balance, posture and gait* (2nd ed., pp. 1-19). London: Edward Adnold.
- McIlroy, W. E., & Maki, B. E. (1996). Age-related changes in compensatory stepping in response to unpredictable perturbations. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *51*(6), M289-M296.
- Meister, M., & Tessier-Lavigne, M. (2003). Low-level visual processing: The retina. In E. R. Kandel et al. (Eds.), *Principles of neural science* (5th ed., pp. 577-601). New York, N.Y.: McGraw-Hill Education/Medical.
- Merfeld, D. M., Young, L. R., Oman, C. M., & Shelhamer, M. J. (1993). A multidimensional model of the effect of gravity on the spatial orientation of the monkey. *J Vestib Res*, *3*(2), 141-161.

- Mergner, T., Hlavacka, F., & Schweigart, G. (1993). Interaction of vestibular and proprioceptive inputs. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium & Orientation*, 3(1), 41-57.
- Mergner, T., Schweigart, G., Maurer, C., & Blümle, A. (2005). Human postural responses to motion of real and virtual visual environments under different support base conditions. *Experimental Brain Research*, 167(4), 535-556.
- Moschner, C., & Baloh, R. W. (1994). Age-related changes in visual tracking. *Journal of Gerontology*, 49(5), M235-M238.
- Peterka, R. J., & Black, F. O. (1989). Age-related changes in human posture control: sensory organization tests. *Journal of Vestibular Research: Equilibrium & Orientation*, 1(1), 73-85.
- Peterka, R. J., & Loughlin, P. J. (2004). Dynamic regulation of sensorimotor integration in human postural control. *Journal of Neurophysiology*, 91(1), 410-423.
- Pozzo, T., Berthoz, A., & Lefort, L. (1990). Head stabilization during various locomotor tasks in humans. *Experimental Brain Research*, 82(1), 97-106.
- Prieto, T. E., Myklebust, J. B., Hoffmann, R. G., Lovett, E. G., & Myklebust, B. M. (1996). Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 43(9), 956-966.
- Ragnarsdóttir, M. (1996). The concept of balance. *Physiotherapy*, 82(6), 368-375.
- Rankin, J. K., Woollacott, M. H., Shumway-Cook, A., & Brown, L. A. (2000). Cognitive influence on postural stability: a neuromuscular analysis in young and older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(3), M112-M119.
- Rey, F., Lê, T. T., Bertin, R., & Kapoula, Z. (2008). Saccades horizontal or vertical at near or at far do not deteriorate postural control. *Auris Nasus Larynx*, 35(2), 185-191.
- Riach, C. L., & Starkes, J. L. (1994). Velocity of centre of pressure excursions as an indicator of postural control systems in children. *Gait & Posture*, 2(3), 167-172.

- Rodrigues, S. T., Aguiar, S. A., Polastri, P. F., Godoi, D., Moraes, R., & Barela, J. A. (2013). Effects of saccadic eye movements on postural control stabilization. *Motriz: Revista de Educação Física*, 19(3), 614-619.
- Rodrigues, S. T., Polastri, P. F., Carvalho, J. C., Barela, J. A., Moraes, R., & Barbieri, F. A. (2015). Saccadic and smooth pursuit eye movements attenuate postural sway similarly. *Neuroscience Letters*, 584, 292-295.
- Rosenhall, U., & Rubin, W. (1975). Degenerative changes in the human vestibular sensory epithelia. *Acta Oto-Laryngologica*, 79(1-2), 67-80.
- Rougier, P. (2003). The influence of having the eyelids open or closed on undisturbed postural control. *Neuroscience Research*, 47(1), 73-83.
- Rougier, P., & Garin, M. (2007). Performing saccadic eye movements or blinking improves postural control. *Motor Control*, 11(3), 213-223.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. (2000). Attentional demands and postural control: the effect of sensory context. *Journals of Gerontology-Biological Sciences and Medical Sciences*, 55(1), M10-M16.
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (2012). *Motor control: translating research into clinical practice* (4th ed.). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Shupert, C. L., & Horak, F. B. (1999). Adaptation of postural control in normal and pathologic aging: Implications for fall prevention programs. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(1), 64-74.
- Schik, G., Mohr, S., & Hofferberth, B. (2000). Effect of aging on saccadic eye movements to visual and auditory targets. *International Tinnitus Journal*, 6(2), 154-159.
- Schmid, M., Casabianca, L., Bottaro, A., & Schieppati, M. (2008). Graded changes in balancing behavior as a function of visual acuity. *Neuroscience*, 153(4), 1079-1091.
- Schulmann, D. L., Godfrey, B., & Fisher, A. G. (1987). Effect of eye movements on dynamic equilibrium. *Physical Therapy*, 67(7), 1054-1057.

- Stapley, P. J., & Drew, T. (2009). The pontomedullary reticular formation contributes to the compensatory postural responses observed following removal of the support surface in the standing cat. *Journal of Neurophysiology*, *101*(3), 1334-1350.
- Stoffregen, T. A., Bardy, B. G., Bonnet, C. T., & Pagulayan, R. J. (2006). Postural stabilization of visually guided eye movements. *Ecological Psychology*, *18*(3), 191-222.
- Stoffregen, T. A., Bardy, B. G., Bonnet, C. T., Hove, P., & Oullier, O. (2007). Postural sway and the frequency of horizontal eye movements. *Motor Control*, *11*(1), 86-102.
- Sturnieks, D. L., St George, R., & Lord, S. R. (2008). Balance disorders in the elderly. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, *38*(6), 467-478.
- Sundermier, L., Woollacott, M. H., Jensen, J. L., & Moore, S. (1996). Postural sensitivity to visual flow in aging adults with and without balance problems. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, *51*(2), M45-M52.
- Tanaka, H., Nakashizuka, M., Uetake, T., & Itoh, T. (2000). The effects of visual input on postural control mechanisms: an analysis of center-of-pressure trajectories using the auto-regressive model. *Journal of Human Ergology*, *29*(1-2), 15-25.
- Tang, P.-F., & Woollacott, M. H. (2004). Balance control in older adults. In A. M. Bronstein et al. (Eds.), *Clinical disorders of balance, posture and gait* (2nd ed., pp. 385-403). London: Edward Arnold.
- Thomas, N. M., Bampouras, T. M., Donovan, T., & Dewhurst, S. (2016). Eye movements affect postural control in young and older females. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *8*, 1-11.
- Tjernström, F., Björklund, M., & Malmström, E. M. (2015). Romberg ratio in quiet stance posturography - Test to retest reliability. *Gait & Posture*, *42*(1), 27-31.
- Tortora, G. J., & Derrickson, B. H. (2009). *Principles of anatomy and physiology* (12th ed.). John Wiley & Sons.
- Trojan, S., Druga, R., & Pfeiffer, J. (1990). *Centrální mechanismy řízení motoriky-teorie, poruchy a léčebná rehabilitace*. Praha: Avicenum.

- Uchiyama, M., & Demura, S. (2007). Influence of changes in visual acuity under various visual field conditions on the spectral characteristics of center of pressure sway. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47(2), 210-216.
- Uchiyama, M., & Demura, S. (2008). Low visual acuity is associated with the decrease in postural sway. *The Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 216(3), 277-285.
- Vařeka, I. (2002a). Posturální stabilita (I. část): Terminologie a biomechanické principy. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 9(4), 115-121.
- Vařeka, I. (2002b). Posturální stabilita (II. část): Řízení, zajištění, vývoj, vyšetření. *Rehabilitace a fyzikální lékařství*, 9(4), 122-129.
- Véle, F. (2006). *Kineziologie: přehled klinické kineziologie a patokineziologie pro diagnostiku a terapii poruch pohybové soustavy*. Praha: Triton.
- Warabi, T., Kase, M., & Kato, T. (1984). Effect of aging on the accuracy of visually guided saccadic eye movement. *Annals of Neurology: Official Journal of the American Neurological Association and the Child Neurology Society*, 16(4), 449-454.
- White, K. D., Post, R. B., & Leibowitz, H. W. (1980). Saccadic eye movements and body sway. *Science*, 208(4444), 621-623.
- Wiesmeier, I. K., Dalin, D., & Maurer, C. (2015). Elderly use proprioception rather than visual and vestibular cues for postural motor control. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 7, 1-14.
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3(4), 193-214.
- Winter, D. A. (2005). *Biomechanics and motor control of human movement* (3rd ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.

11 PRÍLOHY

Príloha 1

Vyjadrenie etickej komisie



Fakulta
tělesné kultury

Vyjádření Etické komise FTK UP

Složení komise: doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D. – předsedkyně
Mgr. Ondřej Ješina, Ph.D.
doc. MUDr. Pavel Maňák, CSc.
Mgr. Filip Neuls, Ph.D.
Mgr. Michal Kudláček, Ph.D.
doc. Mgr. Erik Sigmund, Ph.D.
Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.

Na základě žádosti ze dne 14. 12. 2017 byl projekt výzkumné práce /základního výzkumu/

autor /hlavní řešitel/: **Mgr. Lucia Bizovská**
spoluřešitelé: **Prof. RNDr. Miroslav Janura, Dr.; Mgr. Zdeněk Svoboda, Ph.D.; Mgr. Alena Svobodová; Mgr. Milena Vagaja**

s názvem **Vliv pohybu očí na posturální stabilitu**
schválen Etickou komisí FTK UP pod jednacím číslem: **1 / 2018**
dne: **8. 1. 2018.**

Etická komise FTK UP zhodnotila předložený projekt a **neshledala žádné rozpory** s platnými zásadami, předpisy a mezinárodními směnicemi pro výzkum zahrnující lidské účastníky.

Řešitelé projektu splnili podmínky nutné k získání souhlasu etické komise.

za EK FTK UP
doc. PhDr. Dana Štěrbová, Ph.D.
předsedkyně

Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta tělesné kultury
Komise etická
třída Míru 117 | 771 11 Olomouc

Príloha 2

Informovaný súhlas

Informovaný souhlas

Název studie (projektu): Vliv pohybu očí na posturální stabilitu

Jméno:

Datum narození:

Účastník byl do studie zařazen pod číslem:

1. Já, níže podepsaný(á) souhlasím s mou účastí ve studii. Je mi více než 18 let.
2. Byl(a) jsem podrobně informován(a) o cíli studie, o jejích postupech, a o tom, co se ode mě očekává. Beru na vědomí, že prováděná studie je výzkumnou činností.
3. Porozuměl(a) jsem tomu, že svou účast ve studii mohu kdykoliv přerušit či odstoupit. Moje účast ve studii je dobrovolná.
4. Při zařazení do studie budou moje osobní data uchována s plnou ochranou důvěrnosti dle platných zákonů ČR. Při vlastním provádění studie mohou být osobní údaje poskytnuty jiným než výše uvedeným subjektům pouze bez identifikačních údajů, tzn. anonymní data pod číselným kódem. Rovněž pro výzkumné a vědecké účely mohou být moje osobní údaje poskytnuty pouze bez identifikačních údajů nebo s mým výslovným souhlasem.
5. Porozuměl jsem tomu, že mé jméno se nebude nikdy vyskytovat v referátech o této studii. Já naopak nebudu proti použití výsledků z této studie.

Podpis účastníka:

Podpis osoby pověřené touto studií:

Datum:

Datum: