



UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

**KLINIKA REHABILITACE A TĚLOVÝCHOVNÉHO
LÉKAŘSTVÍ**

JAN KMEŤ

**VLIV VĚKU NA PERCEPCI VERTIKALITY
U ZDRAVÝCH JEDINCŮ**

Diplomová práce

PRAHA 2014

Autor práce: **Bc. Jan Kmet'**

Vedoucí práce: **PhDr. Ondřej Čákrť Ph.D.**

Oponent práce: **MUDr. Kryštof Slabý**

Datum obhajoby: **2014**

Bibliografický záznam

KMEŤ, Jan. *Vliv věku na percepci vertikality u zdravých jedinců*. Praha, 2014. 71 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, 2. lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství. Vedoucí práce PhDr. Ondřej Čákr Ph.D.

Anotace

Vlivem stárnutí dochází k poklesu funkční kapacity organismu, projevujícím se mimo jiné i zhoršením rovnováhy. Zhoršená schopnost udržení vzpřímeného postavení pak vede k častějším pádům a přidruženým komplikacím s tím spojených jako jsou zlomeniny. Abychom mohli tento proces terapeuticky správně ovlivnit, je nutné zjistit, jaké jsou jeho hlavní příčiny a zda existují možnosti jeho ovlivnění. Teoretická část proto shrnuje poznatky o rovnovážných a balančních funkcích a způsoby jejich vyšetření. V praktické části jsme vyšetřili 64 probandů – 30 jedinců bylo ve věku od 20 do 30 let a 34 osob starších 60 let. Změřili jsme u nich schopnost určit subjektivní zrakovou vertikálu, jejíž hodnota je dobrým ukazatelem funkce vestibulárního systému a subjektivní haptickou vertikálu, která má silnější vazby spíše na somatosenzorický systém. Výsledky obou skupin jsme následně podrobili statistické analýze. Dále jsme také porovnali míru přesnosti určování haptické vertikály s vertikálou zrakovou. Na základě této analýzy jsme byli schopni určit, ve kterém systému zodpovídajícím za udržování rovnováhy, dochází vlivem stárnutí k největším změnám, což bylo stanoveným cílem této diplomové práce.

Klíčová slova

rovnováha, subjektivní zraková vertikála, subjektivní haptická vertikála, stárnutí, gravicepce

Bibliographic identification

KMEŤ, Jan. *The influence of age on the perception of verticality in healthy individuals*. Prague, 2014, 71p. Charles University, 2nd Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation and Sports Medicine. Supervisor PhDr. Ondřej Čákrť Ph.D.

Annotation

Due to aging the functional capacity of the organism decreases and inter alia it cause a deterioration of balance. Impaired ability to maintain an upright position leads to frequent falls and associated complications such as fractures. As we could properly influence the process, it is necessary to determine, what are the main causes of this process and if there are any options for its correction. The theoretical part, therefore, summarizes the findings of equilibrium and balance functions and methods of their examination. In the practical part, we examined 64 probands - 30 subjects aged 20 to 30 years and 34 people older than 60 years. We measured their ability to determine the subjective visual vertical, because its value is great index of vestibular system function and subjective haptic vertical, which has stronger linkage to the somatosensory system. The results from both groups were then mutually compared by statistical analysis. Furthermore, we also compared the degree of accuracy of visual vertical compared to haptic vertical. Based on this analysis, we were able to determine in which system responsible for maintaining equilibrium happens the biggest change due to aging, which was the stated goal of this thesis.

Keywords

balance, subjective visual vertical, subjective haptic vertical, aging, graviception

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením PhDr. Ondřeje Čakrta Ph.D., uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita pro získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 1. 5. 2014

Bc. Jan Kmeť

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval PhDr. Ondřeji Čákrtovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a za cenné rady a připomínky při jejím zpracování. Děkuji také zaměstnancům 2. lékařské fakulty UK v Praze Motole především Prof. MUDr. Jaroslavu Fajstavrovi, DrSc. a Ústavu sociálních služeb v Praze 4, příspěvkové organizaci, především Bc. Monice Křížkové za zprostředkování vyšetření probandů. Dále bych rád poděkoval prof. MUDr. Ivanu Hybáškoví, DrSc. za pomoc při hledání materiálů a za odborné konzultace v rámci problematiky a MUDr. Kryštofu Slabému za pomoc při zpracování dat. V neposlední řadě děkuji všem dobrovolníkům, kteří se nechali vyšetřit pro účely této práce.

OBSAH

OBSAH	7
SEZNAM ZKRATEK	8
ÚVOD	9
1 PŘEHLED POZNATKŮ	10
1.1 ROVNOVÁHA	11
1.1.1 Vliv stárnutí na posturální stabilitu	13
1.2 SYSTÉMY PODÍLEJÍCÍ SE NA UDRŽOVÁNÍ ROVNOVÁHY	16
1.2.1 Vestibulární systém	16
1.2.2 Somatosenzorický systém	19
1.2.2.1 Svalová vřeténka	19
1.2.2.2 Šlachové a kloubní receptory	20
1.2.2.3 Viscerální graviceptory	20
1.3 SCHOPNOST VNÍMÁNÍ VERTIKALITY	22
1.3.1 Způsoby vyšetřování subjektivní vertikály	22
1.3.2 Subjektivní zraková vertikála	24
1.3.2.1 Vliv stárnutí na subjektivní zrakovou vertikálu	25
1.3.3 Subjektivní haptická vertikála	25
1.4 STUDIE ZABÝVAJÍCÍ SE PROBLEMATIKOU PERCEPCE VERTIKALITY	29
2 CÍLE A HYPOTÉZY	34
3 METODIKA	35
3.1 VYŠETŘENÍ JEDINCI	35
3.2 MĚŘENÍ HAPTICKÉ VERTIKÁLY	35
3.3 MĚŘENÍ ZRAKOVÉ VERTIKÁLY	37
3.4 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT	39
4 VÝSLEDKY	41
5 OVĚŘENÍ HYPOTÉZ	47
5.1 POROVNÁNÍ SUBJEKTIVNÍ ZRAKOVÉ VERTIKÁLY	47
5.2 POROVNÁNÍ SUBJEKTIVNÍ HAPTICKÉ VERTIKÁLY	48
5.3 VLIV HYSTEREZE PŘI URČOVÁNÍ SHV	48
5.4 PŘESNOST SUPINACE A PRONACE	49
5.5 POROVNÁNÍ PŘESNOSTI PŘI URČOVÁNÍ SHV A SVV U SENIORŮ	50
5.6 POROVNÁNÍ PŘESNOSTI PŘI URČOVÁNÍ SHV A SVV U MLADÝCH	50
5.7 VLIV POHLAVÍ NA PERCEPCI VERTIKALITY	51
6 DISKUZE	52
6.1 POROVNÁNÍ SVV U MLADÝCH A SENIORŮ	52
6.2 POROVNÁNÍ SVV A SHV V RÁMCI SKUPIN	54
6.3 POROVNÁNÍ SHV U MLADÝCH A SENIORŮ	55
6.4 POHLAVNÍ ROZDÍLY PŘI POROVNÁNÍ SHV A SVV	56
6.5 POROVNÁNÍ PŘESNOSTI PRONACE A SUPINACE	57
6.6 VLIV HYSTEREZE NA SHV	58
7 ZÁVĚR	60
REFERENČNÍ SEZNAM	61
SEZNAM PŘÍLOH	67
PŘÍLOHY	68

SEZNAM ZKRATEK

BM	kbelíková metoda
BOS	opěrná báze
CNS	centrální nervová soustava
COG	těžiště těla
COP	projekce těžiště těla do podložky
OV	objektivní vertikála
PSA	subjektivní směr před sebe
SHV	subjektivní hmatová vertikála
SPV	subjektivní posturální vertikála
SV	subjektivní vertikála
SVV	subjektivní zraková vertikála
VA	vestibulární aparát

ÚVOD

Předkládaná studie se zabývá kvalitativním hodnocením schopnosti určit vertikality ve vztahu k věku s cílem zjistit, nakolik proces stárnutí ovlivňuje smysl pro prostorovou orientaci. Stárnutí je fyziologický proces, při kterém dochází mimo jiné k poklesu funkčních schopností, resp. klesá funkční kapacita organismu. Jedná se o specifický dlouhodobě naprogramovaný biologický proces, nikoliv chorobný stav a musíme ho tudíž odlišit od patologického stárnutí. Co je příčinou stárnutí, je stále nejasné a teorií je několik, například teorie stařeckého pigmentu lipofuscinu, či stárnutí makromolekul, vliv prostředí a jeho patogenů, teorie volných radikálů nebo biologických hodin v genetickém materiálu každé buňky. Podstata nám tedy stále uniká, ale je pravděpodobné, že se týká mechanismů souvisejících s transkripcí a proteosyntézou (Trojan et al., 2003).

Pokles funkční kapacity se týká všech systémů a orgánů těla, tedy i schopnosti udržet rovnováhu. Výsledkem zhoršené stability jsou pády, které u starých lidí přinášejí vysoké riziko mj. zlomenin. Přibližně 30 % lidí starších 65 let upadne alespoň jednou za rok, z nich 6 % si způsobí zlomeninu předloktí (nejčastěji Collesova zlomenina) a asi 1 % si přivodí zlomeninu proximálního femuru, která je klinicky nejzávažnější (Blahoš et al., 2006).

Ročně je u nás zaznamenáno asi 15 tisíc lidí se zlomeninou proximálního femuru, přibližně 5 % umírá na komplikace ještě během hospitalizace a do jednoho roku od zranění umírá asi 20 % pacientů. Asi polovina pacientů, kteří přežijí první rok je imobilizována, nebo odkázána na ústavní péči. Je to tedy velký sociální, ale i ekonomický problém, protože náklady na léčbu této zlomeniny jsou 3 miliardy korun ročně v ČR. V rámci Evropy došlo v roce 2000 k 890 tisícům zlomeninám proximálního femuru a náklady přesáhly 31 miliard Euro, podle demografických statistik lze očekávat, že v roce 2050 s tím jak bude populace stárnout, přesáhnou tyto náklady 77 miliard Euro (Hoza et al., 2008).

1 Přehled poznatků

V teoretické části předkládám stručný souhrn poznatků o udržování rovnováhy v prostoru a systémech na ní se podílejících. Pro udržení vzpřímeného postoje je nezbytná orientace v prostoru, přesněji správné určení kde je nahoře a kde dole – osa X. Osa Y a Z pak představují hloubku a šířku prostoru a jejich přesné určení je nezbytné pro pohyb v prostoru.

Prostorová orientace představuje u člověka jeden z nejsložitějších smyslů, zajišťovaný řadou receptorů, nervových drah, jader a korových oblastí v centrální nervové soustavě (dále jen CNS). Tento soubor označujeme jako prostorový analyzátor. Jeho úkolem je vnímání prostoru v klidu i pohybu, souběžně s vnímáním klidového nebo pohybového vztahu pozorovatele k myšlenému prostředí. Jedním z cílů složitěho systému jakým je prostorový analyzátor, je i základní předpoklad života člověka a tedy udržování rovnováhy potažmo stoje a chůze (Černý, 1988).

Fischer ve své práci z roku 1928 popisuje prostorový analyzátor jako komplexní smysl, který přijímá podněty především prostřednictvím vestibulárního aparátu, propiocepčního, hmatového, zrakového a sluchového ústrojí. Protože rozhodujícím působkem na určování polohy hlavy a těla v prostoru je zemská gravitace, nazval jejich soubor (vyjma zraku a sluchu) souhrnně jako graviceptory (Fischer, 1928). Smyslové vjemy, přijímané jednotlivými receptory, končí v CNS, v nichž je prováděna jejich integrace, analýza a vyhodnocena momentální prostorová orientace. Přes nepřeborné množství výzkumů a odborné literatury není jednotný názor na řadu otázek, dokonce i základních, jako např. na existenci vedoucí úlohy některého ze smyslů v rámci prostorového analyzátoru. Je to dáno jednak složitostí samotného systému, ale především tím, že snad kromě zraku a sluchu, neumíme vyšetřovat funkce jednotlivých receptorů samostatně. Graviceptory tvoří natolik propojenou soustavu, že jakkoliv se nám zdá, že například při vyšetřování vestibulárního ústrojí dostáváme vyhraněné smyslové odpovědi (v podobě nystagmu aj.), je i v nich zapojen propiocepční systém, např. již tím, v jaké poloze těla a hlavy a při jakém pohybu a pohledu je vyšetřování prováděno. Při studiu polohové orientace je určován vztah polohy hlavy ke dvěma prostorovým souřadnicím: vertikále a horizontále. Schopnost člověka

určovat svými smysly vertikálu je určena experimentální část studie a proto je této koordinátě věnována hlavní pozornost i v části teoretické.

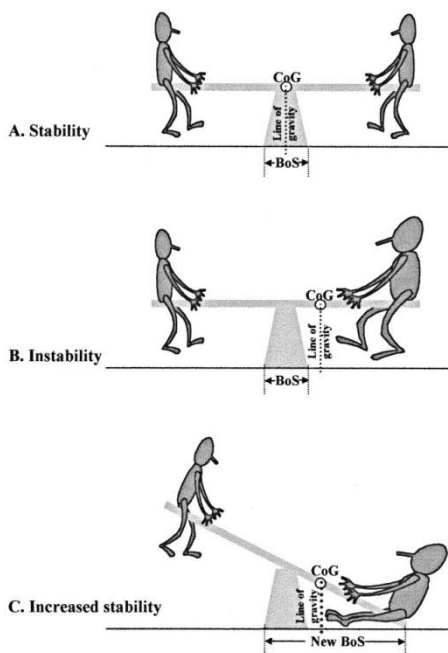
1.1 Rovnováha

Neexistuje univerzálně uznávaná definice rovnováhy. Čistě mechanickým vnímáním můžeme rovnováhu popsat pomocí prvního Newtonova zákona, že těleso zůstává v klidu, pokud na něj nepůsobí žádné vnější síly nebo je jejich součet nulový (Pollock, 2000).

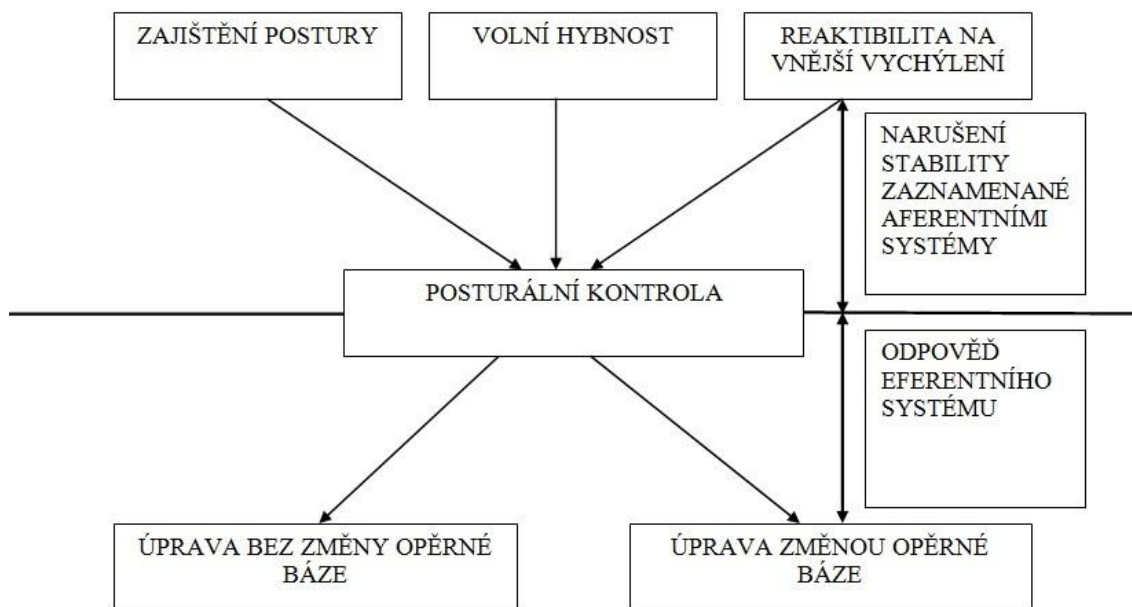
To ale neplatí na povrchu Země, kde neustále působí gravitační síla, kterou musíme překonávat. To znamená, že udržování vzpřímeného postoje je aktivní děj, při kterém dochází ke kontinuálnímu zaujímání stálé polohy – posturální stabilita. Jde tedy o proces neustálé adaptace na přirozenou labilitu pohybové soustavy (Kolář et al., 2009).

Podle jiných je rovnováha soubor statických a dynamických dějů zajišťujících posturální stabilitu (Trojan et al., 2003). Nebo může být rovnováha definována vztahem mezi těžištěm těla a opěrnou bází. Aby bylo tělo vyrovnané a nedošlo k pádu, musí se projekce těžiště těla (center of mass nebo center of gravity dále jen COG) nacházet uvnitř opěrné báze (base of support dále jen BOS), přičemž čím je BOS větší a COG níže, tím je pozice stabilnější (Obrázek 1). Aby člověk při pohybu nespádl, musí neustále analyzovat změny COG a upravovat podle toho polohu BOS (Pollock, 2000).

Zjednodušeně můžeme říci, že základem udržení vzpřímeného stoje jsou dva složené procesy. Prvním z nich je kontrola rovnováhy, druhým je schopnost dělat neustálé úpravy na základě volných pohybů, které rovnováhu narušují, jako je například pohyb horních končetin, nebo celého těla ve snaze dosáhnout nebo přemístit nějaký objekt (Obrázek 2). Přičemž systém analyzující polohu těla v prostoru je velmi složitý, informace vstupují z mnoha receptorů a výsledný vjem je poskládán několika centry v centrální nervové soustavě (Woollacott 1993).



Obrázek 1. Znárodnění vztahu těžiště těla a jeho projekce do/mimo opěrné báze.
 A – ač je těžiště relativně vysoko a opěrná báze malá, tak díky projekci do opěrné báze je soustava rovnovážná
 B – těžiště se nachází mimo opěrnou bázi, soustava je v nerovnováze a hledá novou bázi
 C – došlo k zvětšení opěrné báze a soustava je tím opět v rovnováze (Pollock, 2000)

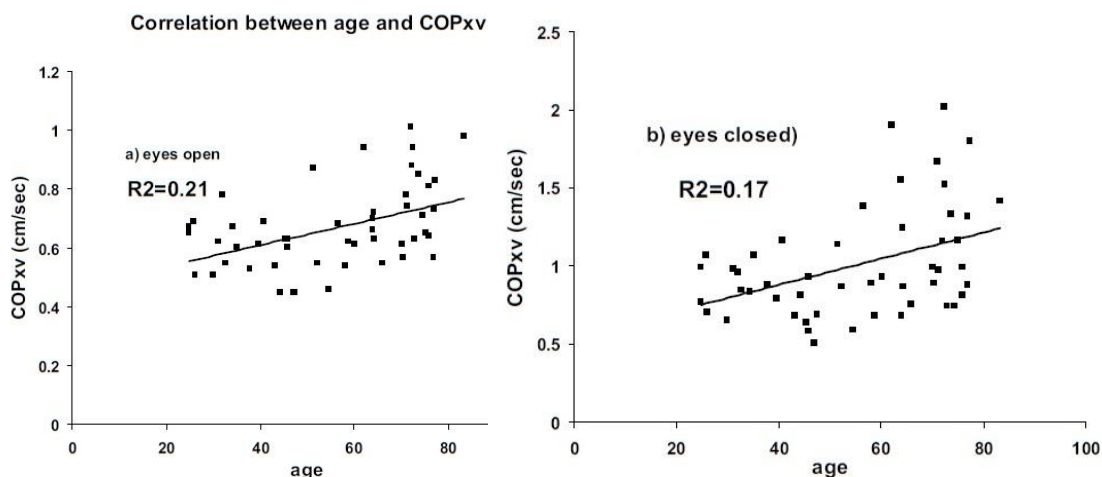


Obrázek 2. Schéma znázorňující strategie pro udržení rovnováhy (Pollock, 2000).

1.1.1 Vliv stárnutí na posturální stabilitu

Du Pasquier et al. (2003) uvádí, že systémy, které se podílejí na udržení rovnováhy (somatosenzorický, zrakový a vestibulární) a jejich složitá interakce včetně sloučení těchto dílčích vjemů v CNS jsou stárnutím ovlivněny, jejich funkce klesají a výsledkem je zhoršení schopnosti stoje (Obrázek 3).

Souběžné postižení systémů zodpovídajících za posturální stabilitu a reaktivitu se někdy nazývá jako multisenzorický závraťový syndrom, který pokud je projevem stáří, můžeme nazvat jako presbyvertigo. Ve vestibulárním aparátu při fyziologickém stárnutí ubývá smyslových i gangliových buněk v ganglion vestibulare Scarpae, degenerují statokonie, cristae staticae, makuly i podpůrné buňky. To dokazuje i kalorické testování, kdy po 50. roku věku dochází ke snížení dráždivosti. Ve vestibulárních jádrech ubývá neuronů a zpomaluje se zpracování informací. Vlivem stárnutí dochází ke změnám i v mozečku, kde ubývá Purkyňových buněk, k atrofii dochází i ve vermis mozečku v lobulech 6 a 7, což vede ke snížení adaptačních schopností a vizuálně-vestibulární koordinace. S přibývajícím věkem také ubývá senzitivních buněk a neuronů motorických center, ztrácí se paměť a kognitivní funkce (Hybášek, 2014).

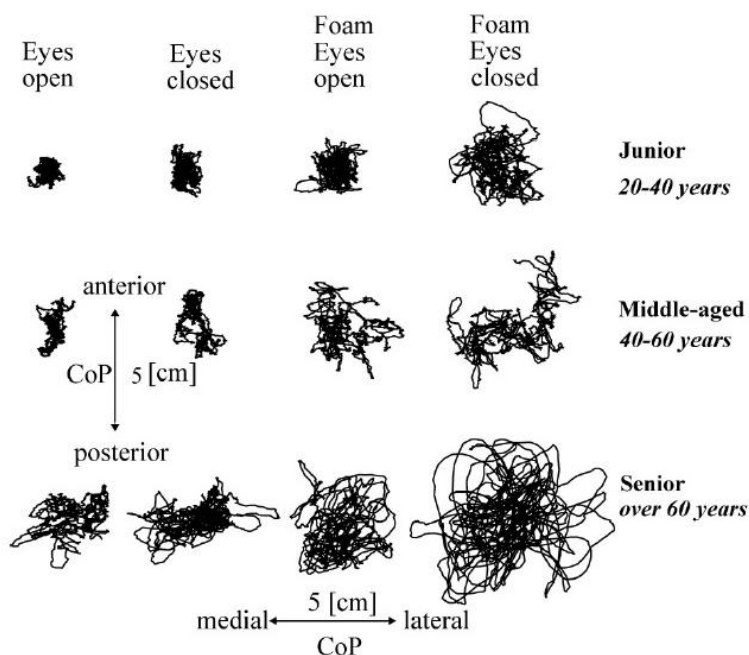


Obrázek 3. Vliv věku na projekci těžiště těla do podložky. S přibývajícím věkem roste rychlost anterioposteriorního vychylování těžiště. Vlevo s otevřenými očima, vpravo bez kontroly zraku (Du Pasquier et al., 2003).

Sheldon ve své studii provedl měření u dobrovolníků ve věku od 6 do 80 let a zjistil, že mezi 6. – 14. rokem (tedy do 15 let) a od 50 let je zhoršená

schopnost udržení rovnováhy – kontroly průmětu těžiště do podložky (center of pressure, dále jen COP), než u ostatních věkových skupin (Sheldon, 1963). Naproti tomu Pyykko v roce 1988 naměřil, že nejlepší kontrola rovnováhy je mezi 25. a 60. rokem života (Pyykko in Amblard, 1988).

Ke stejným závěrům došli i Abrahamová s Hlavačkou (2008), kteří sledovali COP u třech věkových skupin. V první skupině byly osoby ve věku 20 až 40 let, ve druhé mezi 40. a 60. rokem věku a ve třetí skupině od 60 let výš. Probandi byli testováni ve čtyřech podmínkách stoje odpovídajícímu Rombergově zkoušce, nejprve na tvrdém povrchu při otevřených očích, poté tvrdý povrch a zavřené oči, následován měkkým povrchem se zrakovou kontrolou a nakonec stoj na měkkém povrchu bez zrakové kontroly. Výsledky jasně ukázaly postupné zhoršování kontroly těžiště s přibývajícím věkem (Obrázek 4). Statistická analýza ukázala signifikantní rozdíl mezi první a třetí skupinou ve všech testovaných parametrech, kromě rychlosti mediolaterální výchylky. Z výsledků tedy vyplývá, že ke zhoršení posturální stability dochází od 60 let a nejvíce zřetelné je při stoji na měkké podložce bez kontroly zraku. Nejlepším ukazatelem je na základě výsledků této i ostatních studií rychlost výchylky v anterioposteriorním směru, kde se ukázal rozdíl nejen mezi první a třetí skupinou, ale i mezi osobami středního věku a seniorů.



Obrázek 4. Znázornění pohybu COP při stoji v různých podmínkách u jednotlivých věkových skupin (Abrahamová, Hlavačka, 2008).

Woollacottová (1993) dále měřila rychlost svalové odpovědi i při klidném stoji na antero-posteriorní posun podložky a zjistila signifikantní zpoždění v odpovědi svalů lidí nad 61 let. Časté bylo také jiné načasování zapojení svalů, u mladších lidí se zapojovaly svaly směrem od distálních k proximálním, tedy při posunutí podložky dozadu byl jako první aktivován m. triceps surae následován hamstringy a při posunutí podložky dopředu se jako první aktivuje m. tibialis anterior a po něm m. quadriceps femoris. Zatímco u starších docházelo nejprve k zapojení svalů proximálních. Což se ukázalo i na výběru strategie pro udržení rovnováhy, mladší využívali spíše kotníkovou strategii, kdežto starší jedinci volili při stejném zhoupnutí strategii kyčelní. Ke stejným výsledkům došel ve své práci i Manchester et al. (1989). V reakci na antero-posteriorní posun podložky se u starších jedinců ukázala horší koordinace mezi agonisty a antagonisty. Woollacottová (1993) dále zkoumala zapojení posturálních a fázických svalů při volných pohybech. U mladších jedinců se aktivují posturální svaly dříve než fázické pohyb provedou. U starších lidí je toto zpomaleno a posturální svaly, zodpovědné za udržení rovnováhy se aktivují v menším předstihu, z čehož vyplývá zhoršená schopnost kontroly těžiště těla.

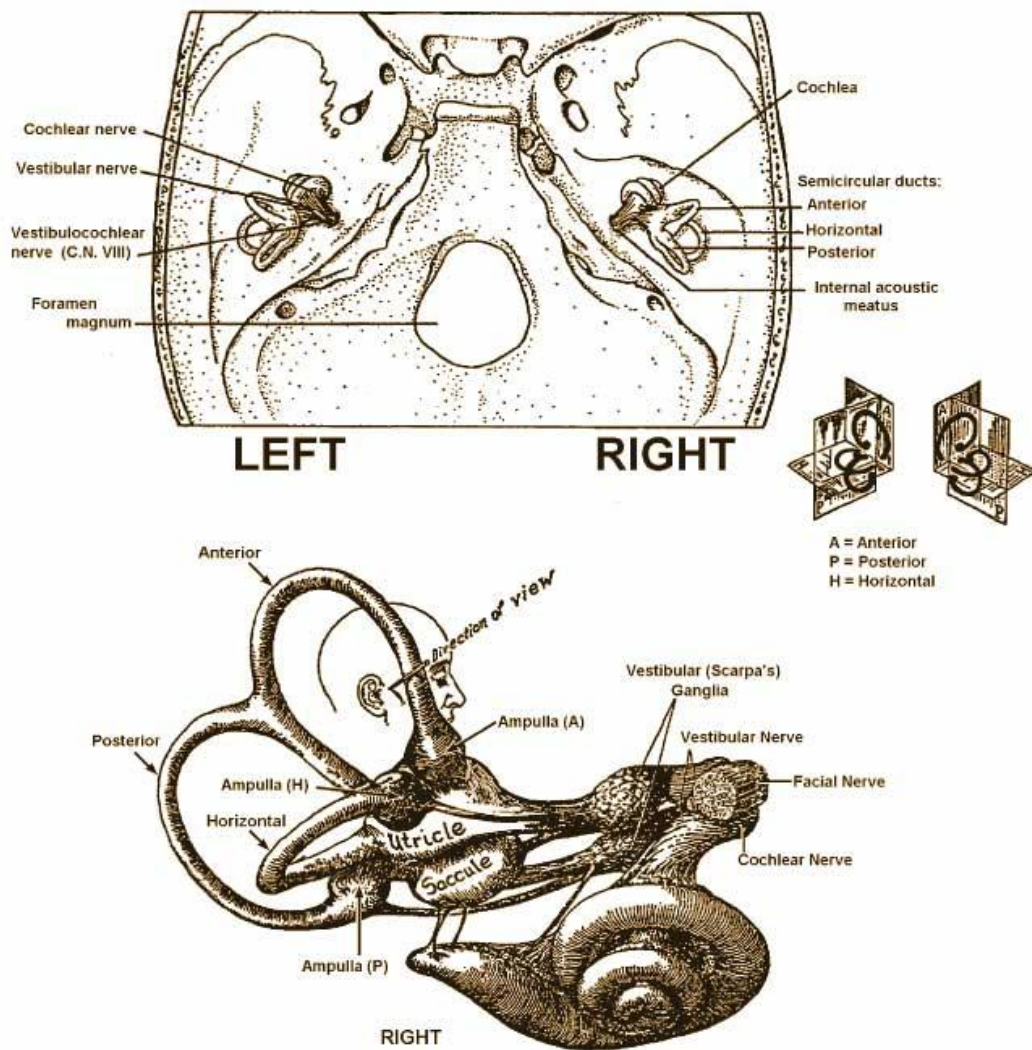
Dále dochází k poklesu funkční kapacity smyslů. Zhoršuje se jak citlivost kožní, tak čítí hluboké vibrační a kloubní (Baloh et al., 2003). Dále dochází ke zhoršení zraku způsobenému snížením průchodu světla skrz oko – v 60 letech v průměru na třetinu 20 letých. Nicméně studie ukazují, že čím je člověk starší, tím u něj více převládá udržování rovnováhy pomocí zraku. Pokusy na posturografu ukázaly, že za podmínek kdy se uplatňují zrak, propiocepce a vestibulární aparát (dále jen VA), nevykazují starší lidé významné zhoršení rovnováhy, stejně jako při zachování alespoň dvou z uvedených receptorů. Ke zhoršení rovnováhy však dojde v případě, kdy je ponechána pouze funkce vestibulárního aparátu. To může být důkazem 40% úbytku vláskových buněk ve vestibulárním aparátu, ke kterému dochází přibližně v 70 letech a ten tak sám nestačí na udržení klidného vzpřímeného stoje. (Woollacott, 1993).

1.2 Systémy podílející se na udržování rovnováhy

Pro účely práce jsou popsány pouze vestibulární a somatosenzorický systém. Zrak je sice při udržování rovnovážné a vzpřímené postury stejně jako pro pohyb nezbytný, ale při vyšetřování SV je vizuální aference vyloučena.

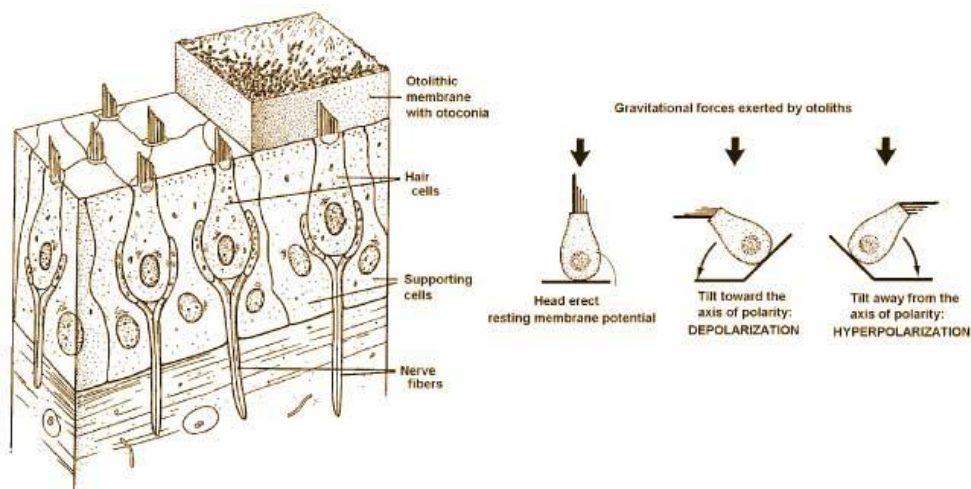
1.2.1 Vestibulární systém

Ve skalní kosti uvnitř labyrintu se nachází vestibulární aparát, ústrojí zodpovědné za udržení rovnováhy při změně polohy anebo směru pohybu těla. Na každé straně se skládá z 5 částí (Obrázek 5). V první řadě to jsou utriculus a sacculus, které obsahují smyslová políčka – maculy. Při vzpřímeném stoji je macula utriculi velká 5 mm² orientována horizontálně a macula sacculi s plochou 3 mm² vertikálně. Jejich smyslový epitel má na povrchu osinky zalité gelatinózní hmotou, v níž jsou zanořeny kalcitové statokonie. Řasinky jsou organizovány do soustavy tzv. stereocilií, před které je představena jedna kinocilie. Statokonie nepůsobí klidovou hmotností ani tahem, ale jako celek s gelatinózní hmotou posunem vrcholů zakotvených cilií smyslových buněk (Hybášek, 2014). Dále to jsou tři polokruhové kanálky, které jsou napojené na utriculus. Zatímco horizontální kanálky s ním komunikují oběma konci, přední a zadní pouze jedním a druhým koncem jsou propojeny navzájem. Kanálky jsou na sebe kolmé a vytváří dvojice s druhostrannými. Horizontální kanálky obou stran tvoří jeden pár a další dva páry jsou tvořené vždy zadním polokruhovým kanálkem jedné strany a předním strany druhé. Kanálky neobsahují statokonie, ale tekutinu zvanou endolymfa, která se uvede do pohybu zároveň s pohybem hlavy. V rozšíření kanálků, zvaném ampula, se nacházejí cristae ampullares se smyslovými buňkami stejnými jako ve váčcích. Polokruhové kanálky reagují na úhlové zrychlení, tedy na pohyb hlavy, při kterém se mimo jiné podílejí také na udržení stálého obrazu – tedy vestibulookulárních reflexech. Při pohybu hlavy v rovině kanálku a směrem k němu je ipsilaterální kanálek drážděn, zatímco kontralaterální je inhibován, tzn. při rotaci hlavy doprava je pravý horizontální kanálek drážděn, zatímco kontralaterální je hyperpolarizován a tedy inhibován (S.C.Lee, 2013).



Obrázek 5. Pohled na umístění labyrintu uvnitř skalní kosti. Znázornění sklonu a rovin, ve kterých se nacházejí jednotlivé polokruhové kanálky a jejich vztah s otolitovým systémem (utrículus a sacculus). Na obrázku je také znázorněn šnek cochleárního aparátu (Global anatomy, 2006).

V macula utriculi nejsou všechny buňky orientovány stejně, ale jsou namířeny kinociliemi směrem k zakřivenému okraji – striola. V macula sacculi jsou orientovány směrem od strioly. Při pohybu stereocilií směrem ke kinocilii je vyvolána depolarizace a je veden vzruch, při pohybu stereocilií od předsazené kinocilie je smyslová buňka hyperpolarizována a k přenosu signálu nedochází (Obrázek 6) (A.B.Tascioglu, 2005).



Obrázek 6. Ukázka funkce smyslových buněk uvnitř otolitového systému. Při pohybu otolitové membrány se statoconii dochází k náklonu stereocilií a tím k depolarizaci či hyperpolarizaci tedy přenosu resp. inhibici signálu (Global anatomy, 2006).

V jaké souhře pracují obě makuly není dodnes jasné. V učebnicích se většinou uvádí, že při vzpřímeném postavení hlavy utriculus informuje o akceleraci a deceleraci v rovině horizontální a sacculus v rovině vertikální, jiné udávají rovinu sagitální a frontální, jak to definoval v r. 1924 Magnus. Fluor přisuzuje specifitu čítí jednotlivým částem makul: ty reagují jen na určitou polohu hlavy a vjemy z makul obou stran v daném okamžiku po zpracování v prostorovém analyzátoru podávají informaci o postavení v prostoru. Z dalších názorů můžeme uvést ještě Dichganse et al., kteří uvádějí, že makuly jsou funkční jen při vzpřímené poloze hlavy a jejím odklonem od vertikály jejich senzibilita slábne (Hybášek, 2014).

Smyslové buňky jsou aferentně zásobovány z vestibulárního ganglia, odkud vedou bipolární buňky do vestibulárních jader, některá vlákna však jdou přímo do lobus flocculo-nodularis mozečku. Z jader jdou přímá vlákna k jádrům III. a IV. a to téměř vždy ipsilaterálně, dále k autochtoním svalům krční páteře a skrze vestibulospinální dráhu udržují napětí v extenzorech. Kromě těchto drah jsou také dráhy ovlivňující autonomní systém, například dýchání, srdeční činnost a krevní tlak. Dráhy vedoucí do thalamu jsou přiváděny mimo jiné i do nuclei ventrobases, kam jsou přiváděny také informace z hlubokého proprioceptivního čítí a z kloubních receptorů. Dále jsou informace

z vestibulárního systému vedeny do oblasti hippocampu, která je zodpovědná za prostorovou představivost a paměť (Lee, 2013).

1.2.2 Somatosenzorický systém

Propriocepce je smysl, který nám dává informace o pozici segmentů těla, jejich vzájemném pohybu a potřebné síle k jeho vykonání. Receptory hlubokého čítí se nacházejí ve svalech – svalová vřeténka, ve šlachách – Golgiho šlachová tělíčka a v kloubech. Aferentních nervových vláken, která vedou podněty do CNS, je obrovské množství, ve svalech je jich dokonce více než motoneuronů. Některé signály vedoucí z receptorů se dostávají cestou vzestupných drah až do vědomí. Asi 25 tisíc svalových vřetének využívá mozek k uvědomění si polohy a pohybu a tím i celkové představy o aktuálním postavení těla v prostoru (Proske, Gandevia, 2009 in Hamill, 2010). Informace vedou spinocerebelární dráhou do mozečku, kde jako mechová vlákna končí u zrnitých buněk. Dále je propriocepce vedena do talamu a z něj do mozkové kůry. Zapojení svalové propriocepce do vnímání posturální vertikality se pokusil objasnit Barbieri et al. (2008). Probandům připevnil k Achillovým šlachám vibrační desky a sledoval odchylku posturální vertikality v sagitální rovině. Výsledkem bylo posteriorní vychýlení, což potvrzuje jejich domněnku o vlivu propriocepce ze svalu na vnímání vertikality. Většina signálů však slouží ke korekci polohy změnou napětí svalu na úrovni míšního reflexu.

1.2.2.1 Svalová vřeténka

Svalová vřeténka jsou zapojena paralelně se svalovými vlákny a jsou připojena šlašinkami na jejich perimysium, takže při protažení svalu dochází i k protažení vřeténka. Obsahují modifikovaná intrafuzální svalová vlákna, na kterých jsou nervová zakončení aferentních nervů. Anulospirální zakončení rychle vedoucích vláken typu Ia je umístěno v centru intrafuzálního svalového vlákna typu nuclear bag. Směrem k periférii jsou pak větvičková zakončení pomaleji vedoucích, aferentních vláken typu II. Ty jsou častější na vláknech typu nuclear chain. Svalová vřeténka dále obsahují zakončení z γ - popřípadě β - motoneuronů, jejichž aktivita vede k izolovanému stahu intrafuzálních vláken. Při protažení intrafuzálního vlákna dochází k podráždění aferentních zakončení. Je-li toto podráždění nadprahové, vyšle se do CNS signál o změně délky svalu

(pohybu). Poté dochází k adaptaci a intrafuzální vlákno se nastaví do výchozí polohy na základě signálů z γ - a β - motoneuronů. Podle počtu a převahy jednotlivých vláken rozdělujeme svalová vřeténka do tří skupin:

1. D regulátory (nuclear bag) – jádra vlákna jsou umístěny uprostřed a tím vytváří jaderný vak; obsahují převážně rychlá anulospirální zakončení vláken typu Ia a knoflíkové zakončení γ - a β - motoneuronů, reagují dynamicky na protažení a rychle se adaptují.
2. PD regulátory (nuclear bag 2) – kromě anulospirálních zakončení okolo jader jsou zde i větvičková zakončení vláken II. typu na periferii vlákna, zakončení γ - motoneuronů je difúzní. Reagují spíše staticky a tonicky, jejich adaptace je pomalejší.
3. P regulátory (nuclear chain) – jádra jsou uspořádána za sebou jakoby v řetězu; vyskytují se hlavně vlákna typu II, γ - motoneurony jsou zakončeny difúzně, reagují tonicky a pomalu se adaptují.

1.2.2.2 Šlachové a kloubní receptory

Golgiho šlachová tělíska jsou umístěna sériově ve šlachách v blízkosti začátku svalu. Senzitivní vlákna typu Ib vedou informace o napětí svalového úponu, adaptují se pomalu.

Kloubní aference je zprostředkována čtyřmi typy receptorů, které poskytují informace o poloze kloubu a rychlosti pohybu – I. typ je podobný Ruffiniho tělískům a jeho aktivita je dána polohou a rychlostí pohybu kloubu, II. typ zaznamenává pohyb bez směrové citlivosti, III. typ je podobný Golgiho tělískům a IV. typ jsou volná nervová zakončení, která přenášejí bolest. Poslední výzkumy ukazují, že důležitost kloubních receptorů převyšují svalové propioceptory, protože i při náhradě kloubu endoprotézou, jsou poloha a pozice segmentů nadále percipovány. Jejich význam se však uplatňuje především v extrémních polohách kloubů (Trojan et al., 2003).

1.2.2.3 Viscerální graviceptory

Další receptory, které zprostředkovaně dokážou zaznamenat směr působení gravitace, jsou vnitřní orgány a cévy. Velké množství tahových receptorů je ve vazivu mesenteria, na kterém jsou zavěšeny klíčky tenkého střeva. Receptory tedy podávají informace o síle tahu a tím se do CNS dostává nepřímo informace i o pozici dutiny břišní v prostoru. Stejně receptory jsou

pochopitelně i v mesocolon, které drží tlusté střevo, v závěsech žaludku a ostatních orgánů. Je také známo, že vazivo vytváří trojrozměrnou síť, která udržuje vzájemnou pozici orgánů vůči sobě, a protože orgány se na základě působení gravitace pohybují, tak i tato síť je místem silné aference o pozici těla.

Dalším zdrojem informací o směru gravitace jsou cévy, resp. tlakové receptory v nich umístěné. Během normálního vzpřímeného stoje je v hrudní dutině menší množství krve nežli například vleže, nebo dokonce hlavou dolů. Při zkoumání, jestli simulace těchto skutečností způsobí u člověka pocit změněné polohy, přišli autoři k očekávaným výsledkům. Při zvýšeném tlaku dolního trupu, tedy když krev byla ve větším množství v hrudním koši, měli probandi pocit, že jsou otočeni hlavou dolů. Naopak při sníženém tlaku v dolním trupu, tedy snížení množství krve v hrudníku měli probandi pocit, že jsou ve vzpřímené pozici, ačkoli reálná pozice jejich těla byla stále stejná (Vaitl et al., 2002).

1.3 Schopnost vnímání vertikality

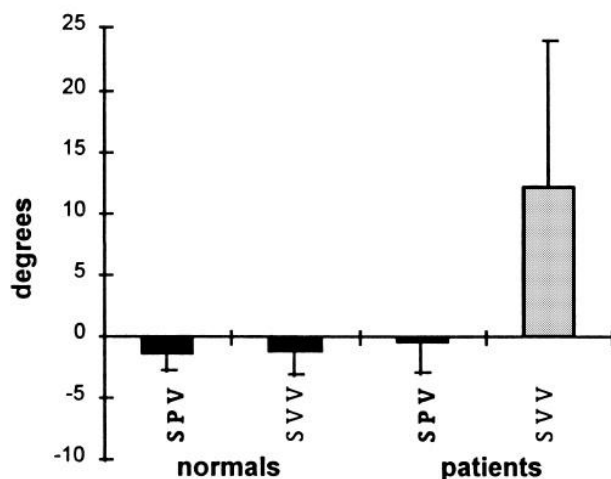
Lidé mají schopnost rozlišovat mezi zrychlením způsobeným pohybem a tím, jež je dané gravitací. Systémem vnímajícím klidovou polohu hlavy v prostoru je otolitová část VA. Při pohybu jsou pak drážděny i ostatní struktury VA, rozdíl v síle aferentního toku je tedy určující pro rozlišení pohybu hlavy od stabilní pozice. Další strukturou, která se podílí na vnímání polohy těla a orientaci v prostoru je somatosenzorický aparát, který nás informuje o postavení jednotlivých segmentů těla vůči sobě a spolu s informací z VA tak může CNS určit, zdali se tělo nachází ve směru gravitace či nikoliv. Posledním systémem je zrak, který nám říká, v jaké poloze se nacházíme vůči okolí. Poskládáním všech informací získáme za fyziologických podmínek vektor, který nazýváme subjektivní vertikála (dále jen SV) a vypovídá o vnitřní představě směru kolmo k zemi, resp. zemskému středu = geofyzikální (objektivní) vertikála (dále jen OV) (Gracio, 2012). Za normálních okolností a ve vzpřímené poloze má největší vliv vestibulární aparát, který jako jediný vnímá gravitační zrychlení přímo. Při úklonu hlavy však senzitivita makulárního systému slábne. Jednou z teorií proč tomu tak je, je nestejný počet smyslových buněk v sacculu a utriculu (Faralli et al., 2009). Bronstein et al. (2003) zkoumali rozdíl v zapojení jednotlivých aferentních systémů při určování subjektivní vertikály. Výsledkem je, že v případě poruchy jednoho systému dochází k diskrepanci mezi signály a při poruše vestibulárního aparátu dochází k odklonu zrakové SV, ale hmatová stejně jako posturální SV se brzy přizpůsobí novým podmínkám, nebo není vychýlena vůbec.

1.3.1 Způsoby vyšetřování subjektivní vertikály

Na základě systémů, které používáme při měření vnitřní představy vertikality, můžeme rozdělit subjektivní vertikálu na zrakovou, hmatovou a posturální. Subjektivní zrakovou vertikálu (dále jen SVV) používáme k posouzení, zdali se sledovaný předmět nachází ve směru shodném s OV. Subjektivní hmatovou vertikálu (dále jen SHV) užíváme k držení předmětů ve směru gravitace, např. při držení sklenice s vodou v ruce. Subjektivní posturální vertikálou (dále jen SPV) jsme schopni určit, v jakém postavení se nachází naše tělo ve vztahu ke gravitaci (Černý, 1988).

Zatím není zcela jasné, jaké aferentní vstupy převažují při měření jednotlivých SV a proto je to předmětem mnoha studií (Barra et al., 2010). Anastasopoulos et al. (1997), se ve své studii se zabývali pacienty s periferní vestibulární lézí a naměřené hodnoty SVV a SPV porovnali se skupinou zdravých lidí. Výsledky studie ukázaly, že SVV byla u pacientů vychýlena na stranu léze, ale SPV byla určována správně (Obrázek 7). Autoři tedy na základě těchto výsledků předpokládají jiné zapojení struktur při určování jednotlivých SV. Na SVV se jako hlavní aferentní vstup jeví vestibulární aparát, zatímco u SPV je vestibulární aparát upozaděn a větší vliv má somatosenzorický systém. A proto jí akutní vestibulární nerovnováha nemusí ovlivňovat.

Tento předpoklad se potvrdil i v dalších studiích zkoumajících důležitost a rozložení jednotlivých sensorů. Na jejich základě můžeme předpokládat, že hlavním je vestibulární aparát, ale v případě jeho poruchy ho zrakový a somatosenzorický systém dokážou rychle zastoupit (Bronstein et al., 2003). Díky tomu je možné, že člověk s poruchou vestibulárního aparátu dokáže udržet rovnováhu. Tarnutzer et al. (2012) proto navrhuje zjišťovat schopnost udržení stability pomocí SHV, resp. SPV a ne pomocí SVV.

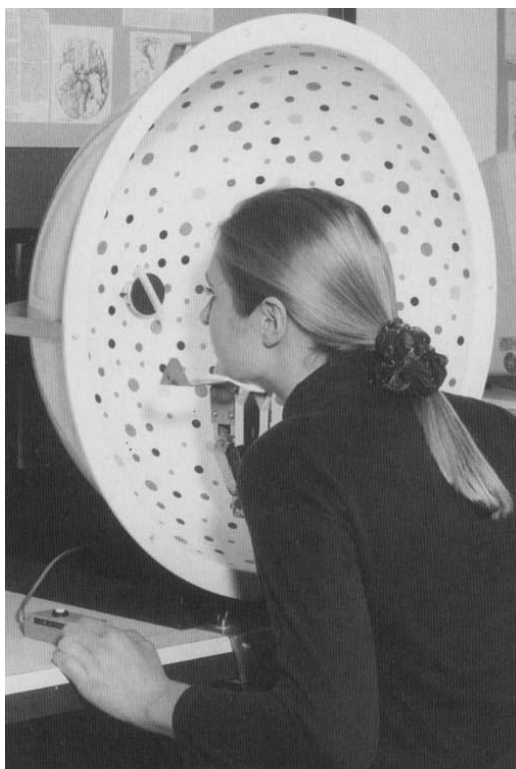


Obrázek 7. Ukázka vychýlení SVV u pacientů s periferní vestibulární lézí, zatímco posturální vertikála je určována správně (Anastosopoulos et al., 1997).

1.3.2 Subjektivní zraková vertikála

Pro svou snadnou přístupnost je SVV nejlépe prozkoumanou veličinou oproti haptické nebo posturální vertikále. Měří se jak ve statických tak i dynamických podmínkách, pomocí různých zařízení. Podmínkou měření je eliminace co možná největšího počtu vnějších vlivů, především zrakových a sluchových a dalších aferencí. Jak bylo psáno, tak SVV má největší afinitu k vestibulárnímu aparátu a proto by se toto měření mělo zahrnout do obecného vyšetření funkce VA (Böhmer, Mast, 1998).

Samotné měření statické SVV se provádí v zatemněné místnosti, kde je proband posazen. Metr před ním je osvětlená, 50cm dlouhá tyč, kterou proband pomocí ovladače uvádí z výchozí polohy do své SVV (Anastopoulos et al., 1997; Barra et al., 2008; Faralli et al., 2010). Další možností, jak zakrýt vyšetřovanému zorné pole, je měření pomocí „sférického dómu“, tedy polokoule o poloměru 60cm, do které je umístěna hlava probanda (Obrázek 8). Uprostřed dómu, 30cm před obličejem vyšetřovaného, je umístěna tyčka, kterou vyšetřovaný opět pomocí ovladače navádí do SVV (Strupp, 1998; Kobayashi, 2002).



Obrázek 8. Sférický dóm používaný pro měření SVV (Strupp 1998).

Další možností je tzv. „bucket method“ tedy kbelíková metoda, navržená a odzkoušena Zwergalem et al. (2009). Tento postup byl použit i pro účely této diplomové práce a bude tedy popsán v kapitole metodiky práce. Dynamická SVV se získává pomocí stejných přístrojů, pouze s tím rozdílem, že je pohybováno pozadím (Kobayashi, 2002), nebo přímo vyšetřovaným (Lorinez, Hess, 2008; Pérennou et al., 2008).

Jedním z prvních kdo zkoumal SVV byl v roce 1861 Aubert. Ve své práci popsal jev, který se dnes nazývá A – efekt. Zjistil, že zatímco ve vzpřímené poloze dokáže zdravý jedinec určit SVV s velikou přesností, při odchýlení osy těla, resp. hlavy o více jak 60° od OV dochází i k odchýlení SVV. Tato odchylka má přesně daný směr a je shodná se směrem odklonu osy hlavy, OV se totiž během otáčení těla zdánlivě odchyluje od směru otáčení. Tento jev dále zkoumal ve své práci v roce 1916 Müller a zjistil, že do 60° se SVV posouvá naopak směrem od náklonu těla, tento jev nazval E – efektem. Další studie však zjistily, že je tento jev malý, nebo není přítomen vůbec. Poslední úpravy jevů hovoří o maximální hodnotě A – efektu při odklonu těla o 130° a při 135° - 150° se A – efekt náhle mění v E – efekt. Podle autorů je to dáno integrací jednotlivých vjemů v CNS. Dalším faktorem je torze očních bulbů v protisměru otočení hlavy, kterého si však mozek není vědom (Schuler et al., 2010).

1.3.2.1 Vliv stárnutí na subjektivní zrakovou vertikálu

Jak bylo uvedeno dříve, funkce VA se s přibývajícím věkem degraduje, což by se mělo projevit na schopnosti vnímat směr gravitace a tím i určování SVV. Kobayashi et al. v roce 2002 zkoumal statickou a dynamickou vertikálu u lidí různého věku a zjistil, že zatímco statická SVV se s věkem nezhoršuje, tak dynamická SVV se během stárnutí odchyluje. Ke stejným výsledkům při měření statické SVV dospěli ve své studii i Braem et al. (2014), kteří nenašli žádný významný rozdíl mezi mladšími a staršími jedinci.

1.3.3 Subjektivní haptická vertikála

Subjektivní haptickou vertikálu měříme pomocí tyče, kterou vyšetřovaný otáčí pomocí horních končetin směrem k objektivní vertikále (Obrázek 9). Tato tyč je připevněna k úhlovému snímači, který měří odchylku od OV. Tyč je možné uchopit jednou nebo oběma rukama. Při měření je opět důležité zamezit

zrakové kontrole, zorné pole však nemusí být zakryto zcela, stačí, aby vyšetřovaný neviděl na končetinu, která úkon provádí (Bronstein et al., 2003).

Z mnohých prací vyplývá jiné zapojení a práce CNS s aferentními informacemi u SHV oproti SVV. Bronsteinova studie ukázala, že u pacienta po cévní mozkové příhodě v oblasti mozkového kmene byly jeden měsíc po iktu odchylky SVV i SHV mimo rámeček normy – tedy 2° pro SVV a 4° pro SHV. Šest měsíců po příhodě však zůstal odklon pouze u SVV. Pacient s benigním paroxysmálním polohovým vertigem (poruchou VA, kdy dojde k dislokaci statokonie z macula utriculi nejčastěji do zadního polokruhovitého kanálku) měl odklon SVV, zatímco SHV byla naměřena v mezích normy. Z těchto měření autorům vyplývá, že při určování SVV hraje vestibulární aparát zásadní roli. V případě tělesné nebo haptické vertikály je sice VA zapojen, ale v případě jeho poruchy přebírá funkci vestibulárního aparátu somatosenzorický systém (Bronstein et al., 2003).



Obrázek 9. Zařízení na měření subjektivní haptické vertikály (Schuler et al., 2010).

Podobný závěr ve své práci uvádí i Tarnutzer (2012), který doporučuje u poruch rovnováhy použít SHV případně SPV, protože mají větší potenciál odhalit problémy i v oblasti somatosenzorického systému. Normy ve své práci udává 2.5° pro SVV, 4° pro obouruční úchop SHV a 4.5° pro jednoruční úchop. Braem et al. (2014) však uvádějí, že průměrné výsledky mladých zdravých jedinců ($0.15 \pm 0.42^\circ$) jsou hluboko pod touto normou a proto je dobré výsledky jednotlivců neporovnávat pouze v rámci normy, ale také s tímto průměrem.

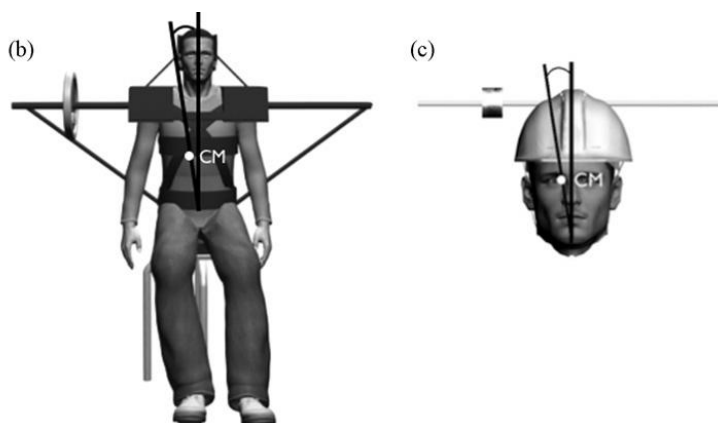
Pro určování SHV je také nezbytný poznatek o hysterezi v jejím určování, tedy závislost jistého fyzikálního stavu fyzikální soustavy na stavech předchozích. Neboli vyšetřovaný udává SHV před dosažením objektivní vertikály, což je způsobeno propiocepčním vstupem do CNS při uvedení končetiny do výchozí polohy. Toto přednastavení receptorů ovlivňuje výsledné postavení ruky směrem k výchozí poloze horní končetiny. (Tarnutzer et al., 2012).

Několik studií se zabývalo, zdali se SHV chová stejně jako SVV při úklonu osy hlavy od OV. Tedy jestli je přítomna obdoba A či E – efektu. Výsledky studií se však neshodují. Bauermeister et al. (1964) zjistil, že při odklonu osy hlavy o $\pm 90^\circ$ je odchylka SHV o $\pm 6^\circ$. Bortolami et al. (2006) naměřil při stejném odklonu odchylku $\pm 12^\circ$, avšak pouze při náklonu těla doleva, při náklonu těla za pravým uchem bylo určování SHV správné. V obou případech se měření provádělo pravou rukou. Ani v jednom případě však není uveden směr otáčení a tedy nemůžeme porovnat, zda nebyla odchylka způsobena spíše vlivem hystereze. Další studie zkoumaly odchylku SHV při menším naklonění trupu, a sice do $\pm 35^\circ$. Guerraz zjistil odchylku přibližně 5° (Guerraz et al. 2000). Funk však při tomto náklonu nezaznamenal odchylku SHV žádnou (Funk et al., 2010).

Schuler et al. (2010) ve vlastní studii pojalí porovnání SVV a SHV komplexněji a objevili určité podobnosti v jejich určování. Autoři dříve popsali, že křivka odchylky SVV má při převedení do absolutních hodnot tvar písmene M. Při převedení absolutních hodnot odchylek SHV do grafu se objevila křivka stejného tvaru, pouze s menšími rozdíly v jednotlivých měřeních. Dále se ukázala závislost na zrakové kontrole okolí. Při nezakrytém zraku bylo určování horší, než při kompletním vyloučení zraku. Při odklonu těla od vertikály se tedy zrak podílí na zkreslení OV. Autoři to dávají za vinu automatické oční torzi,

kteřá společně s vizuální informací a VA vychýlí i SHV. S vyloučením zraku se však informace přijímají opět hlavně z VA a ze somatosenzorického systému a SHV se upraví. Na základě všech výsledků však autor uvádí, že největší vliv má na hodnoty SHV hystereze.

Zajímavou studii na téma A-efektu při měření haptické vertikály prezentovali Fourre et al. (2009), kteří místo pasivního náklonu osy těla či hlavy použili závaží (Obrázek 10), které vychýlilo COG. U čtrnácti probandů připevnili závaží na ramena laterálně od osy těla. Podle vzdálenosti to simulovalo náklon $\pm 7^\circ$ a $\pm 4^\circ$. Stejně to provedli izolovaně pouze pro simulovaný náklon $\pm 9.33^\circ$, hlavy a zkoumali, zdali se naměřené hodnoty SHV budou lišit. Výsledkem bylo, že SHV ovlivnilo pouze vychýlení COG celého těla, zatímco vychýlení COG hlavy na SHV vliv nemělo.



Obrázek 10. Aparát pro simulovaný náklon těla (b) resp. hlavy (c) posunutím COG (CM) (Fourre et al. 2009).

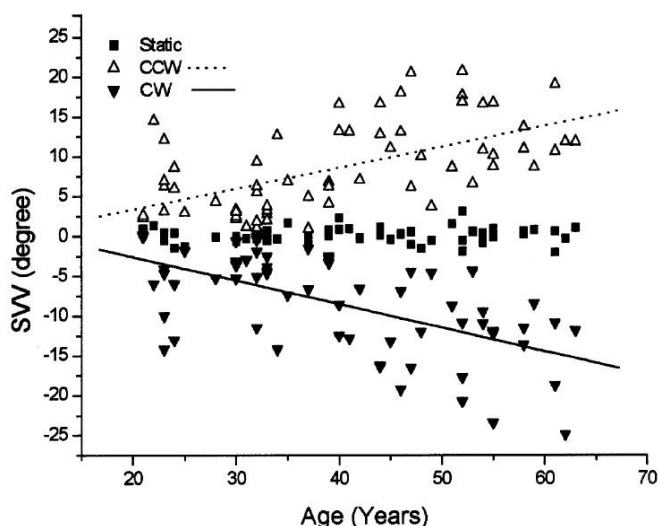
1.4 Studie zabývající se problematikou percepce vertikality

Dynamic and static subjective visual vertical with aging

Hironari Kobayashi et al., 2002; Auris Nasus Larynx

Ve studii se autoři věnují podílu vestibulárního systému, zraku a propriocepce na udržování posturální stability a řeší otázku, nakolik se jejich důležitost s věkem mění. Pro účely práce měřili u probandů dynamickou a statickou SVV pomocí sférické polokoule. Při dynamické SVV polokoule rotovala a vyvolávala pocit pohybu, takže při větším vlivu zraku na určování SVV by došlo k signifikantní odchylce. Pro získání potřebných dat vyšetřili 63 zdravých lidí ve věku od 21 do 63 let.

Výsledky měření prokázaly zhoršení v dovednosti při určování dynamické SVV v závislosti na věku, zatímco statická SVV byla určována v rámci normy ve všech věkových kategoriích (Obrázek 11). Zhoršení bylo při otáčení sférické polokoule po i proti směru hodinových ručiček: velikost chyby se zvyšovala o 0.3° resp. $0.26^\circ \pm 0.05^\circ$ za rok, vždy v protisměru otáčení pozadí. Na základě výsledků se autoři přiklánějí k závěrům z dřívějších prací, že s přibývajícím věkem roste vliv zraku na udržování rovnováhy.



Obrázek 11. Ukazuje rozdíl mezi statickým a dynamickým měřením SVV. Statická SVV označena jako čtverec je u všech věkových skupin v blízkosti OV. Dynamická SVV, která je rozdělena na CW (pozadí otáčeno po směru hodinových ručiček) a CCW (pozadí je otáčeno proti směru hodinových ručiček) se se zvyšujícím věkem stále více odchyľuje od OV (Kobayashi et al. 2002).

Age related changes in posture and movement

Marjorie H. Woollacott, 1993; Journal of Gerontology

Na základě dřívějších zjištění o zhoršené schopnosti kontroly COP u osob starších 50 let Woollacottová měřila svalovou odpověď na antero-posteriorní zhoupnutí podložky a zjistila signifikantní zpoždění či jiné zapojení (proximální svaly před distálními, horší koordinace mezi agonisty a antagonisty) v odpovědi svalů lidí nad 61 let. Zároveň také zjistila, že je u starších lidí častější kyčelní strategie udržení rovnováhy, což potvrzují i další studie. Výsledky dále ukázaly, že se u zdravých lidí při volných pohybech aktivují posturální svaly dříve než fázické pohyb provedou. U starších lidí je toto zpomalené a posturální svaly, zodpovědné za udržení rovnováhy se aktivují v menším předstihu.

V další části se věnuje poznatku, který uvádí 40% redukci smyslových buněk ve vestibulárním aparátu, snížení citlivosti jak kožního, tak hlubokého vibračního i kloubního cití. Dále dochází ke zhoršení zraku způsobeného snížením průchodu světla očními médii – v 60 letech zhruba na třetinu 20 letých. Zároveň ale studie ukazují, že čím je člověk starší, tím u něj více převládá udržování rovnováhy pomocí zraku. Pokusy na posturografu ukázaly, že za podmínek kdy se uplatňují zrak, propiocepce a vestibulární aparát, nevykazují starší lidé významné zhoršení rovnováhy, stejně jako při zachování alespoň dvou smyslů. Ke zhoršení však dojde v případě, kdy samostatně působí pouze vestibulární aparát, což může být důsledkem 40% úbytku ve věku 75-85 let podle Rosenhalla a Rubina a tedy zhoršené schopnosti udržet rovnováhu pouze pomocí VA.

Effect of aging on postural stability: a cross sectional and longitudinal study

R.A. du Pasquier et al., 2003; Clinical Neurophysiology

Cílem této studie bylo najít ideální metodu pro měření rovnováhy a určení parametrů pro odlišení fyziologického zhoršení stability od patologické poruchy a tím předcházet přidruženým komplikacím z pádů. Zahrnuto bylo 50 zdravých jedinců ve věku od 25 do 83 let, měření byli na posturografu, který

snímal pohyb jejich COP. Měření klidného stoje po dobu 30s provedli dvakrát – jednou s očima otevřenými, podruhé s vyloučením zrakové kontroly. Pro ověření testu znovu vyšetřili 10 účastníků po 3 a 6 měsících. Pro dlouhodobou studii znovu otestovali náhodných 28 lidí po 2.2 roce.

Výsledky ukázaly větší rychlost i vzdálenost pohybu COP u lidí nad 60 let. U průřezové studie byl průměrný rozdíl v rychlosti pohybu COP o 0.038 mm/s/rok. Dlouhodobá studie ukázala progres 0.041 mm/s/rok. Autoři tedy navrhují jako ideální metodu měření rovnováhy statickou posturografii. Rozdílovým parametrem mezi fyziologickým stárnutím a patologickou disbalancí je na základě výsledků hodnota zvětšení pohybu COP o 0.04 mm/s/rok. Nejcitlivějším ukazatelem závislosti věku na rychlost COP je pohyb v sagitální rovině. Nicméně jiné studie ukazují, že riziko pádů více koreluje s vychýlením v rovině frontální při dynamické posturografii. Porovnávání výsledků dále ukázalo, že největší vliv na pohyb COP má váha jedince nezávisle na věku a větší míru závislosti na zraku už od 60 let.

Zaměřením této studie bylo zjistit, zdali je možné pomocí haptické vertikály a zrakové vertikály odhadnout schopnost orientace v prostoru, která byla měřena jako zrakově-haptická vertikála.

Integration of visual and haptic informations in the perception of the vertical in young and old healthy adults and right brain-damaged patients

B. Braem et al., 2014; Clinical Neurophysiology

Pro splnění cílů naměřili zmíněné parametry u 21 mladých zdravých jedinců (9 mužů a 12 žen) průměrného věku 23.9 ± 2.3 roku, 8 starších zdravých jedinců (3 muže a 5 žen) průměrného věku 53.5 ± 6.9 let a 16 pacientů po CMP s poškozením pravé hemisféry mozku, část s neglect syndromem a část bez něj. Všichni pacienti, kteří měli „pusher“ syndrom, postižení na pravé horní končetině, nebo jiný deficit znemožňující provedení požadovaného úkolu, byli vyloučeni ze studie. Měření probíhalo pomocí jednoho přístroje, který byl umístěn v temné místnosti a sestával se z tyče, na které byly umístěny diody. Při měření SVV proband ústně naváděl tyč z výchozí polohy do vertikály, SHV vertikálu získali otočením tyče pravou

končetinou do vertikály bez zrakové kontroly a kombinovanou vertikálu získaly otočením tyče se zrakovou kontrolou.

Pro cíle naší práce jsou zajímavé výsledky skupin zdravých jedinců z měření SHV a SVV. Hodnoty SVV se u obou skupin blížily k OV ($0.1 \pm 1.0^\circ$ mladí vs. $0.2 \pm 1.3^\circ$ starší). Naopak hodnoty SHV se lišily ve směru odchylky, nikoliv však ve velikosti odchylky ($-3.1 \pm 3.1^\circ$ vs. $3.2 \pm 3.3^\circ$). Hodnoty u mladých však neodpovídají průměru, který je ve studiích SHV dosahován, což autoři svádějí na limity použité metody.

Subjective visual vertical in vestibular disorders measured with the bucket test

Helen S. Cohen, Haleh Sangi-Haghpeykar, 2012; Acta Oto-Laryngologica

Pomocí Zwergalovy „kbelíkové“ metody autorky změřily 25 pacientů s jednostranným BPPV v zadním polokruhovitém kanálku, 25 pacientů s jednostrannou poruchou vestibulárního aparátu a 50 zdravých jedinců jako kontrolní skupinu.

Poté porovnaly jednotlivé skupiny mezi sebou a zjistily, že při otáčení přístrojem z pacientovy zdravé strany k nemocné se výsledky neliší od měření provedených zrcadlově. Významný rozdíl nebyl ani mezi dvěma skupinami pacientů. U nemocných nezjistila ani stálou odchylku k jedné straně. Významný rozdíl naopak byl mezi kontrolní skupinou a skupinou pacientů. Zajímavý byl rozdíl mezi muži a ženami, kdy ženy z kontrolní skupiny se významně lišily jak při porovnání rotace ze zdravé, z nemocné, tak i kombinací stran. Muži naopak neprokázali rozdíl mezi kontrolní skupinou a rotací ze zdravé strany pacientů, významný rozdíl byl pouze při porovnání kontrol s rotací z nemocné strany a nízká závislost byla u kombinace stran. Testování dále ukázalo významnější rozdíl při porovnání kontrol pod 50 let a mladších pacientů oproti kontrolám nad 50 let a starších pacientů. Tedy u osob nad 50 let věku se při porovnání kontrolní skupiny a pacientovy zdravé strany nepotvrdil významný rozdíl, ten byl nalezen pouze při porovnání s nemocnou stranou a při kombinaci obou stran. U skupiny pacientů nad 50 let se také nepotvrdil rozdíl mezi zdravou a nemocnou stranou.

Hysteresis of haptic vertical and straight ahead in healthy human subjects

Alexander A Tarnutzer et al., 2012; BMC Neuroscience

Pro tuto studii si zvolili za cíl objasnit vliv různých modalit na určování SHV. Porovnávali mezi sebou muže a ženy, praváky a leváky, dlaňový úchop proti pinzetovému, dominantní ruku proti nedominantní a nakonec vliv hystereze. Vše na závěr porovnali se schopností nastavit na stejném přístroji směr vpřed (perceived straight ahead dále jen PSA), tedy subjektivní haptickou horizontálu v sagitální rovině. Celkem změřili 21 osob, 10 osob pak změřili pro kontrolu i na PSA.

Výsledky ukázaly významnou odchylku od OV pouze při otáčení po směru hodinových ručiček a to ve smyslu hystereze. Zajímavé bylo, že tato odchylka byla u praváků i leváků nápadnější na pravé ruce a to -4.4° resp. -4.7° , zatímco průměrná odchylka při otáčení proti směru hodinových ručiček byla -1.8° . Další porovnání ukázaly menší rozptyl hodnot při pevném dlaňovém úchopu, u praváků a u mužů a to 2.1° oproti 2.4° (pinzetový úchop a ženy) a 2.6° (leváci). U PSA kde měřili pouze praváky, zjistili větší odchylku při pokusech s levou rukou -4° oproti 0.6° při měření pravou rukou. Odklon byl stejně jako při SHV v protisměru hodinových ručiček, ostatní faktory neměly jednoznačný vliv. Na základě výsledků autoři potvrzují vliv hystereze na určování SHV, ale pouze při otáčení po směru hodinových ručiček. Určitý vliv se ukázal i při porovnání pravé a levé ruky, ale protože u kontroly při určování PSA byly výsledky opačné, nelze tak dojít k jasným závěrům. Ostatní faktory nemají jasný vliv na přesnost určování subjektivní vertikály.

2 Cíle a hypotézy

Cílem této práce bylo změřit subjektivní zrakovou vertikálu u zdravých jedinců ve věku od 20 do 30 let a porovnat ji s hodnotami SVV naměřenými u zdravých osob ve věku nad 60 let. Na základě získaných dat zjistit, zdali se skupiny vzájemně liší. Odchylka SVV je citlivým ukazatelem tonické funkce vestibulárního aparátu, především otolitové části, která je zodpovědná za udržování vzpřímené postury v gravitačním poli. Dalším cílem práce bylo změřit u každého jedince SHV, která je úzce spojena se somatosenzorickým systémem a tedy jeho vlivem na udržování vzpřímeného stoje a pohyb v gravitačním poli. Porovnat hodnoty odchylky SHV mezi skupinou mladých a skupinou seniorů a zjistit, zdali se liší.

Na základě těchto informací pak určit, jakým způsobem má přibývajícím věkem vliv na přesnost vnímání vertikality. Tedy který systém je nejvíce zasažen během stárnutí.

Pro naši práci jsme si stanovili následující hypotézy:

- ◆ Hodnoty odchylky SVV starých jedinců se budou lišit od výsledků skupiny mladých osob.
- ◆ Schopnost určení SHV ve skupině mladých jedinců se bude lišit od hodnot získaných u skupiny seniorů.

Dále jsme si zvolili tyto vedlejší hypotézy:

- ◆ Při otáčení po směru hodinových ručiček a supinaci bude častější odchylka ve smyslu nedotočení než při otáčení proti směru hodinových ručiček a pronaci.
- ◆ Supinace a pronace se budou lišit v přesnosti určování SHV.
- ◆ U skupiny seniorů se bude odchylka SHV lišit od odchylky SVV.
- ◆ Ve skupině mladých jedinců se odchylka SHV nebude lišit od odchylky SVV.
- ◆ Mezi muži a ženami nenaměříme signifikantní rozdíl v určování SVV ani SHV.

3 Metodika

Na základě stanovených cílů práce jsme u probandů vyšetřili SVV a SHV pomocí zařízení, které byly navrženy podle přístrojů používaných k měření subjektivní vertikály ve studiích jiných autorů.

3.1 Vyšetření jedinci

Probandy jsme rozdělili podle věku do dvou skupin. Do první skupiny jsme zařadili probandy do třiceti let věku, druhou skupinu pak tvořili probandi od šedesáti let věku dál. Celkem jsme vyšetřili 66 zdravých osob. U žádného jedince nebyla přítomna porucha ovlivňující stabilitu ani žádná jiná patologie vestibulárního systému, propiocepce, zraku nebo na úrovni CNS. Všechny osoby zahrnuté do studie byly s měřením předem seznámeny a souhlasili s vyšetřením pro účely studie.

V první skupině od 20 do 30 let věku bylo 30 osob 13 mužů a 17 žen, průměrný věk byl 24.5 ± 1.4 let (od 21 do 27 let). Ve druhé skupině nad 60 let věku bylo 36 osob (11 mužů a 25 žen) s průměrným věkem 75.5 ± 7.6 let (od 62 do 89 let). Převážnou část souboru zaujímaly osoby s dominantní pravou horní končetinou – 59 jedinců proti 7 s dominancí na levé horní končetině. Ze skupiny seniorů jsme po zhodnocení výsledků vyřadili dvě ženy, u kterých byly naměřeny hrubě abnormální hodnoty SVV a SHV naznačující patologii v systémech zodpovědných za vnímání vertikality. Po opravě tedy ve skupině seniorů bylo 34 osob (11 mužů a 23 žen) průměrného věku 74.6 ± 7.5 let. U každého vyšetřovaného jsme provedli jednu sérii měření pomocí přístroje pro SVV a jednu sérii měření pro získání SHV.

3.2 Měření haptické vertikály

Přístroj pro měření haptické vertikály se skládá z měřicí tyče (madla), která je umístěna z jedné strany pevné, stojné desky (Obrázek 12), a úhломěru s olovnici na straně druhé (Obrázek 13). Úhломěr je pevně propojen s měřicí tyčí tak, že její vertikální pozice je nastavena na 0° . Olovnice neustále ukazuje geofyzikální vertikálu a slouží k odečítání odchylky zobrazené na úhломěru.

Vyšetřovaný sedí tak, že nohy volně spočívají na podložce cca na šířku pánve od sebe, plosky jsou celé opřeny o podložku, páteř je napříměna, rameno vyšetřované HK je v 90° flexi, loket je natažen, zápěstí v neutrální poloze, ruka drží měřicí tyč palmárním úchopem se zámek (opozicí) palce (Obrázek 14). Rameno je nastaveno přibližně ve výšce osy otáčení měřicí tyče a přímo proti ní. Tyč je střídavě vychylována o cca 60° doleva a doprava od vertikály, pacient poté s vyloučením zrakové kontroly otáčí tyč do subjektivní haptické vertikály.



Obrázek 12. Strana vyšetřovaného s měřicí tyčí, která je propojena s úhloměrem.



Obrázek 13. Strana vyšetřujícího s olovnicí a úhloměrem, které ukazují odchylku měřicí tyče od OV.

Každá sada měření se skládá z šesti pokusů, tři otočení po směru hodinových ručiček následované třemi v protisměru. Vyšetřovaný nebyl žádným způsobem informován o velikosti a směru chyby jednotlivých pokusů v porovnání s OV, neměl tedy k dispozici zpětnou vazbu, která by mohla ovlivnit následný pokus. Při každém jednom měření pacient uchopí náhodně vychýlenou tyč od OV, otočí ji do své subjektivní vertikály a poté, kdy si je postavením jistý, ji pustí. Vyšetřující následně zapíše naměřenou odchylku. Odchylky radiální (palcovou) stranou mediálně jsou zapisovány jako plusové, laterálně jako minusové hodnoty. Vyšetření přitom nezabere více jak 5 minut.

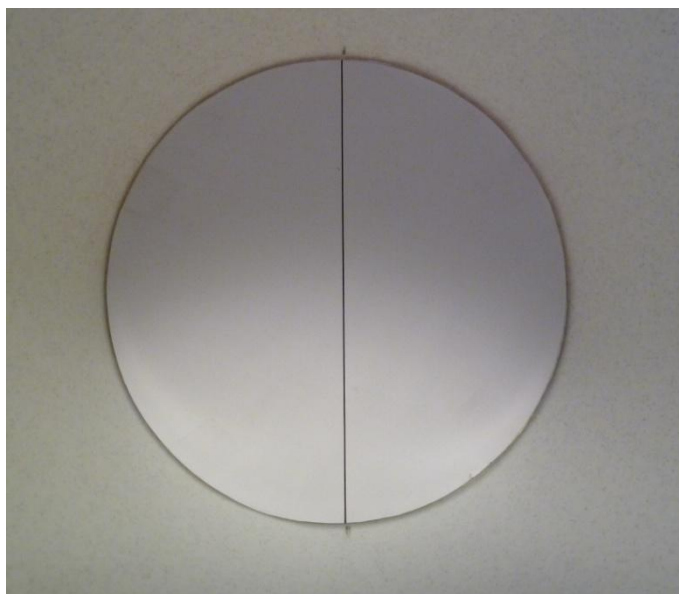


Obrázek 14. Správný úchop měřící tyče. Plusem je znázorněna odchylka protisměru hodinových ručiček, mínusem po směru hodinových ručiček.

3.3 Měření zrakové vertikály

K měření SVV byla použita „bucket method“ (dále jen BM) navržená a publikovaná Zwergalem et al. (2009). K zjištění validity dat získaných BM, použil Zwergal srovnání s „hemispheric dome method“, což je metoda běžně používaná k měření SVV. Pomocí BM získal u pacientů i u kontrolní skupiny stejně významné výsledky a doporučil ji jako spolehlivou, nenákladnou a časově nenáročnou metodu k měření SVV.

Měřící zařízení se skládá z průsvitného a neprůhledného válce (kbelíku), na jehož dně je uvnitř narýsována černá přímka protínající střed (Obrázek 15). Z venku je na dně umístěno zařízení pro zaznamenávání odchylky, které se skládá z úhloměru a závaží na tenkém lanku (olovnice). Závaží zavěšené na lanku vychází ze středu a ukazuje směr působení zemské gravitace, úhloměr je umístěn tak, že 0° odpovídá přímce, která je uvnitř, a tím při otáčení kbelíku olovnice neustále ukazuje na úhloměru vychýlení SVV (vnitřní černé osy) od OV.



Obrázek 15. Pohled dovnitř vyšetřovacího „kbelíku“, kde je na dně narýsována černá přímka.

Při samotném měření pacient sedí a sleduje přímku narýsovanou uvnitř plastového neprůhledného kbelíku (Obrázek 16). Hlava vyšetřovaného není fixována, obličej je těsně na hranici válce, takže vyšetřovaný nevidí přes jeho okraj a je tedy znemožněna vizuální orientace z okolí. Vyšetřuje se binokulárně. Při každém vyšetření vyšetřující nejprve vychýlí SVV (vnitřní černá linie) do strany a poté pomalu otáčí válcem zpět k OV a čeká, až vyšetřovaný slovem „stop“ ohlásí, že vnímá vnitřní přímku ve vertikálním postavení, případně ohlášením směru doladí pozici podle své představy. Poté vyšetřující odečte z úhloměru naměřenou hodnotu, přičemž odchylka po směru hodinových ručiček je označena jako mínus a proti tomuto směru se značí jako plus. Způsob vyšetření ve volném vzpřímeném sedu a bez uchycení hlavy, tedy v subjektivní posturální vertikále vyšetřovaného, by mohlo ovlivnit výsledky měření, ale užití této metody to v praxi neprokázalo. Opět jsou provedena tři měření po směru a tři měření protisměru hodinových ručiček. Doba nutná k vyšetření nezabere více jak čtyři minuty.



Obrázek 16. Vyšetřování SVV pomocí bucket method. Vyšetřovaný sleduje vnitřní přímky a snaží se jí uvést do vertikály, zatímco vyšetřovaný pomocí úhlooměru a olovnice sleduje odchylku přímky od OV.

3.4 Statistické zpracování dat

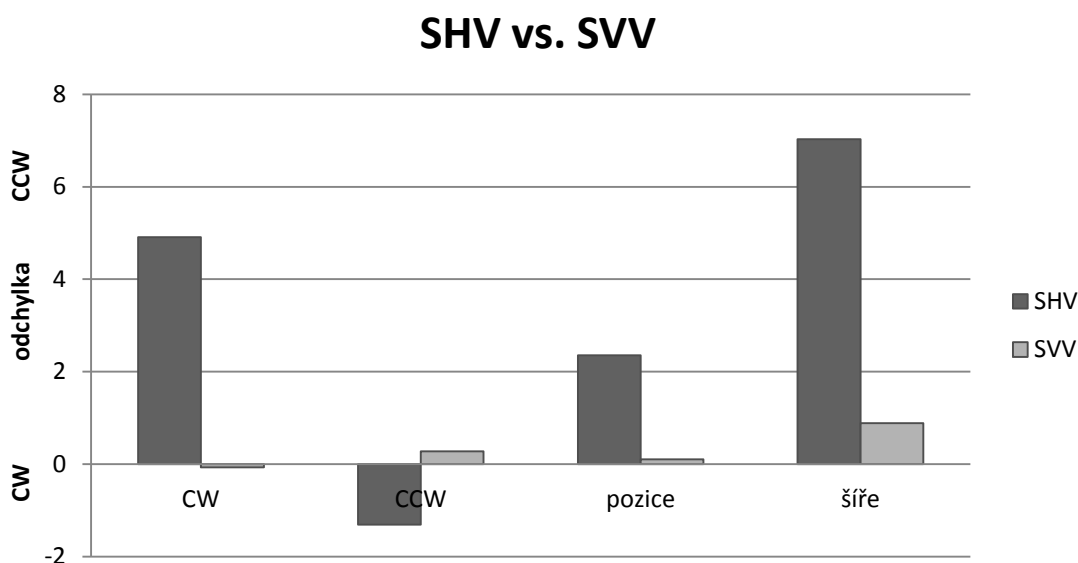
Výsledky jednotlivých skupin jsme poté vyhodnotili statistickou analýzou pro porovnání průměrů a rozptylů. Ze získaných dat jsme dále porovnali rozdílnost výsledků u mužů a žen v rámci jedné skupiny i pohlavní rozdílnost mezi skupinami. Parametry zvolené k porovnání byly:

- ◆ Odchylka při otáčení po a proti směru hodinových ručiček.
- ◆ Dále celkový průměr měření (tedy průměrná pozice) a šíře (tedy rozdíl mezi průměrným otočením po směru hodinových ručiček a proti směru).
- ◆ U SHV jsme dále porovnávali přesnost pronace a supinace. U praváků je supinace spojená s otáčením po směru hodinových ručiček a pronace probíhá proti tomuto směru, u leváků je tomu přesně naopak.
- ◆ Ze získaných dat jsme také hodnotili vliv hystereze, která je často zmiňovaným jevem při měření SHV. Zjišťovali jsme tedy, zdali najdeme statistickou významnost nedotáčení proti přetáčení.

Ke statistickému zpracování jsme použili analytický program Excel ze sady Office 2007 od společnosti Microsoft. Pro ověření hypotéz jsme použili Studentův t-test pro porovnání průměrů. Nejprve však bylo potřeba ověřit, zdali jsou data normálně rozložena a pomocí F-testu zjistit rovnost rozptylů jednotlivých porovnávaných parametrů. Provedli jsme také srovnání pomocí Z-testu, zdali se průměrná odchylka pozice liší od očekávané hodnoty, tedy OV, která je rovna 0° . Pro posouzení vlivu hystereze jsme použili chí-kvadrát test, který porovnává, zda se v souboru liší četnost hodnoty nedotočení a přetočení.

4 Výsledky

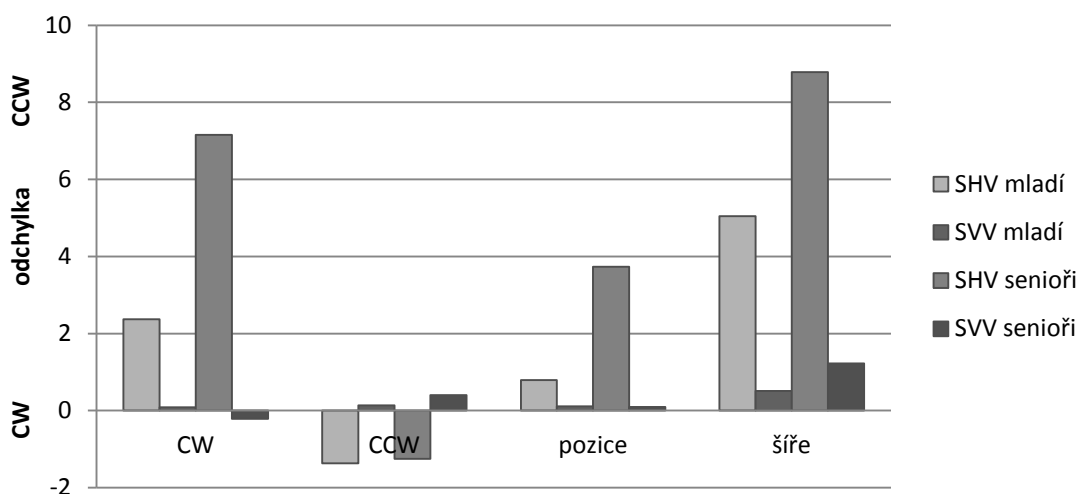
Do studie bylo zahrnuto celkem 64 probandů, u kterých jsme zjišťovali hodnotu odchylky subjektivní vertikály haptické a vizuální od skutečného směru působení zemské přitažlivosti. Pozice, jak jsme nazvali průměrnou odchylku ze všech šesti pokusů, SHV byla $2.4 \pm 4.17^\circ$, pozice SVV byla $0.1 \pm 1.47^\circ$ (Obrázek 17). Dále jsme zjišťovali, jaká byla šíře (či chybovost) při určování vertikality, čili rozdíl průměrné odchylky při otáčení po směru hodinových ručiček a proti směru hodinových ručiček. Průměrná šíře SHV byla $7 \pm 5.8^\circ$ a u SVV $0.9 \pm 1.3^\circ$. Pozice při otáčení po směru hodinových ručiček byla pro SHV $4.9 \pm 6.08^\circ$ a pro SVV $-0.1 \pm 2.83^\circ$. Pozice při otáčení protisměru hodinových ručiček byla pro SHV $-1.3 \pm 4.98^\circ$ a SVV $0.3 \pm 1.64^\circ$. Všechny zmíněné celkové hodnoty se na základě provedených t-testů statisticky významně liší na hladině významnosti $p < 0.01$.



Obrázek 17. Porovnání schopnosti odhadnout objektivní vertikálu pomocí „bucket method“ a metody pro měření haptické vertikály.
 CCW – odchylka je protisměru hodinových ručiček
 CW – odchylka je po směru hodinových ručiček

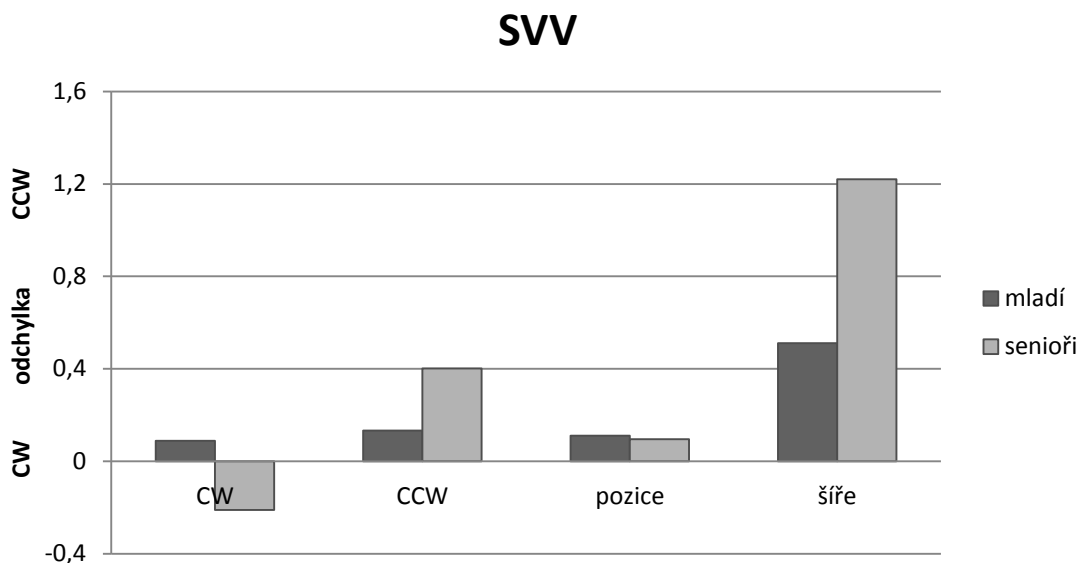
Při porovnání schopnosti určit SHV oproti SVV v rámci jednotlivých skupin (Obrázek 18) bylo ve skupině mladých pouze porovnání šíře na hladině významnosti $p < 0.01$ a to $5 \pm 4.17^\circ$ u SHV oproti $0.5 \pm 0.41^\circ$ u SVV. Ve skupině seniorů se naopak schopnost určit SHV značně lišila proti SVV a na hladině významnosti $p < 0.01$ kromě šíře ($8.8 \pm 6.5^\circ$ vs. $1.2 \pm 1.69^\circ$) byla vyhodnocena i celková pozice ($3.7 \pm 4.15^\circ$ vs. $0.1 \pm 1.91^\circ$) a otáčení po směru hodinových ručiček ($7.1 \pm 6.1^\circ$ vs. $-0.2 \pm 2.23^\circ$).

SHV vs. SVV



Obrázek 18. Vliv věku na určování SHV proti SVV

Při porovnání výsledků SVV jsme mezi mladými a seniory našli statisticky významný rozdíl $p < 0.02$ pouze u šíře, a to $0.5 \pm 0.41^\circ$ u mladých a $1.2 \pm 1.69^\circ$ u seniorů. V parametru pozice byly obě skupiny shodné ($0.1 \pm 0.75^\circ$ resp. $1 \pm 1.91^\circ$) a v ostatních parametrech byla skupina mladých přesnější, avšak bez statistické významnosti, jak dokládá Obrázek 19.

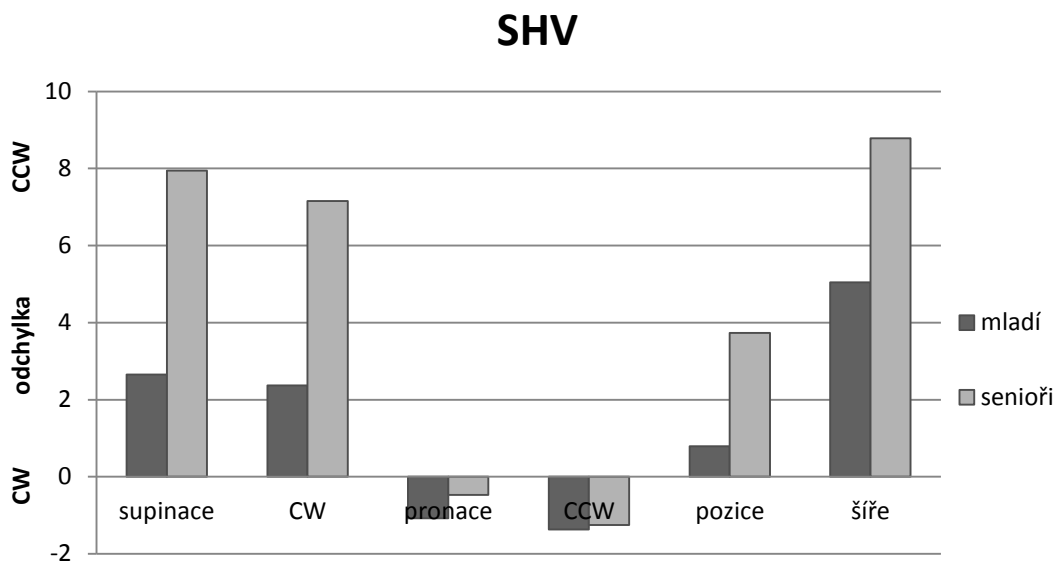


Obrázek 19. Znárodnuje velikost odchylky SVV seniorů proti skupině jedinců do 30 let

Rozsáhlejší bylo porovnávání výsledků naměřených u haptické vertikály (Obrázek 20), kde jsme kromě otáčení po a proti směru hodinových ručiček přidali i hodnocení přesnosti pronace a supinace, přičemž se obě dovednosti liší s významností $p < 0.001$ a jako přesnější pohyb se ukázala pronace $-0.8 \pm 5.3^\circ$ proti $5.5 \pm 5.38^\circ$ u supinace. Porovnáním skupiny mladých a seniorů v jednotlivých parametrech jsme zjistili významnost na hladině $p < 0.01$:

- ◆ při otáčení po směru hodinových ručiček, kde měli mladí průměr $2.4 \pm 5.04^\circ$ a senioři $7.2 \pm 6.1^\circ$.
- ◆ dále byla významná odlišnost u supinace ($2.7 \pm 4.75^\circ$ mladí a $7.9 \pm 4.68^\circ$ senioři)
- ◆ u průměrné pozice ($0.8 \pm 3.67^\circ$ vs. $3.7 \pm 4.15^\circ$)
- ◆ a u šíře (5 ± 4.17 vs. $8.8 \pm 6.5^\circ$)

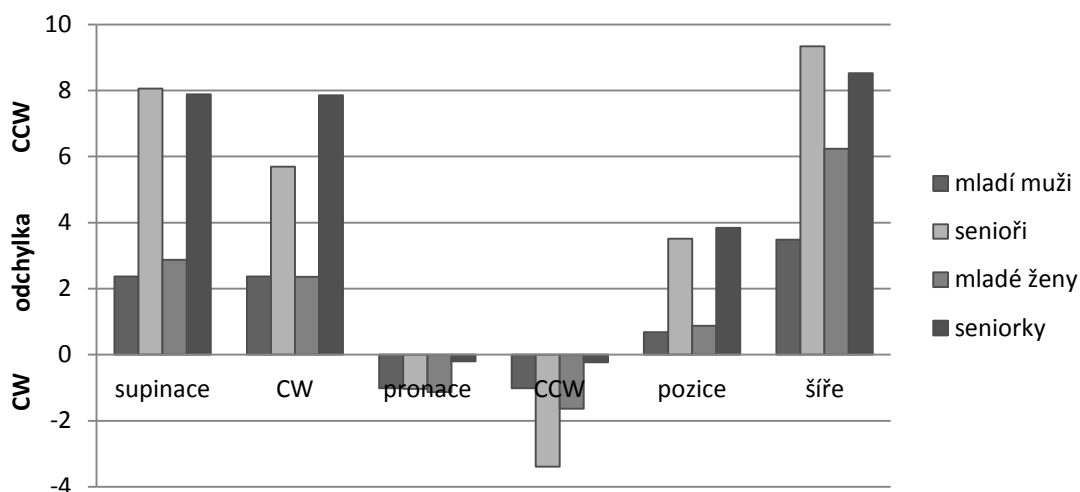
U přesnější pronace a otáčení po směru hodinových ručiček se odlišnost neprokázala. Nakonec jsme provedli srovnání pomocí testové statistiky Z-test, která nám spočítala významně vyšší odchylku průměrné pozice SHV od OV pouze u skupiny seniorů a to při $p < 0.001$.



Obrázek 20. Znázorňuje velikost odchylky SHV seniorů oproti skupině jedinců do 30 let věku.

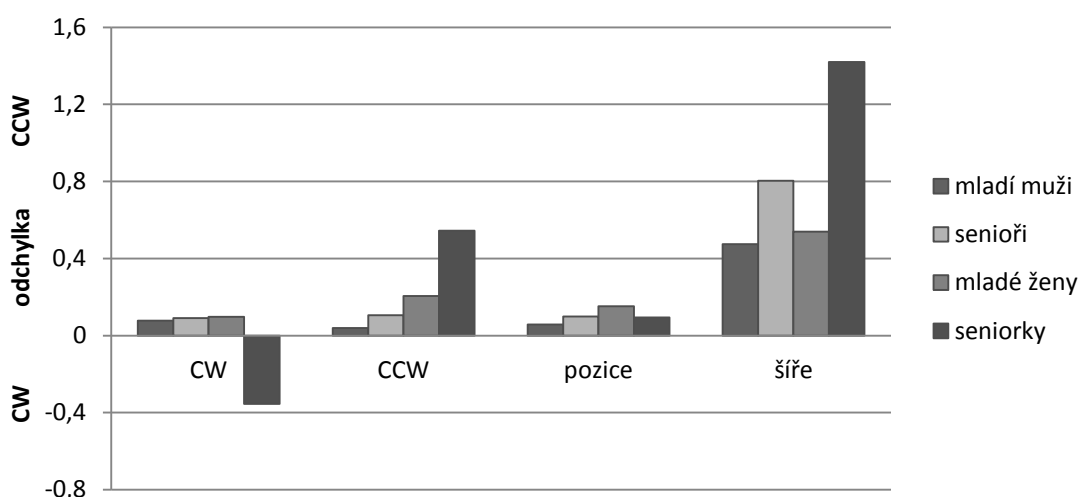
Porovnání rozdílů mezi muži a ženami stejného věku v rámci jednotlivých skupin neukázalo žádný významný rozdíl v SVV ani SHV. Při srovnání SHV kategorie mužů do 30 let a kategorie seniorů (Obrázek 21) se statistická významnost prokázala pouze u šíře $p = 0.035$ ($3.5 \pm 2.95^\circ$ vs. $9.3 \pm 7.69^\circ$) a u supinace $p = 0.012$ ($2.4 \pm 3.43^\circ$ vs. $8.1 \pm 5.88^\circ$), u pozice a otáčení po směru hodinových ručiček byl rozdíl znatelný, avšak ne statisticky významný. Statistické hodnocení pro SVV neprokázalo rozdíl mezi mladými muži a seniory (Obrázek 22). Při hodnocení výsledků SHV ve skupině žen do 30 let oproti seniorkám (Obrázek 21) se statisticky významné ukázaly výsledky pozice na hladině $p = 0.02$ ($0.9 \pm 4.27^\circ$ vs. $3.8 \pm 3.39^\circ$), supinace na hladině $p < 0.01$ ($2.9 \pm 5.66^\circ$ vs. $7.9 \pm 4.14^\circ$) a otáčení po směru hodinových ručiček na hladině $p < 0.01$ ($2.4 \pm 6.14^\circ$ vs. $7.9 \pm 4.18^\circ$). Srovnání hodnot pro SVV nebylo, stejně jako u mužů, statisticky významné (Obrázek 22).

SHV - muži, ženy



Obrázek 21. Porovnání odchylky mužů a žen při určování SHV.

SVV - muži, ženy

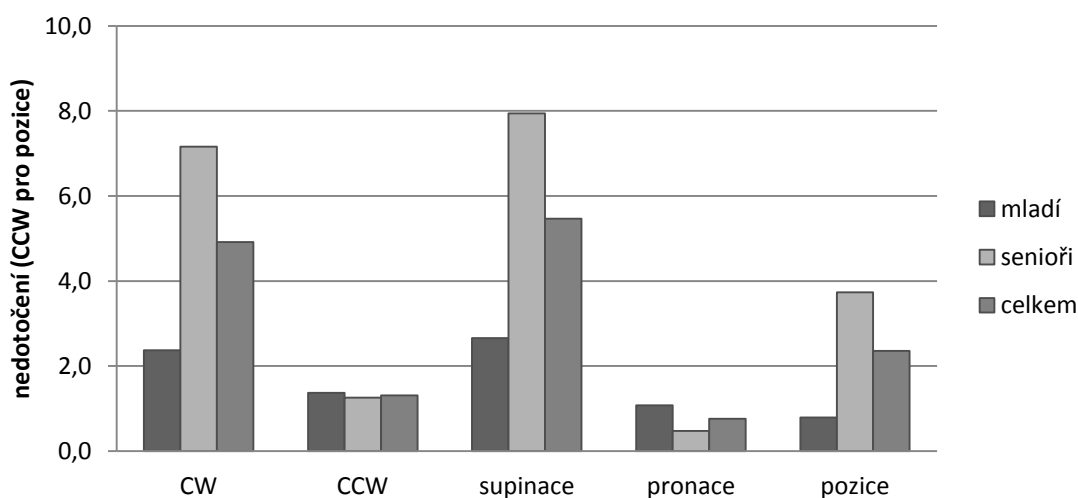


Obrázek 22. Porovnání odchylky mužů a žen při určování SVV.

Nakonec jsme také hodnotili významnost nedotáčení oproti přetáčení a směr výchylky (Obrázek 23). U otáčení po směru hodinových ručiček se prokázal vliv hystereze na hladině významnosti $p < 0.05$, kdy z celkových 64 probandů nedotočilo (měli tedy odchylku proti směru hodinových ručiček) 52, tedy více než 81 %. U supinace se toto číslo ještě zvětšilo na 86 %, tedy 55 probandů nedotočilo při měření k OV a významnost se posunula na hladinu $p < 0.01$. U pronace a otáčení proti směru hodinových ručiček jsme zjistili, že

nedotáčení je častějším jevem, není však statisticky významný. Směr výchyly celkového průměru, tedy pozice, byl proti směru hodinových ručiček opět na hladině významnosti $p < 0.05$ (46 probandů z 64). Otestovali jsme také přesnost jednotlivých pohybů, tedy pronaci proti supinaci, s výsledkem $5.5 \pm 5,38^\circ$ pro supinaci a $-0.8 \pm 5.30^\circ$ pro pronaci. Oba pohyby se tedy v přesnosti liší na hladině významnosti $p < 0.001$.

směr výchyly



Obrázek 23. Ukazuje vliv hystereze tedy nedotáčení při určování SHV a větší celkovou odchylku proti směru hodinových ručiček.

5 Ověření hypotéz

V této kapitole shrneme statistické výsledky získané pomocí Studentova t-testu a χ^2 -testu a porovnáme je se stanovenými hypotézami.

Vysvětlivky ke statistickým tabulkám:

- ◆ Stř. hodnota – porovnávaný průměr
- ◆ rozptyl – směrodatná odchylka na druhou
- ◆ pozorování – n počet probandů
- ◆ t Stat- vypočítaná testová statistika
- ◆ P (T<=t) (2) – dosažená hladina významnosti
- ◆ t krit – kritická hodnota pro p = 0,05

5.1 Porovnání subjektivní zrakové vertikály

- ◆ Znění hypotéz:

H_0 – Hodnoty odchylky SVV starších jedinců budou stejné jako výsledky skupiny mladých osob.

H_{alt} - Hodnoty odchylky SVV starých jedinců se budou lišit od výsledků skupiny mladých osob.

- ◆ Výsledek:

<i>porovnání průměrné</i>		
<i>pozice SVV</i>	<i>mladí</i>	<i>senioři</i>
Stř. hodnota	0.111111	0.095588
Rozptyl	0.568167	3.629264
Pozorování	30	34
t Stat	0.043786	
P(T<=t) (2)	0.965273	
t krit (2)	2.015368	

- ◆ Závěr:

Protože vypočítaná hodnota testové statistiky není vyšší než kritická hodnota, zamítáme alternativní hypotézu a přijímáme H_0 .

5.2 Porovnání subjektivní haptické vertikály

◆ Znění hypotéz:

H_0 - Hodnoty odchylky SHV starších jedinců budou stejné jako výsledky skupiny mladých osob.

H_{alt} - Schopnost určení SHV ve skupině lidí do 30 let se bude lišit od hodnot získaných u skupiny jedinců nad 60 let.

◆ Výsledek:

<i>porovnání průměrné pozice SHV</i>	<i>mladí</i>	<i>senioři</i>
Stř. hodnota	0.788889	3.735294
Rozptyl	13.44719	17.1938
Pozorování	30	34
t Stat	-2.99337	
P(T<=t) (2)	0.003959	
t krit (2)	1.998971	

◆ Závěr:

Protože vypočítaná hodnota testové statistiky je vyšší než kritická hodnota, zamítáme H_0 a přijímáme alternativní hypotézu.

5.3 Vliv hystereze při určování SHV

◆ Znění hypotéz:

H_0 – Při supinaci a otáčení po směru hodinových ručiček bude stejná odchylka jako při otáčení proti směru hodinových ručiček a pronaci.

H_{alt} - Při otáčení po směru hodinových ručiček a supinaci bude častější odchylka ve smyslu nedotočení než při otáčení proti směru hodinových ručiček a pronaci.

♦ Výsledek:

1. Vliv hystereze při otáčení po směru

h. ručiček

	nedotočil	přetočil	celkem
mladi	21	9	30
senioři	31	3	34
celkem	52	12	64
t Stat		4.69	
t krit (2)		3.84	
P(T<=t) (2)		0.030314	

2. Vliv hystereze při supinaci

	nedotočil	přetočil	celkem
mladi	22	8	30
senioři	33	1	34
celkem	55	9	64
t Stat		7.42	
t krit (2)		3.84	
P(T<=t) (2)		0.006438	

3. Vliv hystereze při otáčení proti směru HR

	nedotočil	přetočil	celkem
mladi	19	11	30
senioři	17	17	34
celkem	36	28	64
t Stat		1.15	
t krit (2)		3.84	
P(T<=t) (2)		0.283273	

4. Vliv hystereze při pronaci

	nedotočil	přetočil	celkem
mladi	18	12	30
senioři	15	19	34
celkem	33	31	64
t Stat		1.61	
t krit (2)		3.84	
P(T<=t) (2)		0.20454	

♦ Závěr:

Protože testová statistika překročila kritickou hodnotu pouze u supinace a otáčení po směru hodinových ručiček, zamítáme H_0 a přijímáme alternativní hypotézu.

5.4 Přesnost supinace a pronace

♦ Znění hypotéz:

H_0 – Pronace i supinace budou stejně přesné při odhadování SHV.

H_{alt} – Supinace a pronace se budou lišit v přesnosti určování SHV.

♦ Výsledek:

<i>Srovnání pronace a supinace</i>		
	<i>supinace</i>	<i>pronace</i>
Stř. hodnota	5.463542	-0.75521
Rozptyl	28.9378	28.13842
Pozorování	64	64
t Stat	6.585147	
P(T<=t) (2)	1.11E-09	
t krit (2)	1.978971	

- ◆ Závěr:
Protože hodnota testové statistiky překročila kritickou hodnotu, zamítáme H_0 a přijímáme alternativní hypotézu.

5.5 Porovnání přesnosti při určování SHV a SVV u seniorů

- ◆ Znění hypotéz:
 H_0 – U skupiny osob nad 60 let bude odchylna SHV stejná s odchylnou SVV.
 H_{alt} – U skupiny osob nad 60 let se bude odchylna SHV lišit od odchylny SVV.

- ◆ Výsledek

<i>Srovnání SHV a SVV u skupiny seniorů</i>		
	<i>SHV</i>	<i>SVV</i>
Stř. hodnota	3.735294	0.095588
Rozptyl	17.1938	3.629264
Pozorování	34	34
t Stat	4.67616	
P(T<=t) (2)	4.77E-05	
t krit (2)	2.034515	

- ◆ Závěr:
Protože hodnota testové statistiky překročila kritickou hodnotu, zamítáme H_0 a přijímáme alternativní hypotézu.

5.6 Porovnání přesnosti při určování SHV a SVV u mladých

- ◆ Znění hypotéz:
 H_0 – U skupiny osob mezi 20. a 30. rokem se odchylna SHV nebude lišit od odchylny SVV.
 H_{alt} – U skupiny osob mezi 20. a 30. rokem se bude odchylna SHV lišit od odchylny SVV.

♦ Výsledek:

<i>Srovnání SHV a SVV u skupiny mladých</i>		
	<i>SHV</i>	<i>SVV</i>
Stř. hodnota	0.788889	0.111111
Rozptyl	13.44719	0.568167
Pozorování	30	30
t Stat	1.060882	
P(T<=t) (2)	0.297499	
t krit (2)	2.04523	

♦ Závěr:

Protože vypočítaná hodnota testové statistiky není vyšší než kritická hodnota, zamítáme alternativní hypotézu a přijímáme H_0 .

5.7 Vliv pohlaví na percepci vertikality

♦ Znění hypotéz:

H_0 – Mezi muži a ženami nenaměříme rozdíl v určování SVV ani SHV.

H_{alt} – Mezi muži a ženami naměříme rozdíl v určování SHV a SVV.

♦ Výsledek:

<i>Srovnání mužů a žen v odhadu SHV</i>			<i>Srovnání mužů a žen v odhadu SVV</i>		
	<i>muži</i>	<i>ženy</i>		<i>muži</i>	<i>ženy</i>
Stř. hodnota	1.979167	2.579167	Stř. hodnota	0.076389	0.11875
Rozptyl	19.99774	16.16344	Rozptyl	1.620723	2.536997
Pozorování	24	40	Pozorování	24	40
t Stat	-0.5394		t Stat	-0.11069	
P(T<=t) (2)	0.592271		P(T<=t) (2)	0.912224	
t krit (2)	2.014103		t krit (2)	1.998971	

♦ Závěr:

Protože ani jedna hodnota testové statistiky nepřekročila kritickou hodnotu, zamítáme alternativní hypotézu a přijímáme H_0 .

6 Diskuze

Stárnutí, má vliv na strukturu a funkci celého organismu. Jde o fyziologický proces, při němž dochází stejně jako u zranění či nemoci k poklesu funkčních schopností. Věkem je tedy ovlivněna i schopnost udržovat rovnováhu, jak vyplývá například ze švédské studie - u lidí nad 80 let byla prevalence pádů zjištěna ve 31.7 % a pocitem závratí trpělo přibližně 31 % (Samy, 2013). Schopnost udržení vzpřímeného stoje můžeme měřit pomocí posturografu, tedy znázornění pohybu projekce těžiště. Kromě velikostí výchylek také sledujeme rychlost, s jakou se změna odehrává.

Umění držet stabilitu se vyvíjí od narození a dozrává okolo 14 let, do 50 - 60 let je kontrola rovnováhy na vrcholu a poté zase klesá (Sheldon, 1963; Pyykko in Amblard, 1988). Z výsledů studie Abrahamové a Hlavačky (2008) vyplývá, že od 60 let je schopnost udržení stability stoje zhoršena a nejvíce se projeví v rychlosti anterioposteriorní výchylky průmětu těžiště. U seniorů také hraje daleko větší roli odebrání jednoho nebo i více aferentních vstupů, přičemž největší zhoršení u nich najdeme při stoji na měkkém povrchu se zavřenýma očima.

Schopnost udržení rovnováhy je kromě aferentních vstupů také závislá na možnostech eferentních a výkonných orgánů. Ze studie Woollacottové (1993) vyplývá zpožděné zapojení svalů při reakci na rovnováhu ohrožující podnět. Pro dobrou balanční schopnost je také nezbytná aktivace posturálních svalů před svaly fázickými, které provádějí činnost narušující stabilitu. Zapojením posturálních svalů v předstihu zajistíme stabilitu těla pro budoucí pohyb, u starých lidí je však doba „předaktivace“ zkrácena a tělo není v momentě pohybu správně zajištěno a dochází k většímu vychýlení těžiště než u mladých jedinců.

6.1 Porovnání SVV u mladých a seniorů

Další možností jak zkoumat rovnováhu je vyšetřování aferentních vstupů a jejich integraci v CNS přímo. Tedy pomocí představy o směru působení gravitace, kterou tyto aferentní systémy vnímají. Vestibulární aparát, resp. jeho otolitová část vnímá gravitační zrychlení přímo a na podkladě různých studií můžeme říci, že je nejvíce zapojen při vzpřímeném postavení hlavy během

vyšetřování SVV (Cnyrim et al., 2006). Jelikož dochází ve věku okolo 70 let k úbytku senzoryckých buněk VA zhruba o 40 % (Horak et al., 1989), můžeme očekávat zvětšení odchylky při určování SVV. Výsledky částečně podporující tuto teorii získaly Cohen a Sangi-Haghpeykar (2012), které naměřily u pacientů s unilaterální poruchou vestibulárního aparátu starších 50 let stejné hodnoty při měření ze zdravé i postižené strany. Navíc průměrná pozice se u starších probandů s poruchou oproti kontrolám lišila méně významně než stejné porovnání u mladších. Naproti tomu výsledky studie Kobayashiho et al. (2002), kteří provedli srovnání SVV u lidí různého věku na podobně rozsáhlém souboru jako byl náš výše uvedený, ukázaly stejnou schopnost určit statickou SVV u mladých lidí i seniorů. U dynamické SVV však již senioři nebyli tak přesní a oproti mladším jedincům se významně zhoršili. Z těchto výsledků autoři usuzují na to, že substituční proces (tedy náhrada stárnoucího VA jiným smyslem, v tomto případě zrakem) je funkcí věku, sloužící k tomu, aby byl udržen stabilizující posturální reflex. Výsledky podporující teorii, že se mladí a staří nebudou lišit v odchylce statické SVV získali i Braem et al. (2014), kteří naměřili u obou skupin téměř shodnou odchylku. Avšak průměrný věk skupiny seniorů byl značně nižší, než ten v naší studii.

Z nejednoznačnosti literárních poznatků o kvalitě určování SVV u seniorů a při současných znalostech obecného fyziologického zhoršování/snižování funkční kapacity této věkové skupiny, jsme vyslovili hypotézu o pravděpodobném rozdílu ve výsledcích určování SVV u skupiny starších oproti mladším. Porovnáním dat obou věkových kategorií jsme sice objektivně našli rozdíl v naměřené odchylce, nebyla však natolik velká, abychom vypočítali statisticky významný rozdíl. Zajímavý byl však signifikantní rozdíl v šíři ($0.5 \pm 0.41^\circ$ vs. $1.2 \pm 1.69^\circ$ při $p 0.023$), tedy hodnotě udávající do jisté míry nejistotu v určování vertikality. To znamená, že ačkoliv byli senioři po zprůměrování všech hodnot v rámci normality a nelišili se od mladších, jejich pokusy měly daleko větší nepřesnost ve stálosti odhadování OV. Z toho můžeme u seniorů usuzovat na rozsáhlejší pokles výkonnosti systému určování směru zemské gravitace a tím problematičtější pohyb v prostoru při náročnějších podmínkách, například při chůzi ze schodů, nebo při vyhýbání se překážkám či lidem.

6.2 Porovnání SVV a SHV v rámci skupin

Dalším důležitým parametrem k porovnání byla celková odchylka SVV oproti pozici SHV. Jak jsme napsali výše, SVV dokumentuje hlavně funkci VA, takže při ztrátě fyziologické aference dochází k velkým odchylkám během měření. Tyto odchylky jsou však hlavně během akutní fáze poruchy, protože tento systém má značnou kompenzační schopnost. Při ztrátě funkce jednoho z labyrintů dochází k situaci, kdy signály z jednoho VA převažují nad druhým, což CNS klasicky interpretuje jako pohyb ke zdravé straně. Důsledkem je tedy vyrovnání tohoto pohybu a člověk padá k poškozenému uchu. Aference ze somatosenzorického a zrakového systému však takové podněty nezaznamená a na základě diskrepance mezi těmito vjemy CNS moduluje informace přicházející ze zdravého VA. Poté opět nastává stav rovnováhy. Například po operaci Schwannomu na VIII. hlavovém nervu, kdy je pooperačně velká výchylka SVV, dochází k částečné úpravě již během prvních dvou týdnů a k úplné úpravě pak do dvou měsíců (Kmeť, 2012). Haptická vertikála, jak navrhuje Tarnutzer et al. (2012), má větší vazbu naopak na somatosenzorický systém, a proto i lepší vazbu na balanční schopnost těla. Jinými slovy při poruše VA, kterému se také říká rovnovážné ústrojí, nalezneme samozřejmě i poruchu rovnováhy. Na tomto terénu se však uplatní somatosenzorický systém, který nerovnováhu upraví, tedy „vybalancuje“ použitím některé balanční strategie. Dokládá to i práce Bronsteina et al. (2003) u pacienta s BPPV, který měl odklon SVV mimo normu, tedy více jak 2° , ale SHV byla naměřena v rámci normy. Stejně tomu bylo u pacienta po iktu v oblasti kmene, který měl měsíc od příhody poruchu rovnováhy i balančních schopností. Po šesti měsících se zlepšila balance, tedy vyrovnání nestability, a i když SVV byla stále mimo normu, SHV již určil správně.

Při stanovování hypotéz jsme proto porovnávali složky balanční a rovnovážné. Předpokládali jsme, že u mladých jedinců mezi 20 a 30 lety nenajdeme poruchu ani v jedné složce. Naopak u skupiny seniorů jsme stanovili hypotézu, že určitou disharmonii objevíme. Vyhodnocení naměřených výsledků potvrdilo hypotézu u skupiny mladších, u níž jsme nenašli signifikantní rozdíl v průměrné pozici mezi SHV a SVV. Byl zde pouze rozdíl v šíři, který je logický, protože i míra normality je více jak 2x větší, tedy $\pm 4.5^\circ$ SHV (při měření 1 HK)

oproti $\pm 2^\circ$ SVV. Data naměřená u seniorů starších 60 let nám naproti tomu rozdíl v průměrné pozici SVV oproti SHV prokázala, čímž se nám potvrdila i další hypotéza. Výsledky ukázaly horší schopnosti při určování SHV $3.7 \pm 4.15^\circ$ oproti $0.1 \pm 1.91^\circ$ u SVV na hladině významnosti p méně jak 0.001. Obě hodnoty jsou sice v rozmezí pro zdravou populaci, ale signifikantní rozdíl mezi nimi naznačuje určitý nepoměr v přizpůsobení se novým podmínkám během stárnutí.

Takže zatímco u mladých jsou oba systémy vyvážené, u seniorů dochází ke kompenzaci poklesu funkční kapacity hlavně pomocí vizuální informace a somatosenzorický systém je upozaděn. Ke stejným závěrům došel ve své práci i Kobayashi et al. (2002), který na základě zhoršení SVV pouze u dynamické SVV navrhl větší závislost starých lidí na zraku. Z našich výsledků můžeme očekávat, že u seniorů v posturálně složitě situaci, například na kluzkém, nebo nerovném povrchu nebo při zakopnutí, dojde vlivem zhoršených balančních schopností snáz k pádu.

6.3 Porovnání SHV u mladých a seniorů

Další naše hypotéza se týká SHV, tedy zjištění zdali se liší hodnoty průměrné pozice u lidí mezi 20 a 30 lety a u osob nad 60 let. Předpoklad je založen i na základě studie Braema et al. (2014), jejichž výsledky jasně prokázaly odlišnost obou skupin. Při statistické analýze naměřených hodnot jsme získali signifikantní rozdíl ($p < 0.01$) pozice mezi skupinami a to $0.8 \pm 3.67^\circ$ u mladých oproti $3.7 \pm 4.15^\circ$ u seniorů. Výsledky tedy jasně ukazují horší schopnost určení haptické vertikály u lidí starších 60 let oproti mladým. Což nám potvrdil i výsledek Z-testu, který ukázal významně vyšší odchylku od OV pouze u skupiny seniorů.

Jak jsme již uvedli předtím, SHV je dobrým diagnostickým parametrem pro posouzení funkce somatosenzorického aparátu. Dokládá to i studie Fourre et al. (2009), ve které umísťovali závaží laterálně od osy těla. V prvním experimentu bylo závaží na ramenou a podruhé na hlavě. V prvním případě tedy došlo k vychýlení COM celého těla, a protože to zůstalo vertikálně, na změnu těžiště musely zareagovat svaly, které tělo aktivně držely na místě. Prostřednictvím somatosenzorického aparátu je do CNS vedena mohutná aference o vychýlení těžiště a tedy změně polohy těla. V druhém případě, kdy

je vychýleno pouze těžiště hlavy je aference jen z oblasti krčních segmentů, které vychýlení upraví. Bez zrakové kontroly dojde v prvním případě pod propiocepční aferencí k vychýlení SHV na opačnou stranu, než je vychýleno těžiště, ve snaze vyrovnat domnělou změnu polohy těla. Ve druhém případě k tomuto posunu nedojde, protože na základě propiocepční informace k vychýlení polohy těla nedošlo. Tento pokus potvrzuje nejen důležitost somatosenzorického systému, ale také určitou nezávislost SHV na rovnovážném ústrojí, protože v obou případech byla informace z VA stejná, a sice že se hlava nachází ve vertikále.

Na základě těchto i předchozích informací můžeme předpokládat, že u starších lidí je somatosenzorický systém nejvíce ohrožen ztrátou fyziologické funkce při udržování rovnováhy. Senioři tím pádem nedokážou reagovat dostatečně rychle na změny těžiště těla a tím předcházet pádům.

6.4 Pohlavní rozdíly při porovnání SHV a SVV

Při porovnávání hodnot nás samozřejmě zajímalo i porovnání mezi muži a ženami. Tarnutzer et al. (2012) při porovnání SHV našli větší šíři u žen jak u mužů. Jiné porovnání ukázaly ve své práci Cohen a Sangi-Haghpeykar (2012), které porovnávaly SVV u kontrolní skupiny a u skupiny s periferní unilaterální poruchou VA. Výsledky ukázaly, že muži z kontrolní skupiny se v celkové pozici významně neliší od těch s periferní poruchou, naopak porovnání žen ukázalo významný rozdíl na hladině $p < 0.001$ mezi oběma skupinami.

Protože není moc důkazů podporujících intersexuální variabilitu, stanovili jsme předpoklad, že se hodnoty stejně starých mužů a žen nebudou lišit. Zpracování dat ukázalo, že ženy a muži stejné věkové kategorie se v přesnosti určování subjektivní zrakové ani haptické vertikály skutečně neliší.

Dále jsme porovnávali výsledky mladých mužů se seniory a výsledky mladých žen se seniorkami. Předpokládali jsme, že jak v kategorii mužů, tak v kategorii žen najdeme významný rozdíl v hodnotách alespoň u SHV. Vyhodnocení dat SHV však ukázalo u mužů signifikantní rozdíl pouze v šíři a u žen naopak v průměrné pozici. Jako shrnutí by se tedy nabízelo tvrzení, že zatímco ženy stárnutím ztrácejí přesnost, tak muži ztrácejí jistotu somatosenzorického systému. Bližší prozkoumání dat však ukazuje, že rozdíl

v pozici je u obou srovnání podobný a sice 2.8° u mužů a 3° u žen, a že rozdíl v šíři je dán hlavně nejistotou určování u mladých žen, které mají šíři $6.2 \pm 4.64^\circ$ oproti stejně starým mužům $3.5 \pm 2.95^\circ$ při hladině významnosti $p = 0.07$. To znamená, že stárnutím se u obou pohlaví zhoršuje přesnost v odhadu SHV podobně, ale míra jistoty při odhadování se stárnutím srovnává. A zatímco muži jsou v mladším věku jistější než ženy, tak ve věku nad 60 let se tento rozdíl stírá a naopak větší míra jistoty připadá na stranu žen.

Při porovnání hodnot SVV jsme signifikantní rozdíl nenašli u žádného z parametrů, pouze šíře u žen se ukázala jako lehce významně odlišná při $p = 0.053$.

6.5 Porovnání přesnosti pronace a supinace

Schuler et al. (2010) měřili přesnost SHV pouze u praváků a zjistili, že při otáčení po směru hodinových ručiček (u praváků supinace) je větší průměrná odchylka, než při otáčení proti směru hodinových ručiček (pronace). Tarnutzer et al. (2012) měřili SHV u praváků i leváků a zjistili, že u obou skupin je největší odchylka při provádění úkonu pravou rukou a při supinaci. Naše hypotéza je tedy ve smyslu odlišnosti odchylky získané supinací a pronací.

Při porovnání průměrů jsme u supinace získali hodnotu $5.5 \pm 5.38^\circ$ a u pronace $-0.8 \pm 5.30^\circ$, z čehož jasně vyplývá, že se oba pohyby ve své přesnosti liší, hladina významnosti je v tomto případě nižší jak 0.001. Není však jasné, zdali je supinace významně nepřesnější jak pronace. K získání této informace musíme hodnoty pronace, nebo supinace převrátit, a tím získáme průměrnou odchylku se stejným znaménkem (tedy 5.5° a 0.8°). Po provedení testu s takto upravenými hodnotami jsme si ověřili, že supinace je významně méně přesná jak pronace při $p < 0.001$. Když jsme však porovnali skupiny odděleně, zjistili jsme, že u jedinců do 30 let je sice odchylka při supinaci větší, není ale významná ($2.7 \pm 4.75^\circ$ vs. $1.1 \pm 4.36^\circ$). Naopak u seniorů se rozdíl mezi oběma pohyby značně zvýšil, supinace měla průměrnou odchylku $7.9 \pm 4.68^\circ$, zatímco pronace $0.5 \pm 6.07^\circ$.

Důvodem této nesouměrnosti by mohl být počet svalů zapojených při provádění pohybů. Zatímco pronaci předloktí přímo provádí m. pronator teres a m. pronator quadratus spolu s m. extenzor carpi radialis, m. palmaris longus a m. brachioradialis, tak supinaci provádí pouze m. supinator spolu

s m. biceps brachii a m. brachioradialis. Navíc při pronaci dochází ke spiralizaci membrana interossea. Dále je pronace spojena s vnitřní rotací v ramenním kloubu, kterou opět provádí více svalů, než zevní rotaci, která je spojena se supinací. Na základě nerovnoměrného počtu svalů a struktur, které se při jednotlivých pohybech uplatňují, se můžeme domnívat, že i salva propriocepční informace bude u pronace větší, a proto je tento pohyb přesnější. Nesmíme také zapomenout na vývojové hledisko, podle kterého je supinace a zevní rotace ramenního kloubu jasně mladší a tím méně vyzrálý pohyb, než pronace a vnitřní rotace (Dylevský, 2009). Velké zhoršení u seniorů by tedy mohlo opět ukazovat na zhoršení v somatosenzorické oblasti pohybového aparátu. Tedy návrat z posturálně náročnější supinace, která je určena především jako nástroj pro manipulaci s předměty, do pronace, která je určena spíše pro opření a nastavení atitudy.

6.6 Vliv hystereze na SHV

Velká většina prací zabývajících se SHV v diskuzi i závěru zmiňuje vliv hystereze na výslednou odchylku, takže při otáčení po směru hodinových ručiček je častěji odchylka v protisměru a vice versa. Tarnutzer et al. (2012) v souboru probandů naměřili hysterezi způsobenou odchylku pouze při otáčení po směru hodinových ručiček a to pouze u měření pravou rukou. Naopak při PSA zjistili větší nedotáčivost při měření levou rukou. Stejně tak Schuler et al. (2010) se v závěru studie přiklání k názoru, že ze všech faktorů má největší vliv na odhad SHV výchozí poloha a směr otáčení, tedy hystereze. Větší míra nedotáčivosti přitom byla naměřena při otáčení po směru hodinových ručiček.

Ke stejným výsledkům jsme dospěli i ve vlastní studii, kde jsme zaznamenali četnost nedotočení jasně vyšší u otáčení po směru hodinových ručiček. Důležitější než směr pohybu je však prováděný pohyb samotný, protože jak jsme uvedli předtím, supinace je mnohem méně přesná jak pronace. Proto jsme vliv hystereze zkoumali i u jednotlivých pohybů a zjistili jsme, že četnost nedotočení se u supinace ještě zvýšila oproti směru otáčení. Naopak u pronace je nedotočení stejně časté jako přetočení, a sice na úrovni 52 vs. 48 %.

Za zmínku také stojí celkový posun pozice u seniorů v protisměru hodinových ručiček, tedy doleva o skoro 3° . Zvětšení odchylky právě v tomto směru může být zapříčiněno sníženou schopností pravé hemisféry věnovat pozornost uspořádání tělesných segmentů v prostoru (Braem et al., 2014).

7 Závěr

Poruchy stability stoje a pády jsou u seniorů častým jevem a vnímání vertikality je důležitým diagnostickým kritériem při vyšetření balančních schopností. Navíc vzhledem k často přítomné poruše metabolismu kostí a z toho plynoucí osteopenii popřípadě osteoporóze jsou pády mnohdy komplikovány špatně se hojícími zlomeninami.

Cílem práce bylo porovnat naměřené hodnoty ze subjektivní haptické a zrakové vertikály u mladých jedinců a seniorů a na základě výsledků určit, která část systému udržujícího rovnováhu je věkem nejvíce zasažena. Tento systém je tvořen multisenzorickou aferentací z vestibulárního a somatosenzorického systému a zraku. Zhoršování zraku vlivem degenerativních změn během stárnutí je dobře známý proces, který se projeví např. presbyopií. V naší práci jsme se proto věnovali zejména somatosenzorickému a vestibulárnímu systému. Ze získaných výsledků jsme mohli potvrdit některé z našich stanovených hypotéz a určit, kterého systému se pokles funkční kapacity nejvíce týká.

Vzhledem k tomu, že jsme nenašli rozdíl mezi mladými a seniory u SVV (0.1 ± 0.75 resp. $1 \pm 1.91^\circ$), můžeme předpokládat, že pokles sensorických buněk ve VA je dobře kompenzován. Tato kompenzace může být na základě přebytku samotných buněk, ale spíše jak naznačili Kobayashi et al. (2002) je dán větší závislostí na zraku. Senioři jsou tedy při určování SVV více závislí na zraku a v případě, že je zrak zaměstnán něčím jiným, jsou senioři více náchylní k pádům. Dále bylo nezbytné porovnat SVV a SHV resp. funkci VA a somatosenzorického systému mezi sebou. U mladých se ani jedna z modalit významně nelišila od OV, zatímco u seniorů byla u haptické vertikály zjištěna významná odchylka od směru gravitace. Výsledek potvrdilo i porovnání samotné subjektivní haptické vertikály, ve které byli mladí významně přesnější než senioři ($3.7 \pm 4.15^\circ$ vs. $0.8 \pm 3.67^\circ$). Na základě získaných dat tedy můžeme předpokládat, že dochází ke snížení funkční kapacity především v somatosenzorickém systému, což u seniorů vede k poruchám posturální stability. Zajímavé byly výsledky srovnání supinace a pronace u seniorů ($7.9 \pm 4.68^\circ$ vs. $0.5 \pm 6.07^\circ$), které ukazují, že vývojově mladší supinace je nahrazována starší pro oporu používanou pronací.

REFERENČNÍ SEZNAM

- ABRAHAMOVÁ, D a F HLAVAČKA. Age-related changes of human balance during quiet stance. *Physiological Research*. 2008, č. 57, s. 957-964. Dostupné z: http://www.biomed.cas.cz/physiolres/pdf/57/57_957.pdf
- ANASTASOPOULOS, HASLWANTER, BRONSTEIN, Michael FETTER a DICHGANS. Dissociation between the perception of body verticality and the visual vertical in acute peripheral vestibular disorder in humans. *Neuroscience Letters*. 1997, č. 233.
- BALOH, Robert W., Sarah H. YING a Kathleen M. JACOBSON. A longitudinal study of gait and balance dysfunction in normal older people. *Archives of Neurology*. 2003, roč. 60, č. 6, s. 835-839. DOI: 10.1001/archneur.60.6.835. Dostupné z: <http://archneur.jamanetwork.com/article.aspx?articleid=784285>
- BARBIERI, Guillaume, Anne-Sophie GISSOT, Florent FOUQUE, Jean-Marie CASILLAS, Thierry POZZO a Dominic PÉRENNOU. Does proprioception contribute to the sense of verticality?. *Experimental Brain Research*. 2008, vol. 185, issue 4, s. 545-552. DOI: 10.1007/s00221-007-1177-8. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00221-007-1177-8>
- BARRA, J., A. MARQUER, R. JOASSIN, C. REYMOND, L. METGE, V. CHAUVINEAU a D. PERENNOU. Humans use internal models to construct and update a sense of verticality. *Brain*. 2010-12-01, vol. 133, issue 12, s. 3552-3563. DOI: 10.1093/brain/awq311. Dostupné z: <http://www.brain.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/brain/awq311>
- BARRA, J., C. BENAÏM, V. CHAUVINEAU, T. OHLMANN, M. GREŠTY a D. PERENNOU. Are Rotations in Perceived Visual Vertical and Body Axis After Stroke Caused by the Same Mechanism?. *Stroke*. 2008-10-27, vol. 39, issue 11, s. 3099-3101. DOI: 10.1161/STROKEAHA.108.515247. Dostupné z: <http://stroke.ahajournals.org/cgi/doi/10.1161/STROKEAHA.108.515247>
- BAUERMEISTER, Martin, Heinz WERNER a Seymour WAPNER. The Effect of Body Tilt on Tactual-Kinesthetic Perception of Verticality. *The American Journal of Psychology*. 1964, roč. 77, č. 3, s. 451-456. Dostupné z: <http://www.jstor.org/discover/10.2307/1421016?uid=3737856&uid=2129&uid=2&uid=70&uid=4&sid=21103880226573>
- BLAHOŠ, Jaroslav, Vladimír PALIČKA a Svatopluk BÝMA. *Osteoporóza: doporučený diagnostický a léčebný postup pro všeobecné praktické lékaře*. Praha: Společnost všeobecného lékařství ČLS JEP, 2006. Doporučené postupy pro praktické lékaře. ISBN 80-86998-01-0.

- BOHMER, ANDREAS a FRED MAST. Assessing Otolith Function by the Subjective Visual Vertical. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 1999, vol. 871, 1 OTOLITH FUNCT, s. 221-231. DOI: 10.1111/j.1749-6632.1999.tb09187.x. Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1749-6632.1999.tb09187.x>
- BORTOLAMI, Simone B., Alberto PIEROBON, Paul DIZIO a James R. LACKNER. Localization of the subjective vertical during roll, pitch, and recumbent yaw body tilt. *Experimental Brain Research*. 2006, vol. 173, issue 3, s. 364-373. DOI: 10.1007/s00221-006-0385-y. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00221-006-0385-y>
- BRONSTEIN, A. M., D. A. PERENNOU, M. GUERRAZ, D. PLAYFORD a P. RUDGE. Dissociation of visual and haptic vertical in two patients with vestibular nuclear lesions. *Neurology*. 2003-11-11, vol. 61, issue 9, s. 1260-1262. DOI: 10.1212/01.WNL.0000086815.22816.DC. Dostupné z: <http://www.neurology.org/cgi/doi/10.1212/01.WNL.0000086815.22816.DC>
- BRAEM, B., J. HONORÉ, M. ROUSSEAUX, A. SAJ a Y. COELLO. Integration of visual and haptic informations in the perception of the vertical in young and old healthy adults and right brain-damaged patients. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. 2014, vol. 44, issue 1, s. 41-48. DOI: 10.1016/j.neucli.2013.10.137. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0987705313003341>
- CNYRIM, C. D., N. RETTINGER, U. MANSMANN, T. BRANDT a M. STRUPP. Central compensation of deviated subjective visual vertical in Wallenberg's syndrome. *Journal of Neurology, Neurosurgery*. 2006-10-20, vol. 78, issue 5, s. 527-528. DOI: 10.1136/jnnp.2006.100727. Dostupné z: <http://jnnp.bmj.com/cgi/doi/10.1136/jnnp.2006.100727>
- ČERNÝ, E. Polohová orientace v prostoru jak se jeví v pokusech na modifikovaném Graheho stole. Doktorská disertační práce, Praha, leden 1988, s. 187.
- DU PASQUIER, R.A., Y. BLANC, M. SINNREICH, T. LANDIS, P. BURKHARD a F.J.G. VINGERHOETS. The effect of aging on postural stability: a cross sectional and longitudinal study. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*. 2003, vol. 33, issue 5, s. 213-218. DOI: 10.1016/j.neucli.2003.09.001. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0987705303000704>
- DYLEVSKÝ, Ivan. *Kineziologie: základy strukturální kineziologie*. Vyd. 1. Praha: Triton, 2009, 235 s. ISBN 978-807-3873-240.

- FARALLI, M., F. LONGARI, G. RICCI, M.C. IBBA a A. FRENGUELLI. Influence of extero- and proprioceptive afferents of the plantar surface in determining subjective visual vertical in patients with unilateral vestibular dysfunction. *Acta otorhinolaryngologica Italica*. 2009, roč. 29, č. 5, 245-250. ISSN 1827-675X. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2821126/>
- FARALLI, Mario, Leonardo MANZARI, Roberto PANICHI, Fabio BOTTI, Giampietro RICCI, Fabrizio LONGARI a Vito Enrico PETTOROSI. Subjective visual vertical before and after treatment of a BPPV episode. *Auris Nasus Larynx*. 2011, vol. 38, issue 3, s. 307-311. DOI: 10.1016/j.anl.2010.10.005. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0385814610002245>
- FISCHER, M. H. Die Regulationsfunktionen des menschlichen Labyrinthes und die Zusammenhänge mit verwandten Funktionen. *Ergebnisse der Physiologie*. 1928, vol. 27, issue 1, s. 209-379. DOI: 10.1007/BF02322292. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/BF02322292>
- FOURRE, Benoît, Brice ISABLEU, Delphine BERNARDIN, Marc GUEGUEN, Guillaume GIRAUDET, Nicolas VUILLERME, Christopher PAGANO a Michel-Ange AMORIM. The role of body centre of mass on haptic subjective vertical. *Neuroscience Letters*. 2009, vol. 465, issue 3, s. 230-234. DOI: 10.1016/j.neulet.2009.07.005. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304394009009124>
- FUNK, Johanna, Kathrin FINKE, Hermann J. MÜLLER, Kathrin S. UTZ a Georg KERKHOFF. Effects of lateral head inclination on multimodal spatial orientation judgments in neglect: Evidence for impaired spatial orientation constancy. *Neuropsychologia*. 2010, vol. 48, issue 6, s. 1616-1627. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.01.029. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0028393210000461>
- GRÁCIO, Bruno J. Correira a Jelte E. BOS. Measuring dynamics of the subjective vertical and tilt using a joystick. *Journal of Vestibular Research*. 2012, č. 22, s. 181-189. DOI: 10.3233/VES-2012-0454. Dostupné z: <http://iospress.metapress.com/content/c7173v202x722385/?genre=article&issn=0957-4271&volume=22&issue=4&spage=181>
- MICHEL GUERRAZ, MARION LUYAT, DIDIE. The Role of Neck Afferents in Subjective Orientation in the Visual and Tactile Sensory Modalities. *Acta Oto-laryngologica*. 2000, vol. 120, issue 6, s. 735-738. DOI: 10.1080/000164800750000261. Dostupné z: <http://informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/000164800750000261>

- HAMILL, O. P. A new stretch for muscle spindle research. *The Journal of Physiology*. 2010-02-19, vol. 588, issue 4, s. 551-552. DOI: 10.1113/jphysiol.2010.186924. Dostupné z: <http://www.jphysiol.org/cgi/doi/10.1113/jphysiol.2010.186924>
- HORAK, F, C SHUPERT a A MIRKA. Components of postural dyscontrol in the elderly: A review. *Neurobiology of Aging*. 1989, vol. 10, issue 6, s. 727-738. DOI: 10.1016/0197-4580(89)90010-9. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0197458089900109>
- HOZA, Petr, Tomáš HÁLA a Jaroslav PILNÝ. Zlomeniny proximálního humeru a jejich řešení. *Medicína pro praxi: časopis praktických lékařů*. ISSN 1214-8687.2008, roč. 5, č. 10. Dostupné z: <http://www.medicinapropraxi.cz/pdfs/med/2008/10/12.pdf>
- HYBÁŠEK Ivan, doc. MUDr. VOKURKA Jan, CSc. a kol.: eOtorinolaryngologie. *Multimediální podpora výuky klinických a zdravotnických oborů :: Portál Lékařské fakulty v Hradci Králové* [online] 6.4.2010, poslední aktualizace 11.1.2014 [cit. 2012-04-01] Dostupný z WWW: <<http://mefanet.lfhk.cuni.cz/clanky.php?aid=18>>. ISSN 1803-280X.
- KMEŤ, Jan. *Kompenzace subjektivní vizuální vertikály po operaci vestibulárního schwannomu*. Praha, 2012. 63 s. Bakalářská práce. Univerzita Karlova v Praze, 2. lékařská fakulta. Vedoucí práce Mgr. Ondřej Čákr.
- KOBAYASHI, Hironari, Yujiro HAYASHI, Kazutaka HIGASHINO, Akira SAITO, Takanobu KUNIHIO, Jin KANZAKI a Fumiyuki GOTO. Dynamic and static subjective visual vertical with aging. *Auris, Nasus, Larynx*. 2002, roč. 29, č. 4, s. 325-328. ISSN 0385-8146. Dostupné z: <http://www.aurisnasuslarynx.com/article/S0385-8146%2802%2900058-5/abstract>
- KOLÁŘ, Pavel. *Rehabilitace v klinické praxi*. 1. vyd. Praha: Galén, 2009, xxxi, 713 s. ISBN 978-807-2626-571.
- LEE, Steve C. Vestibular system anatomy. 2013. Dostupné z: <http://emedicine.medscape.com/article/883956-overview#showall>
- LORINCZ, E. N. a B. J. M. HESS. Dynamic Effects on the Subjective Visual Vertical After Roll Rotation. *Journal of Neurophysiology*. 2008-06-04, vol. 100, issue 2, s. 657-669. DOI: 10.1152/jn.01248.2007. Dostupné z: <http://jn.physiology.org/cgi/doi/10.1152/jn.01248.2007>
- MANCHESTER, D., M. WOOLLACOTT, N. ZEDERBAUER-HYLTON a O. MARIN. Visual, Vestibular and Somatosensory Contributions to Balance Control in the Older Adult. *Journal of Gerontology*. 1989-07-01, vol. 44,

- issue 4, M118-M127. DOI: 10.1093/geronj/44.4.M118. Dostupné z: <http://geronj.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/geronj/44.4.M118>
- Neuroscience Resource Page: Medical neuroscience. *Global anatomy* [online]. 2006 [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.neuroanatomy.wisc.edu/virtualbrain/BrainStem/13VNAN.html>
- PERENNOU, D. A., G. MAZIBRADA, V. CHAUVINEAU, R. GREENWOOD, J. ROTHWELL, M. A. GRETTY a A. M. BRONSTEIN. Lateropulsion, pushing and verticality perception in hemisphere stroke: a causal relationship?. *Brain*. 2008-08-21, vol. 131, issue 9, s. 2401-2413. DOI: 10.1093/brain/awn170. Dostupné z: <http://www.brain.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/brain/awn170>
- POLLOCK, A.S., B.R. DURWARD, P.J. ROWE a J.P. PAUL. What is balance?. *Clinical Rehabilitation*. 2000-08-01, vol. 14, issue 4, s. 402-406. DOI: 10.1191/0269215500cr342oa. Dostupné z: <http://cre.sagepub.com/cgi/doi/10.1191/0269215500cr342oa>
- PYYKKÖ I, AALTO H, HYTÖNEN M, STARCK J, JÄNTTI P, RAMSAY H: Effect of age on postural control. s. 95-104 in AMBLARD, Bernard, A BERTHOZ a François CLARAC. *Posture and gait: development, adaptation, and modulation: proceedings of the 9th International Symposium on Postural and Gait Research, Marseille, France, 29 May-1 June, 1988*. New York, NY: Sole distributors for the USA and Canada, Elsevier Science Pub. Co., 1988, xvi, 456 p. ISBN 04-448-1030-7.
- SAMY, Hesham M a Mohamed A HAMID. *Dizziness, Vertigo, and Imbalance* [online]. 1. vyd. Medscape, 2013, 25.2.2013 [cit. 2014-04-29]. Dostupné z: <http://emedicine.medscape.com/article/2149881-overview#showall>
- SCHULER, Jeanine R, Christopher J BOCKISCH, Dominik STRAUMANN a Alexander A TARNUTZER. Precision and accuracy of the subjective haptic vertical in the roll plane. *BMC Neuroscience*. 2010, vol. 11, issue 1, s. 83-. DOI: 10.1186/1471-2202-11-83. Dostupné z: <http://www.biomedcentral.com/1471-2202/11/83>
- SHELDON, J.H. The Effect of Age on the Control of Sway. *Gerontologia Clinica*. 1963, vol. 5, issue 3, s. 129-138. DOI: 10.1159/000244784. Dostupné z: <http://www.karger.com/doi/10.1159/000244784>
- STRUPP, M., V. ARBUSOW, K. P. MAAG, C. GALL a T. BRANDT. Vestibular exercises improve central vestibulospinal compensation after vestibular neuritis. *Neurology*. 1998-09-01, vol. 51, issue 3, s. 838-844. DOI: 10.1212/WNL.51.3.838. Dostupné z: <http://www.neurology.org/cgi/doi/10.1212/WNL.51.3.838>

- TARNUTZER, Jeanine R SCHULER, Christopher J BOCKISCH a Dominik STRAUMANN. Hysteresis of haptic vertical and straight ahead in healthy human subjects. *BMC Neuroscience*. 2012, vol. 13, issue 1, s. 114-. DOI: 10.1186/1471-2202-13-114. Dostupné z: <http://www.biomedcentral.com/1471-2202/13/114>
- TASCIOGLU, A. Beliz. Brief review of vestibular system anatomy and its higher order projection. *Neuroanatomy*. 2005, č. 4, s. 24-27. Dostupné z: http://www.neuroanatomy.org/2005/024_027.pdf
- TROJAN, Stanislav. Lékařská fyziologie. 4. vyd. přepr. a dopl. Praha: Grada Publishing, 2003, 771 s. ISBN 80-247-0512-5
- VAITL, Dieter, Horst MITTELSTAEDT, Ralf SABOROWSKI, Rudolf STARK a Friedhelm BAISCH. Shifts in blood volume alter the perception of posture: further evidence for somatic graviception. *International Journal of Psychophysiology*. 2002, vol. 44, issue 1, s. 1-11. DOI: 10.1016/S0167-8760(01)00184-2. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167876001001842>
- WOOLLACOTT, M. H. 8 Age-Related Changes in Posture and Movement. *Journal of Gerontology*. 1993-09-01, vol. 48, Special, s. 56-60. DOI: 10.1093/geronj/48.Special_Issue.56. Dostupné z: http://geronj.oxfordjournals.org/cgi/doi/10.1093/geronj/48.Special_Issue.56
- ZWERGAL, A., N. RETTINGER, C. FRENZEL, M. DIETERICH, T. BRANDT a M. STRUPP. A bucket of static vestibular function. *Neurology*. 2009-05-11, vol. 72, issue 19, s. 1689-1692. DOI: 10.1212/WNL.0b013e3181a55ecf. Dostupné z: <http://www.neurology.org/cgi/doi/10.1212/WNL.0b013e3181a55ecf>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Skupina mladých - data SHV (tabulka)	68
Příloha č. 2: Skupina mladých - data SVV (tabulka).....	69
Příloha č. 3: Skupina seniorů - data SHV (tabulka)	70
Příloha č. 4: Skupina seniorů - data SVV (tabulka)	71

Příloha č. 2: Skupina mladých - data SVV (tabulka)

proband	věk	skupina	pohár	domin	V CW 1	V CW 2	V CW 3	V CW	V CCW 1	V CCW 2	V CCW 3	V CCW	V pozice	V síre se	V síre
JB	21 mladi	M	P	P	1	0	1	0,7	1	0	0	0,3	0,5	0,3	0,3
GB	21 mladi	F	P	P	0	-1	-1	-0,7	0	0	0	0,0	-0,3	-0,7	0,7
KP	23 mladi	F	P	P	1	0	1	0,7	0	1	0	0,3	0,5	0,3	0,3
LN	23 mladi	F	L	P	0	1	0	0,3	0	0	1	0,3	0,3	0,0	0,0
ZK	23 mladi	F	P	P	-2	-1	2	-0,3	-1	-2	0	-1,0	-0,7	0,7	0,7
AI	24 mladi	F	P	P	1	1	0	0,7	0	-0,5	0,5	0,0	0,3	0,7	0,7
VH	24 mladi	F	P	P	-0,5	0	0,5	0,0	1	0	0,5	0,5	0,3	-0,5	0,5
AB	24 mladi	F	P	P	1	1	1	1,0	2	3	3	2,7	1,8	-1,7	1,7
SV	24 mladi	F	P	P	0	0	1	0,3	0	1	1	0,7	0,5	-0,3	0,3
SŠ	24 mladi	F	P	P	-1	-1	-1	-1,0	-2	0	0	-0,7	-0,8	-0,3	0,3
JK	24 mladi	F	P	P	1	0	0	0,3	1	0	0	0,3	0,3	0,0	0,0
KK	24 mladi	F	P	P	-1	-1	0	-0,7	-1	0	0	-0,3	-0,5	-0,3	0,3
PP	24 mladi	F	P	P	0	0	0	0,0	1	0	0,5	0,5	0,3	-0,5	0,5
LK	24 mladi	M	L	P	0	0	0	0,0	-1	-1	-1	-1,0	-0,5	1,0	1,0
JU	24 mladi	M	P	P	0	1	0	0,3	0	0	0	0,0	0,2	0,3	0,3
JK	25 mladi	M	P	P	-2	0	0	-0,7	-1	0	0	-0,3	-0,5	-0,3	0,3
JF	25 mladi	M	P	P	1	1	1	1,0	1	0	0	0,3	0,7	0,7	0,7
ND	25 mladi	M	L	P	0	0,5	0,5	0,3	1	0	-0,5	0,2	0,3	0,2	0,2
EŠ	25 mladi	F	P	P	-1	-1	0,5	-0,5	0	0	0,5	0,2	-0,2	-0,7	0,7
PK	25 mladi	M	P	P	-0,5	0	-0,5	-0,3	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	0,2	0,2
MS	25 mladi	M	P	P	2	0	0	0,7	2	2	1	1,7	1,2	-1,0	1,0
LD	25 mladi	F	P	P	1	1	0	0,7	1	1	0,5	0,8	0,8	-0,2	0,2
TM	25 mladi	M	P	P	0	-1	0	-0,3	-1	-1	0	-0,7	-0,5	0,3	0,3
TB	25 mladi	M	P	P	-1	0	0	-0,3	-1	0	0	-0,3	-0,3	0,0	0,0
AS	26 mladi	F	P	P	-2	-2	-1	-1,7	-2	-2	-2	-2,0	-1,8	0,3	0,3
PD	26 mladi	M	P	P	0	0	0	0,0	0	1	1	0,7	0,3	-0,7	0,7
PK	26 mladi	M	P	P	0	0	-1	-0,3	-1	0	-1	-0,7	-0,5	0,3	0,3
MK	27 mladi	F	P	P	2	2	1	1,7	1	3	2	2,0	1,8	-0,3	0,3
AB	27 mladi	F	P	P	1	1	0,5	0,8	-1	-2	0,5	-0,8	0,0	1,7	1,7
TK	27 mladi	M	P	P	0	0	0	0,0	0,5	1	1	0,8	0,4	-0,8	0,8

Příloha č. 3: Skupina seniorů - data SHV (tabulka)

proband	věk	skupina	pohlaví	domí	H CW 1	H CW 2	H CW 3	H CW	H CCW 1	H CCW 2	H CCW 3	H CCW	H supinat	H supinat	H supinat	H supinat	H supinace	H pronact	H pronact	H pronact	H pronact	H pronace	H pronace	H porize	H sifese	H sife
VP	62	seniori	F	P	7	3	1	3,7	-15	-12	-3	-10,0	7	3	1	3,7	-15	-12	-3	-10,0	-3,2	13,7	13,7			
HH	63	seniori	F	P	3	6	3	4,0	1	7	0	2,7	3	6	3	4,0	1	7	0	2,7	3,3	1,3	1,3			
VP	64	seniori	F	P	22	11	10	14,3	-4	7,5	10	4,5	22	11	10	14,3	-4	7,5	10	4,5	9,4	9,8	9,8			
MB	65	seniori	F	P	10	3	0	4,3	-3	-4	-3	-3,3	10	3	0	4,3	-3	-4	-3	-3,3	0,5	7,7	7,7			
JM	65	seniori	M	P	7	7	3	5,7	6	7	8	7,0	7	7	3	5,7	6	7	8	7,0	6,3	-1,3	1,3			
HŠ	67	seniori	F	P	7	8	4,5	6,5	4,5	4	5,5	4,7	7	8	4,5	6,5	4,5	4	5,5	4,7	5,6	1,8	1,8			
IH	67	seniori	M	P	2	5	-4	1,0	-9	-7	-7	-7,7	2	5	-4	1,0	-9	-7	-7	-7,7	-3,3	8,7	8,7			
BT	67	seniori	F	P	5	7,5	11	7,8	4	2	0	2,0	5	7,5	11	7,8	4	2	0	2,0	4,9	5,8	5,8			
PK	68	seniori	M	L	10	10	13	11,0	-3	-1	2	-0,7	3	1	-2	0,7	-10	-10	-13	-11,0	-5,2	11,7	11,7			
JP	71	seniori	F	P	8	18	5	10,3	-7	-2	-1	-3,3	8	18	5	10,3	-7	-2	-1	-3,3	3,5	13,7	13,7			
RM	71	seniori	M	L	-10	-5	-3	-6,0	-8	-6	-6	-6,7	8	6	6	6,7	10	5	3	6,0	6,3	0,7	0,7			
JJ	72	seniori	F	P	0	5	6	3,7	-4	-12	-11	-9,0	0	5	6	3,7	-4	-12	-11	-9,0	-2,7	12,7	12,7			
ML	72	seniori	F	P	3	11	12	8,7	3	-1	-1	0,3	3	11	12	8,7	3	-1	-1	0,3	4,5	8,3	8,3			
LM	72	seniori	F	P	7	7	10	8,0	5	7	7	6,3	7	7	10	8,0	5	7	7	6,3	7,2	1,7	1,7			
VT	72	seniori	F	P	3	-3	-1	-0,3	3	6	5	4,7	3	-3	-1	-0,3	3	6	5	4,7	2,2	-5,0	-5,0			
PL	72	seniori	M	P	18	15	14	15,7	-4	1	-1	-1,3	18	15	14	15,7	-4	1	-1	-1,3	7,2	17,0	17,0			
ZK	72	seniori	F	L	3	3	2	2,7	-1	-6	-3	-3,3	1	6	3	3,3	-3	-3	-2	-2,7	0,3	6,0	6,0			
EH	74	seniori	F	P	10	7	8	8,3	4	2	5	3,7	10	7	8	8,3	4	2	5	3,7	6,0	4,7	4,7			
JF	74	seniori	M	P	15	16	10	13,7	0	5	5	3,3	15	16	10	13,7	0	5	5	3,3	8,5	10,3	10,3			
PH	74	seniori	M	P	18	16	16	16,7	-7	-10	-10	-9,0	18	16	16	16,7	-7	-10	-10	-9,0	3,8	25,7	25,7			
MF	75	seniori	F	P	1	2	3	2,0	3	0	2	1,7	1	2	3	2,0	3	0	2	1,7	1,8	0,3	0,3			
BH	78	seniori	F	P	15	5	10	10,0	11	-5	0	2,0	15	5	10	10,0	11	-5	0	2,0	6,0	8,0	8,0			
VK	78	seniori	F	P	17	13	10	13,3	-2,5	-5	-3	-3,5	17	13	10	13,3	-2,5	-5	-3	-3,5	4,9	16,8	16,8			
MŠ	80	seniori	F	P	13	18	14	15,0	-5	-3	-5	-4,3	13	18	14	15,0	-5	-3	-5	-4,3	5,3	19,3	19,3			
TH	80	seniori	M	P	5	0	-3	0,7	-9	-10	-8	-9,0	5	0	-3	0,7	-9	-10	-8	-9,0	-4,2	9,7	9,7			
JM	81	seniori	F	P	4	4	7	5,0	7	2	2	3,7	4	4	7	5,0	7	2	2	3,7	4,3	1,3	1,3			
LZ	82	seniori	F	P	13	10	11	11,3	7	2	1	3,3	13	10	11	11,3	7	2	1	3,3	7,3	8,0	8,0			
IH	84	seniori	M	P	8	8	8	8,0	-11	-3	-1	-5,0	8	8	8	8,0	-11	-3	-1	-5,0	1,5	13,0	13,0			
JJ	84	seniori	F	P	5	13	7	8,3	-1	5	-5	-0,3	5	13	7	8,3	-1	5	-5	-0,3	4,0	8,7	8,7			
PK	84	seniori	F	P	15	12	8	11,7	3	4	6	4,3	15	12	8	11,7	3	4	6	4,3	8,0	7,3	7,3			
FS	85	seniori	F	P	9	4	17	10,0	-10	-13	-18	-13,7	9	4	17	10,0	-10	-13	-18	-13,7	-1,8	23,7	23,7			
JŠ	86	seniori	F	P	12	12	12	12,0	1	3	1	1,7	12	12	12	12,0	1	3	1	1,7	6,8	10,3	10,3			
MK	87	seniori	M	L	-11	-13	-11	-11,7	-10	-13	-13	-12,0	10	13	13	12,0	11	13	11	11,7	11,8	0,3	0,3			
JK	89	seniori	M	P	5	7	12	8,0	0	8	3	3,7	5	7	12	8,0	0	8	3	3,7	5,8	4,3	4,3			

Příloha č. 4: Skupina seniorů - data SVV (tabulka)

proband	věk	skupina	pohlaví	domín	V CW 1	V CW 2	V CW 3	V CW	V CCW 1	V CCW 2	V CCW 3	V CCW	V pozice	V síre se	V síre
VP	62	seniori	F	P	-4	-3	-3	-3,3	-4	-3	-3	-3,3	-3,3	-3,3	0,0
HH	63	seniori	F	P	0	-1	1	0,0	1	0	1	0,7	0,3	-0,7	0,7
VP	64	seniori	F	P	-1	0	0	-0,3	0	0	-1	-0,3	-0,3	0,0	0,0
MB	65	seniori	F	P	-1	0	0	-0,3	0	1	1,5	0,8	0,3	-1,2	1,2
JM	65	seniori	M	P	1	2	2	1,7	2	1	2	1,7	1,7	0,0	0,0
HŠ	67	seniori	F	P	-2	-2	0	-1,3	-1	-2	-2	-1,7	-1,5	0,3	0,3
IH	67	seniori	M	P	0	1	1	0,7	3	2	2	2,3	1,5	-1,7	1,7
BT	67	seniori	F	P	0	0	-1	-0,3	1	1	1	1,0	0,3	-1,3	1,3
PK	68	seniori	M	L	0	0	1	0,3	0	1	0	0,3	0,3	0,0	0,0
JP	71	seniori	F	P	1	1	2	1,3	0	1	1	0,7	1,0	0,7	0,7
RM	71	seniori	M	L	-1	-1	0	-0,7	-0,5	0	0	-0,2	-0,4	-0,5	0,5
JJ	72	seniori	F	P	0	0	-1	-0,3	1	0	0	0,3	0,0	-0,7	0,7
ML	72	seniori	F	P	-1	-1	-1	-1,0	-1	-1	-2	-1,3	-1,2	0,3	0,3
LM	72	seniori	F	P	-1	0	0	-0,3	-1	0	0	-0,3	-0,3	0,0	0,0
VT	72	seniori	F	P	3	5	5	4,3	4	6	4	4,7	4,5	-0,3	0,3
PL	72	seniori	M	P	0	0	0	0,0	-2	-1	-1	-1,3	-0,7	1,3	1,3
ZK	72	seniori	F	L	-1	-2	-1	-1,3	0	-1	-2	-1,0	-1,2	-0,3	0,3
EH	74	seniori	F	P	1	0	0	0,3	5	4	2	3,7	2,0	-3,3	3,3
JF	74	seniori	M	P	-1	0	-1	-0,7	0	0	0	0,0	-0,3	-0,7	0,7
PH	74	seniori	M	P	0	4	-1	1,0	1	2	2	1,7	1,3	-0,7	0,7
MF	75	seniori	F	P	-2	-2	-2	-2,0	1	1	0,5	0,8	-0,6	-2,8	2,8
BH	78	seniori	F	P	-2	0	0	-0,7	0	-1	-1	-0,7	-0,7	0,0	0,0
VK	78	seniori	F	P	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	4	4	3,8	3,7	-0,3	0,3
MŠ	80	seniori	F	P	0	2	1	1,0	0	-2	-1	-1,0	0,0	2,0	2,0
TH	80	seniori	M	P	1	0	-1	0,0	-1	-1	-1	-1,0	-0,5	1,0	1,0
JM	81	seniori	F	P	-3	-5	-3	-3,7	5	5	5	5,0	0,7	-8,7	8,7
IZ	82	seniori	F	P	4	4	3	3,7	3	3	-2	1,3	2,5	2,3	2,3
IH	84	seniori	M	P	1	1	0	0,7	0	0	0	0,0	0,3	0,7	0,7
JJ	84	seniori	F	P	0	-2	-3	-1,7	1	1	1	1,0	-0,3	-2,7	2,7
PK	84	seniori	F	P	2	2	3	2,3	2	2	3	2,3	2,3	0,0	0,0
ES	85	seniori	F	P	-2	-3	-3	-2,7	-4	-3	-2	-3,0	-2,8	0,3	0,3
JŠ	86	seniori	F	P	-5	-5	-6	-5,3	2	-3	-2	-1,0	-3,2	-4,3	4,3
MK	87	seniori	M	L	-5	-5	-5	-5,0	0	-6	-6	-4,0	-4,5	-1,0	1,0
JK	89	seniori	M	P	3	4	2	3,0	1	2	2	1,7	2,3	1,3	1,3