

**UNIVERZITA KARLOVA**

**2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

**Edita Radvanská**

**Subjektivní percepce zrakové vertikály**

**Bakalářská práce**

Praha 2018

Autor práce: Edita Radvanská

Vedoucí práce: Doc. PhDr. Ondřej Čákr, Ph.D.

Oponent práce: Mgr. Klára Kučerová

Datum obhajoby: 2018

## **Bibliografický záznam**

RADVANSKÁ, Edita: *Subjektivní percepce zrakové vertikály*. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2018. 60 s., 5 příloh. Vedoucí bakalářské práce Doc. PhDr. Ondřej Čákr, Ph.D.

## **Abstrakt**

Rovnovážný systém je multisenzoricky organizovaný celek využívající aferentace z exteroceptorů, enteroceptorů a proprioceptorů, zraku a vestibulárního systému. Součástí vestibulárního labyrintu jsou otolitové orgány v utriculu a saculu, které jsou schopné určit směr působení gravitačního vektoru. Tato funkce je velice důležitá k zajištění stabilní postury při stoji a chůzi. Schopnost správně vnímat geofyzikální vertikálu se ztrácí ve chvíli, kdy je vestibulární systém poškozený. U člověka můžeme vyšetřovat subjektivní haptickou, posturální a zrakovou vertikálu. V naší práci se budeme zabývat pouze subjektivní zrakovou vertikálou (SVV). Práce se skládá z rešerše článků o patofyziologii SVV a jejího měření. V rámci experimentu porovnáme přesnost vyšetření metodou Bucket method a mobilní aplikací Visual Vertical na zdravých probandech.

## **Abstract**

Postural balance system is a multisensory-organized complex using afference of exteroceptors, enteroceptors, proprioceptors and the visual and the vestibular system. The utriculus and the sacculus are otolith organs placed in the vestibular labyrinth and they are capable of recognizing the direction of gravity. Their function is crucial for keeping postural stability during stand and walk. The ability to recognize the geophysical vertical is failing if the vestibular system is impaired. There are the subjective visual vertical (SVV), the subjective postural vertical (SPV) and the subjective haptic vertical (SHV) which can be tested in humans. This study is interested in SVV, its pathophysiology and measuring. We are comparing the accuracy of measurement of SVV by the Bucket method and a mobile application Visual Vertical in healthy subjects in our experiment.

## **Klíčová slova**

Subjektivní zraková vertikála, posturální stabilita, rovnováha, gravicepce

## **Keywords**

Subjective visual vertical, postural stability, balance, graviception

## **Prohlášení**

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

V Praze 2018

Edita Radvanská

## SEZNAM ZKRATEK

CNS.....	centrální nervový systém
ENG .....	elektronystagmografie
m. ....	musculus
n. ....	nervus
ncl. ....	nucleus
OCR.....	ocular counter roll
OT .....	okulární torze
SHV.....	subjektivní haptická vertikála
SNHL.....	senzorineurální ztráta sluchu
SVV.....	subjektivní zrková vertikála
SPV .....	subjektivní posturální vertikála
VOG.....	videookulografie
VOR.....	vestibulookulární reflex

## OBSAH

<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>6</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>7</b>
<b>2 CÍLE .....</b>	<b>8</b>
<b>3 TEORIE .....</b>	<b>9</b>
1.1 ROVNOVÁŽNÝ SYSTÉM.....	9
1.1.1 Zrakový systém.....	10
1.1.2 Vestibulární systém .....	11
1.1.3 Somatosenzorický systém.....	15
1.1.4 Centrální nervový systém (CNS).....	17
1.1.5 Ostatní aspekty rovnovážného systému.....	21
1.2 PATOLOGIE ROVNOVÁŽNÉHO SYSTÉMU .....	25
1.2.1 Testování rovnovážného systému .....	26
1.2.2 Poruchy zraku .....	27
1.2.3 Poruchy vestibulárního systému .....	28
1.2.4 Poruchy čítí.....	30
1.3 URČENÍ VERTIKÁLY .....	30
1.3.1 Subjektivní haptická vertikála .....	31
1.3.2 Subjektivní posturální vertikála .....	31
1.3.3 Subjektivní zraková vertikála .....	31
1.4 MĚŘENÍ SVV .....	35
1.4.1 Měření metodou Bucket method.....	36
1.4.2 Měření metodou Visual Vertical.....	37
<b>4 PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>38</b>
1.5 TESTOVANÁ SKUPINA PROBANDŮ .....	38
1.6 METODY .....	38
1.7 TESTOVÁNÍ .....	38
<b>5 VÝSLEDKY.....</b>	<b>40</b>
<b>6 DISKUSE .....</b>	<b>42</b>
<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>49</b>
<b>8 BIBLIOGRAFIE .....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>56</b>
<b>PŘÍLOHY .....</b>	<b>57</b>

# 1 ÚVOD

Tato práce je shrnutím vědecky publikovaných informací o vnímání subjektivní zrakové vertikály (SVV). Navzdory tomu, že je existence SVV známa několik desítek let a klíčová slova "Subjective Visual Vertical" jsou jen od 1. 1. 2010 předmětem 208 prací v databázi Medline, neexistuje přesný popis procesu její percepce. Je nazývána testem či schopností člověka určit pomocí zraku bez možnosti srovnání s vnějším prostředím vertikality daného objektu, v případě všech zde citovaných prací rovné čáry. Dle Akina (Akin, 2009) je psychofyzickou mírou úhlu mezi vnímanou a reálnou (gravitační) vertikálou.

Vzhledem k vědeckým neshodám ohledně SVV zvolíme jako výchozí téma rovnovážný systém, se kterým SVV úzce propojena. Z detailní znalosti rovnovážného systému lze odvozovat fyziologii i patologie SVV, která je specifickým způsobem ukazatel funkce rovnovážného systému. Není přímo testem pro diferenciální diagnostiku, ale je jednoduchou metodou zjištění přítomnosti patologie v rovnovážném systému a u vybraných chorob je SVV také měřítkem závažnosti poruchy stability (Pereira, 2014; Bonan, 2006; Crevits, 2007).

Rovnovážný systém je multisenzoricky organizovaný celek, který umožňuje posturální stabilitu a vertikalizaci. Mezi jeho funkce patří mimo jiné i určení směru působení gravitačního vektoru (gravicepci). Ve chvíli, kdy tuto schopnost ztrácí, lze pozorovat nejen ztrátu stability, ale i další patologie, jednou z nich je i větší nepřesnost až neschopnost určit SVV.

Aby mohla být konstatována patologie v percepci SVV, jsou nezbytnou znalostí její hodnoty u zdravých subjektů. Možných způsobů měření je mnoho, my jsme pro tuto práci vybrali 2 rychlé praktické testy: Bucket method, metodu publikovanou autory z neurologické kliniky v Mnichově, při níž využíváme jednoduché zařízení vyrobené z kbelíku, a mobilní aplikaci Visual Vertical Lite, vytvořenou australskou společností Clear Health Media, která nebyla podrobena vědeckému zkoumání, ale vidíme v ní velký potenciál vzhledem k dostupnosti, trvání testu a jednoduchosti použití. Tyto dvě metody budou v praktické části práce podrobeny výzkumu, zda je možné naměřené hodnoty jednou metodou zaměňovat za hodnoty naměřené metodou druhou a zda nám budou obdobně vycházet fyziologické hodnoty SVV u zdravých probandů.



## 2 CÍLE

Naším cílem je shrnutí nejnovějších poznatků o vztahu mezi rovnovážným systémem a percepcí SVV a jejím ovlivněním při poškození některého ze systému na SVV se podílejících.

Dále je naším cílem zjistit, zda obě vybrané metody měření SVV měří srovnatelně, tj. jestli se nám potvrdí nulová hypotéza, že obě použité metody jsou navzájem zaměnitelné a že při vyšetření jednou či druhou metodou budeme diagnostikovat fyziologii či patologii v obou případech. V takovém případě by průměr a směrodatná odchylka u jednotlivých probandů jednotlivými metodami nebyly statisticky významně rozdílné. Alternativní hypotéza je, že data z obou metod statisticky významně rozdílná budou, tj. že při měření jednou či druhou metodou bychom u jednoho pacienta diagnostikovali rozdílně fyziologický či patologický stav v závislosti na použité metodě. V takovém případě bude průměr jedné z metod statisticky významně vzdálenější od nuly nebo směrodatná odchylka bude u jedné z metod statisticky významně vyšší než u druhé.

Pokud se nulová hypotéza potvrdí, můžeme prohlásit, že jsou obě navzájem kompatibilní a že můžeme zaměřovat hodnoty naměřené oběma způsoby, což může být dlouhodobě výhodné například u velkých srovnávacích studií. Pokud bude potvrzena alternativní hypotéza, nebudeme doporučovat použití metody, která u zdravých subjektů vykazuje příznaky patologie.

## 3 TEORIE

### 1.1 Rovnovážný systém

Rovnovážný systém a jeho složky jsou hlavním určujícím faktorem funkce SVV. Poruchy jeho jednotlivých složek mají různý dopad na percepci SVV a dalších poruch s ní souvisejících. Poruchy rovnováhy mají často souvislost s patologií v percepci SVV (Pereira, 2014; Bonan, 2007; Crevits, 2007).

Rovnovážný systém je automatickou makroskopickou funkcí, jejímž úkolem je udržet stabilní zrakové pole a stabilní vzpřímenou polohu těla v prostoru. Toho je docíleno konvergencí několika senzoričkových vstupů ve vestibulárních jádrech Truc, (2007). Dle Horaka (Horak, 2006) je komplexní motorickou dovedností odvozenou od několika senzomotorických procesů a jeho hlavní funkcí jsou posturální rovnováha a orientace v prostoru. Dále je za jeho funkci považováno udržení posturálního nastavení, umožnění pohybu a znovunabytí stability v případě výchylky v důsledku vnějších vlivů (Mancini, 2010).

Aferentní informace jsou získávány z několika systémů: zrakového, vestibulárního a propioceptivního ústrojí. Zavzetí sluchu jako jednoho z ovlivňujících ústrojí je spekulativní (viz kapitolu 1.1.2 Vestibulární systém). Stejně tak není jasně vědecky prokázán vliv funkce nociceptorů na rovnovážný systém (viz kapitolu 1.1.3 Somatosenzoričkový systém). Dalšími faktory ovlivňujícími rovnovážný systém jsou anticipace pohybového programu, zkušenost a odhad limitů stability (Čakrt, 2009). Vrabc (Vrabc, 2002) zahrnuje propioceptivní aferenci do somatosenzoričkové aferentace, v podrobnějším popisu budou proto pro přehlednost zahrnuty exteroceptory, enteroceptory a propioceptory do jedné kapitoly.

Informace jsou dále integrovány v CNS, kde se z jednotlivých aferentních vstupů následně interpretují v cortex insularis posterior, lobus parietalis inferior a gyrus temporalis superior (Kheradmand, 2017). Zde dochází skrze temporo-parietální spoje k integraci informací z vestibulárního systému se všemi ostatními smysly podílejícími se na percepci vertikality. Zatím nebylo vědecky dokázáno, jakou přesnou funkci vykonávají. Jaké dopady bude mít selhání jednoho z uvedených částí kortexu, také v mnoha případech není objasněno (Kheradmand, 2015).

### **1.1.1 Zrakový systém**

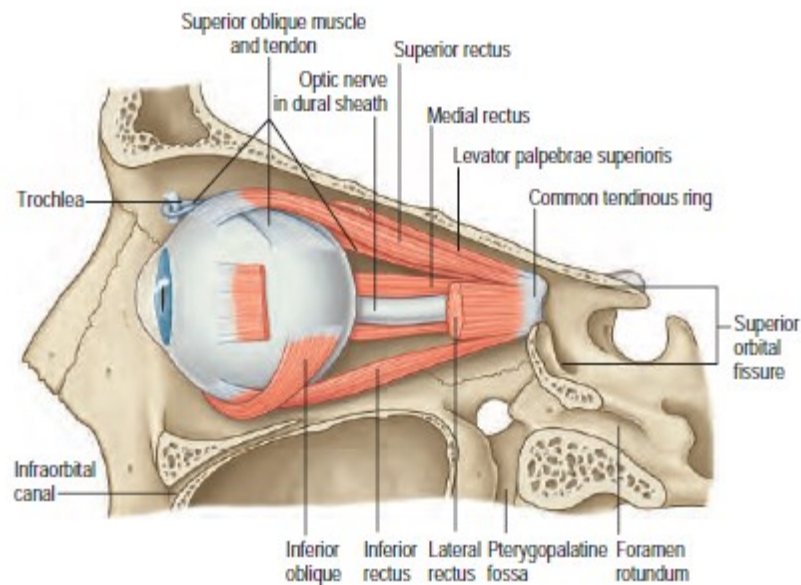
Zrakový systém má významnou souvislost se SVV, neboť skrze jeho aferentaci jsou prováděny veškeré testy SVV. Poruchy SVV při defektu visu (např. ametropie) nebyly doposud zkoumány, subjekty s nekorigovatelnými zrakovými poruchami byly naopak v některých případech vyřazovány. U okohybných svalů může být přepokládána souvislost se SVV, neboť u některých chorob, zvláště vestibulárního původu, u kterých dochází i k nystagmu a jiným okohybným poruchám, dochází i k deviaci SVV (Böhmer, 1999). Vědecké výzkumy zkoumající souvislost výlučně mezi okohybnými svaly a SVV bez dalších komorbidit nebyly provedeny.

U rovnovážného systému byla důležitost zrakového systému již prokázána, ovšem jeho důležitost se odvíjí od funkce ostatních systémů na rovnováze se podílejících (Isableu, 1997).

Zrakový systém je rozdělen na receptory a periferní nervový systém předávající informace do CNS. Oko samotné je pouze zprostředkovatelem dat, kde se na sítnici přeměňuje světelná energie na bioelektrickou. Odtud je skrze II. hlavový nerv čtyřmi neurony vedena až do lobus occipitalis, kde se nachází centrum pro zrak (Pfeiffer, 2007). Zde se vyhodnocují informace přicházející skrz oko a z ostatních částí CNS jsou oko a jeho pohyb přesně ovládnány.

Zrakový systém je jedním z hlavních tvůrců aferentních informací pro rovnovážný systém. Dle Friedricha (Friedrich, 2008) zrakové vjemy tvoří kolem 80% veškerých smyslových počitků. Naše pohyby jsou většinou kontrolovány a koordinovány očima, zrak informuje o postavení těla, získává prostorový přehled. Periferní vidění slouží k identifikaci rychle se pohybujících objektů a k prostorové orientaci, pomáhá udržet stabilní stoj. Pro zjištění detailních informací u pohybujících se objektů je potřeba, aby byly správně zkoordinované pohyby očí a hlavy. I při upřeném pohledu na jedno místo není oko nikdy v klidu, provádí tzv. sakadické pohyby, kterými docílí souvislého obrazu.

Vzhledem k výše uvedené podstatné funkci okohybných svalů zde musíme zmínit základní informace o okohybném systému. Oko je pohybováno šesti okohybnými svaly. Čtyři z nich patří mezi svaly přímé, zbylé dva mezi svaly šikmé. Kromě m. obliquus inferior, který začíná na spodní stěně očníce, mají všechny začátek v annulus tendineus communis a upínají se na příslušné místo do skléry. Podstatné je, že jsou inervovány třemi hlavovými nervy: n. oculomotorius inervuje m. rectus superior, medialis, inferior a m. obliquus inferior, n. trochlearis ovládá m. obliquus bulbi superior a n. abducens ovládá m. rectus lateralis (Čihák, 1997).



**Obrázek 1: Okohybné svaly a jejich průběh, levá orbita, laterální pohled (Standring, 2016)**

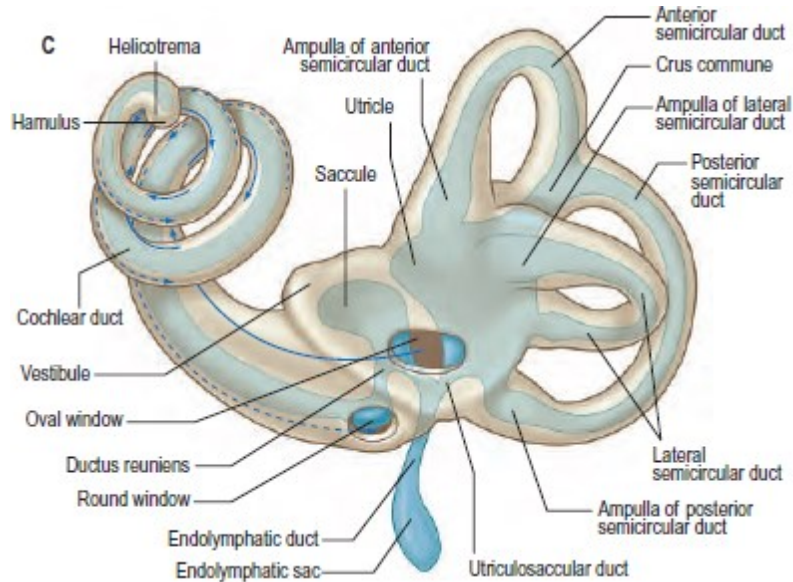
### 1.1.2 Vestibulární systém

Vestibulární systém je velmi úzce spjatý se SVV. U velké části vestibulárních poruch je nalezena patologie při určování SVV (Böhmer, 1999).

Je také považován za nejdůležitější systém pro udržení rovnováhy (Friedrich, 2008).

Jak zmiňuje Čihák (Čihák, 1997), anatomicky se vestibulární systém nachází ve skalní kosti v auris interna, zahrnující kostěný labyrint. Kostěný labyrint se skládá z vestibula, v němž jsou uloženy dva váčky blanitého labyrintu: větší oválný utriculus a menší sférický sacculus. Na vestibulum jsou napojené canales semicirculares ossei, které jsou navzájem kolmé, orientované dle podélné osy pyramidy (nikoli podle hlavních rovin těla). Z vestibula navazuje frontokaudálně mediálně cochlea.

Blanitý labyrint je vyplněn endolymfou, kolem něho jsou prostory kostěného labyrintu, vyplněné perilymfou. Dělí se na labyrinthus vestibularis, funkčně zapadající do rovnovážného systému, a labyrinthus cochlearis, funkčně zapadající do sluchového systému.

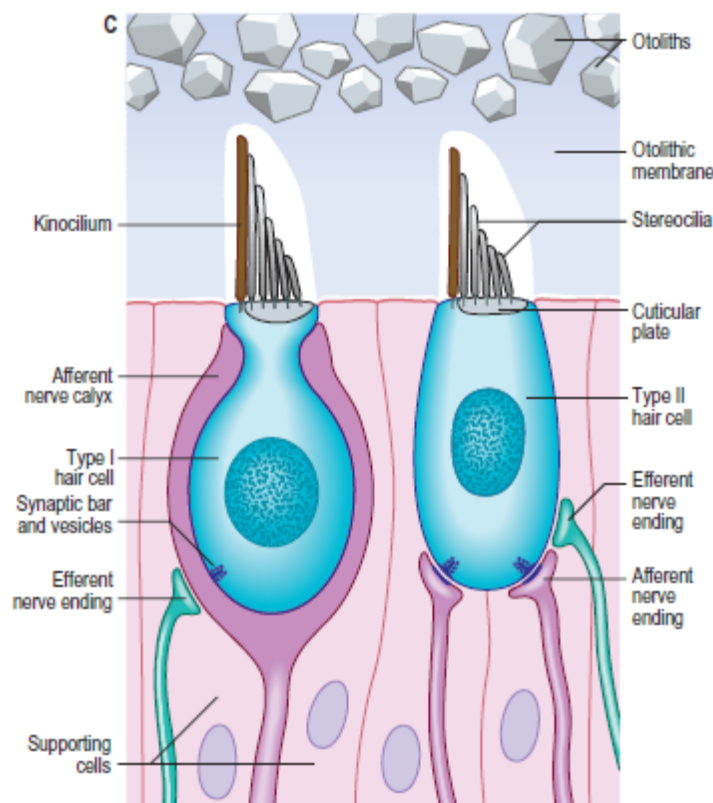


**Obrázek 2: Projekce blanitého labyrintu na kostěný labyrint (Standring, 2016)**

Zatímco u labyrinthus vestibularis je dokázáno, že se podílí na percepci SVV, na funkci labyrinthus cochlearis v rovnovážném systému není dosud jednotný názor. Byly provedeny především studie zabývající se kochleárními implantáty a dopady jejich zavedení u lidí se sensorineurální ztrátou sluchu (SNHL), bývající často spojenou s vestibulárním deficitem. Některé ze studií se ale více zabývají riziky, která kochleární implantáty pro vestibulární aparát znamenají, tj. jestli naruší operace funkci vestibulárního systému při fyzicky blízké lokalizaci labyrinthus vestibularis a labyrinthus cochlearis. Dle jedněch studií se při kochleárním implantátu u neslyšících subjektů schopnost funkce vestibulárního systému či SVV nezhoršila nebo nebyla významně odlišná (Ogawa, 2010; Buchman, 2004), ale dle jiných studií se s operací zhoršila (Ibrahim, 2017), včetně vnímání SVV (Le Nobel, 2016). Tyto studie nemohou být brány jako směrodatné v souvislosti sluchu a SVV, neboť se zabývají mechanickým porušením funkce vestibulárního systému při vpravení kochleárního implantátu, nikoli souvislostí sluchového systému s rovnovážným (včetně SVV).

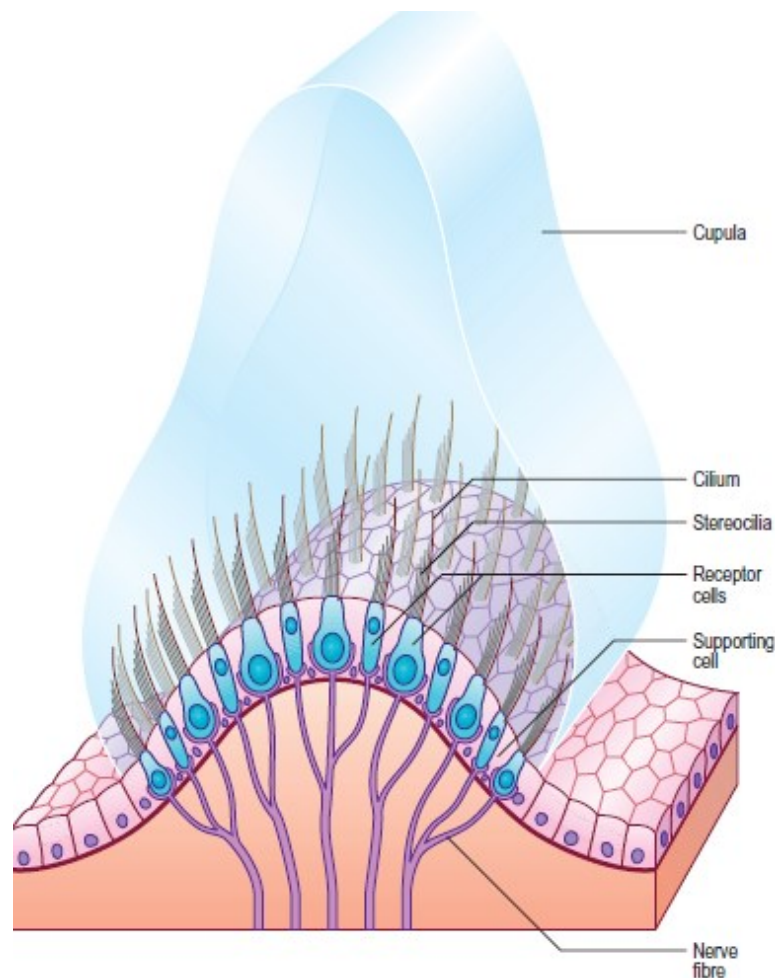
Důležitější jsou pro nás studie provedené na pacientech se SNHL s deficitem ve vnímání vertikály, u kterých byla posléze provedena implantace kochleárního implantátu, kde u subjektů došlo ke zmenšení náklonu SVV po operaci (Gnanasegaram, 2016) a u kterých byl dokázáno, že při elektrické stimulaci kochleárním implantátem dochází k vestibulární odpovědi (Parkes, 2017). To ovšem implikuje přenos impulzu v rámci anatomicky blízkých nervů, nikoli souvislost mezi sluchovým a rovnovážným systémem. Vědecké studie zabývající se korelací sluchu a SVV u zdravých probandů nebyly provedeny. Vzhledem k rozporupnosti výše uvedených výsledků se zde nebudeme labyrinthus cochlearis a sluchovému systému ve vztahu k SVV a rovnovážnému systému dále věnovat.

Jak popisuje Čihák (Čihák, 1997), v labyrinthus vestibularis nacházíme utriculus. Jde o oválný váček o délce 2,5–3,5 mm, uložený v dutině vestibula v recessus elipticus. Dále se zde nachází sacculus – menší, spíše sférický váček o průměru 2–3 mm, uložený v recessus sphaericus. Na stěně obou váčků jsou maculae staticae.



**Obrázek 3: Maculae staticae (Standring, 2016)**

Macula statica je pole vyššího cylindrického epitelu, v němž jsou smyslové buňky, které předávají dendritům buněk ganglion vestibulare nervové vzruchy. Z buněk vyčnívají stereocilie, které jsou zanořeny do gelatinosní glykoproteinové vrstvy, na jejímž povrchu jsou otolity, krystalky uhličitanu vápenatého. Otolity jsou ovlivňovány gravitační silou a jakýkoli jejich pohyb se přenesse do cilie a stereocilií, které z mechanického stimulu vytvoří elektrický.



**Obrázek 4: Umístění cilíí a stereocilií v macula (Standring, 2016)**

Dle popisu Amblera (Ambler, 2006), nervus vestibularis vede vzruchy z canales semicirculares, sacculus a utriculus. Podnětem je pohyb endolymfy vyvolaný úhlovým zrychlením při pohybech, změnách polohy hlavy a tah nebo tlak statolitové membrány. Dle vzruchů z otolitových orgánů je mozek schopen rozpoznat lineární zrychlení, dle stimulů z canales semicirculares úhlové zrychlení.

Z pyramidy vystupuje n. vestibularis přes meatus acusticus internus a vstupuje do mozkového kmene.

### ***1.1.3 Somatosenzorický systém***

Somatosenzorický systém je podstatným aferentním vstupem jak pro rovnovážný systém, tak pro SVV. Při použití vibrací pro ovlivnění propioceptivní aferentace svalových vřetének okohybných svalů, svalů krku a svalů v okolí kotníku se při odstranění vizuální aferentace dostavil náklon trupu ve směru aferentně stimulovaného svalu, což poukazuje na důležitost somatosenzorických vstupů (Bronstein, 2004). (Bronstein, Brandt, Woollacott, & Nutt, 2004) Stejně tak na důležitost somatosenzorických funkcí poukazuje absence A- a E-efektu (viz kapitolu 1.3) u určování SVV při náklonu u pacientů s hemihypestezií (Bronstein, 1999).

Somatosenzorický systém využíváme k vnímání vnějších i vnitřních podnětů. Zahrnuje vnímání bolesti, chladu, tepla, dotyku, tlaku, pohybu a polohy těla (Ambler, 2006).

Dělíme jej na 3 podskupiny: exteroreceptory, enteroreceptory a propioceptory.

Exteroreceptory informují o vnějších podnětech, proto jsou tyto receptory přítomny v kůži nebo v její blízkosti. Zahrnují volná a opouzďřená nervová zakončení. Informují o dotyku, tlaku, teplotě a vibračním cití. Jednotlivé receptory se liší hloubkou umístění a rychlostí adaptace. Patří mezi ně Meissnerova tělíska, registrující dynamický tlak a dotyk, Krauseho tělíska, vnímající studenou teplotu, Ruffiniho tělíska, registrující protažení kůže a Paciniho tělíska, informující o hlubokém tlaku a vibracích, a Merkelovy disky, informující o statickém tlaku a dotyku (Pfeiffer, 2007).

Enteroreceptory, jinak nazývané také visceroreceptory, nacházíme ve stěnách orgánů, žláz a cév, kde zahrnují volná nervová zakončení, opouzďřená zakončení a zakončení spojená se specializovanými epiteliálními buňkami (Standring, 2016). Je dokázáno, že mají schopnost gravicepce (Trousselard, 2004).

Proprioceptory registrují informace z hlubších tkání, zvláště z pohybového systému, o pozici, pohybu a mechanickém stresu. Řadí se sem svalová vřeténka, Golgiho šlachová tělíska, Paciniho tělíska a ostatní zakončení v kloubech, také sem mohou být zařazeny vestibulární receptory. Jsou stimulovány kontrakcí svalů, pohyby v kloubech a změnami v poloze těla. Jejich funkce je nezbytná pro svalovou koordinaci, pro udržení posturální stability a pro ovládání síly svalové kontrakce (Standring, 2016).



Volná nervová zakončení – nociceptory – přenáší informace o teplotě, hrubém dotyku a především bolesti (Purves, 2004). Studie věnující se bolesti ve vztahu k rovnovážnému systému existují, ovšem jejich výsledky se neshodují. Některé poukazují na nepropojenost mezi nocicepcí a rovnovážným systémem (Madeleine, 2004), některé naopak ukazují vztah mezi bolestí a instabilitou (Soliman, 2017; Blouin, 2003). Vzhledem k těmto nesrovnalostem nejsme schopni učinit závěr ani pro jejich souvislost se SVV a nebudeme se jimi v této práci dále zabývat.

Společně tvoří senzitivní dráhy, které vedou informace do CNS. Senzitivní dráhy rozlišujeme na 2 části: na spinothalamický a lemniskální systém. Každý z nich vede jiný typ informací a spojují se až v úrovni pontu. Společně končí v thalamu v nucleus lateralis posterior, kde začíná třetí neuron - tractus thalamocorticalis. Prochází zadní třetinou capsula interna do gyrus postcentralis a gyrus parietalis (Ambler, 2006).

### ***1.1.3.1 Spinothalamický systém***

Jak uvádí Ambler (Ambler, 2006), spinothalamický systém přenáší informace o povrchové citlivosti. Obsahuje tenká myelinizovaná nebo nemyelinizovaná vlákna, vedoucí informace o vnímání bolesti, chladu, tepla, částečně chladu a dotyku.

Vzruchy jsou aferentními senzitivními vlákny vedeny do spinálních ganglií zadních kořenů míšních (1. neuron). Ze zadního kořene jdou vlákna spinothalamického systému do zadního míšního rohu.

Vlákna procházejí ze zadního rohu skrz přední šedou komisuru na kontralaterální stranu, kde vytváří spinothalamický trakt. Přejít se děje v průběhu několika segmentů. Zde jsou sakrální vlákna uložena nejvíce laterálně, vlákna z kranialnějších částí těla jsou uložena mediálně.

### ***1.1.3.2 Lemniskální systém***

Lemniskální systém (také nazýván systém zadních provazců míšních) přenáší informace o hlubokém čítí. Obsahuje silná myelinizovaná vlákna s vysokou rychlostí přenosu. Zajišťuje vnímání polohocitu, pohybecitu, vibrací a hrubého kožního dotyku.

Vzruchy jsou vedeny do zadních kořenů míšních. Odtud vlákna lemniskální dráhy vstupují přímo do ipsilaterálních zadních provazců míšních. První neuron končí v jádrech zadních provazců v prodloužené míše v laterálním ncl. cuneatus Bouchardi a v mediálním ncl. gracilis Golli. V zadních provazcích míšních jsou sakrální vlákna uložena více mediálně, čím kraniálněji se pohybujeme, tím více jsou nově se připojující vlákna uložena laterálně. Z jader zadních provazců vychází druhý neuron, jehož vlákna se v úrovni medula oblongata kříží a pokračují jako lemniscus medialis do thalamu.

#### **1.1.4 Centrální nervový systém (CNS)**

Centrální nervový systém je klíčovou složkou, ve které dochází k integraci všech aferentních vstupů rovnovážného systému, tj. i všech aferentních vstupů určujících SVV. U různých poruch různých částí CNS byla dokázána následná porucha SVV (Dieterich, 1993; Baier, 2012).

##### **1.1.4.1 Mozkový kmen**

Mozkový kmen je jednou z částí mozku, kde byla prokázána souvislost s percepcí SVV (Dieterich, 1993).

Jak uvádí Vrabec (Vrabec, 2002), v mozkovém kmeni se nachází centrální část vestibulárního systému, vestibulární jádra. Jsou rozdělena do čtyř větších a několika menších anatomických celků. Horní vestibulární jádro Bechterevi zajišťuje pomocí větších neuronů vestibulookulární projekci (hlavně z ampula canales semicirculares) a vestibulocerebellární projekci a pomocí malých neuronů komisurální spoje. Laterální vestibulární jádro Deitersi integruje projekci z macula utriculi, z cortex cerebellaris a proprioceptorů somatosensorického systému. Jeho primárním výstupem jsou neurony tractus vestibulospinalis lateralis. Mediální vestibulární jádro Schwalbei integruje informace ze všech částí blanitého labyrintu, z oblasti crista ampulae i makul otolitového systému. Jeho výstupem je mediální část tractus vestibulospinalis, další spoje vedou k jádrům okoahybných nervů a tvoří část VOR. Dolní vestibulární jádro Rollerů integruje informace ze všech částí blanitého labyrintu a z cerebella. Jeho výstupem je část vláken tractus vestibulospinalis medialis. Poslední skupinou jsou malá vestibulární jádra několika skupin (Y, L, F, X, Z) a intersticiální jádra.

Další složkou centrálního vestibulárního systému jsou vyšší vestibulární centra mozkového kmene, která se nachází v mesencefalu. Jedná se o nucleus interstitialis Cajali, které se při stimulaci vestibulárního systému podílí na integraci vertikálního pohybu bulbů v odpovědi, dále je propojeno s jádrem n. oculomotorius a většinou vestibulárních jader. Druhým jádrem je nucleus Darkschewitschii, které je propojeno s mozečkem.

V mozkovém kmeni se také nachází retikulární formace, která komunikuje aferentně i eferentně s centry míchy, jádru hlavových nervů, cerebellem a vyššími mozkovými centry. Jak už z provázanosti napovídá, její funkce je koordinační a modulační.

Komisurální projekce dochází k propojení horního, mediálního, dolního jádra a jader skupiny Y. Efekt je většinou inhibiční a uplatňuje se při potenciaci rozdílu v úrovni aktivity komplementárních canales semicirculares.

Vestibulární projekce je spojením s vláskovými buňkami vestibulárních receptorů. Je excitačního i inhibičního charakteru a výsledně moduluje klidovou aktivitu vestibulárních neuronů.

Do vestibulárních jader přichází aferentní informace zrakové, propioceptivní z míchy a okohybných svalů, cerebelární a korové. Zraková a propioceptivní aferentace byla již vysvětlena v předchozích odstavcích, proto se dále budeme zabývat především cerebellem a korovou složkou rovnovážného systému, potažmo SVV.

#### ***1.1.4.2 Cerebellum***

Cerebellum je další strukturou, u které existují vědecké důkazy o spojitosti se SVV (Baier, 2008; Sharpe, 2011).

Cerebellum se skládá z vermis a dvou hemisfér. Nachází se v zadní jámě lební, kde je pomocí pedunkulů připojen k mozkovému kmeni.

Z fylogenetického hlediska je rozdělen na archicerebellum, paleocerebellum a neocerebellum. Archicerebellum zpracovává informace z canales semicirculares o prostorových vztazích hlavy a o jejím pohybu, dle kterých časově koordinuje spinální motorické impulzy (Vrabec, 2002). Dle Yacovino (Yacovino, 2018), při postižení flokulonodulárního laloku dochází k poruchám rovnováhy při stožení a chůzi kvůli dyskoordinaci činnosti jednotlivých svalových skupin. Je popsán tzv. flokulární syndrom, při kterém dochází k úpravě VOR, spontánnímu nystagmu a útlumu funkce vestibulárního systému. Při postižení nodulu dochází ke změně reaktivity vestibulárního receptoru na termickou i rotační stimulaci, tudíž se ztrácí inhibiční vliv. Paleocerebellum je příjemcem impulzů ze spinocerebellárního traktu a eferentně moduluje aktivitu antigravitačního svalstva a svalového tonu. Neocerebellum dostává informace nepřímo z mozkové kůry a poskytuje informace o každém plánovaném pohybu. Inhibičně modifikuje a koriguje všechny motorické výstupy z pyramidového a extrapyramidového systému (Vrabec, 2002).

#### **1.1.4.3 Kortex**

Kortex je i v současné době předmětem intenzivního výzkumu. Dle Kheradmanda (Kheradmand, 2015) neexistují jednoznačné důkazy o podrobných funkcích jednotlivých částí mozku, které souvisí s vestibulárním systémem a zpracováním jeho informací s dalšími informátory o vertikalitě. V již publikovaných výzkumech se podařilo ovlivnit vnímání vertikály skrze různé druhy ovlivňování (transkraniální magnetická stimulace, neurozobrazovací studie, přímá stimulace) z cortex insularis posterior, lobus parietalis inferior (gyrus angularis a supramarginalis) a gyrus temporalis superior. Kromě rozložení jednotlivých funkcí také nebyl vyzkoumán kompletní proces komunikace mezi těmito jednotlivými částmi mozku, ani není jednoznačný výzkum, jaká by nastala reakce při vyřazení jednoho z nich. Další výzkum (Baier, 2012) se zabýval anatomickým umístěním léze po mrtvici u pacientů s deviací SVV. Zde byly nalezeny anatomické struktury (cortex insularis, operculum Rolandi, gyrus frontalis inferior u levostranných, cortex insularis, gyrus frontalis inferior, gyrus temporalis superior u pravostranných lézí), které prokazatelně souvisí s náklonem SVV.

#### ***1.1.4.4 Ostatní dráhy v CNS***

Vzhledem k podstatné funkci vestibulárního systému v rámci SVV bereme za potřebné vyjmenovat i zbylé eferentní projekce vestibulárních jader dle Vrabce (Vrabec, 2002).

Vestibulomesencefalická projekce zabezpečuje koordinaci extraokulárního svalstva a svalů krční oblasti. Vzestupná vlákna končí v jádrech okohybných nervů homolaterálně i kontralaterálně, sestupná míří do krční míchy.

Vestibulospinální projekce posturálně stabilizuje hlavu a tělo v prostoru vůči gravitaci, jejíž směr je určován stimulací makul otolitového systému a polohou hlavy. Vestibulární analyzátor není schopen odlišit náklon hlavy od náklonu celého těla, tuto funkci má zrakový a somatosenzorický systém. Vestibulospinální projekce se skládá se ze dvou traktů. Laterální trakt představuje ipsilaterální projekci neuronů laterálního vestibulárního jádra. Je ovlivněn impulzy z propioceptorů, somatosenzorického systému a z otolitového systému. Svou aktivitou excituje spinální motoneurony extenzorů končetin, současná inhibice flexorů končetin je způsobena lokálním reflexním obloukem. Mediální trakt představuje bilaterální projekci mediálního laterálního a dolního vestibulárního jádra. Skrze ně je trakt ovlivněn impulzy z oblastí canales semicirculares. Má excitační i inhibiční funkci.

Vestibulookulární projekce je podkladem pro existenci VOR, který je významným ukazatelem propojení zrakového systému s vestibulárním. Horizontální pohyb očních bulv je závislý na propojení vestibulárních jader s jádry n. oculomotorius a n. abducens. Vertikální rotační a diagonální pohyb očních bulbů je závislý na propojení vestibulárních jader s jádry n. oculomotorius a trochlearis. VOR je kompenzační reakce bulbů na pohyb hlavy, skládající se z tříneuronového oblouku. Začíná na primárním vestibulárním neuronu, pokračuje přes sekundární vestibulární neuron k okulomotorickým motoneuronům, tvořícím poslední část. Díky pomalé složce VOR je možné stabilizovat obraz na sítnici při pohybu hlavy, neboť indikuje opačný pohyb bulbů v rovině shodné s rotací, díky jeho rychlé složce jsme schopni fixovat pohled na sledovaný objekt. Dle toho, který z canales semicirculares či jejich kombinaci, která je při stimulaci reálným pohybem prakticky vždy přítomná, je stimulován, může být odvozován výsledný pohyb bulbů. K VOR otolitového systému dochází při stabilizaci cíle při pohybu hlavy nebo při změnách vzdálenosti oka a cíle. Tento reflex je polysynaptický a nastupuje s větší latencí. Díky souhře vestibulárního systému a visu je umožněno stabilizovat obraz předmětu zájmu v zorném poli. Pokud frekvence pohybu cíle klesne pod 0,1 Hz, labyrint není schopen detekovat pohyb správně a výsledkem je rozmazané vidění.

Všechny neurony vestibulárních jader zpracovávají i informace z optokinetického systému. Pohyb obrazu na sítnici stimuluje ganglionární buňky, které impulz přes retikulární formaci zasílají do vestibulárních jader. Tento systém je ovšem nepřesný například pro rozpoznání, zda se pohybuje okolí nebo pozorovatel.

### ***1.1.5 Ostatní aspekty rovnovážného systému***

Dle Horaka (Horak, 2006) je rovnovážný systém ovlivňován dalšími funkcemi: zkušeností a strategiemi jednotlivých jeho součástí. To se promítá v několika faktorech, stejně jako se v nich promítají některé jednotlivé nemoci. V tomto směru nebyly publikovány vědecké výzkumy, nakolik jsou dané aspekty odráženy ve výsledcích SVV.

### ***1.1.5.1 Biomechanická omezení***

Jedním z důležitých faktorů pro udržování posturální stability je velikost a „použitelnost“ styčné plochy se zemí (nohou). Dle schopnosti jedince posunovat své těžiště v rámci báze a přesnosti rozpoznání jejích hranic se odvíjí jeho schopnost stability. V odhadování limitů hrají důležitou roli bazální ganglia, proto lidé s Parkinsonovou chorobou mají problémy se stabilitou. V tomto ohledu se zrovna u této choroby můžeme pozastavit, protože je známo, že SVV u Parkinsoniků koreluje s velikostí instability (Pereira, 2014).

### ***1.1.5.2 Strategie pohybu***

Dalším faktorem ovlivňujícím stabilitu je strategie a její rychlost v případě, že hrozí, že se těžiště ocitne mimo opěrnou bázi. V takovou chvíli jedinec využije strategii kotníkovou, kyčelní či krokovou. Kotníková strategie bývá používána při pomalém a drobném vychýlení. Kyčelní strategie je využívána, když vzniká potřeba velmi rychlého posunu těžiště a zároveň není umožněn pohyb nohou. Kroková strategie je využita v ostatních případech, při větším vychýlení (Horal, 2006).

V oblasti souvislosti strategie pohybu a SVV nebyly možné souvislosti předmětem vědeckého výzkumu.

### ***1.1.5.3 Strategie v rámci preference systémů aferentace***

U zdravých osob je preference informací z jednotlivých systémů v přirozeném prostředí v poměru 7:2:1 od somatosenzorického ku vestibulárnímu ku vizuálnímu systému. V případě nepříznivých či jinak pozměněných vnějších podmínek, například když je člověk na nestabilní ploše, se preference se mění. Zde například stoupá podíl vestibulárního a vizuálního systému a somatosenzorický klesá (Peterka, 2002). Rychlost přehodnocení důležitosti jednotlivých systémů dle okolních stimulů je výrazným rozdílem ve výsledné stabilitě. Problémy tohoto charakteru se vyskytují u pacientů s poškozením jednotlivých systémů, u kterých se nedá předpokládat plná rychlost aferentace při změně, nebo u pacientů, kteří mají poškozený CNS (například pacienti s Alzheimerovou chorobou) a proto se přehodnocení děje zpomaleně (Horak, 2006). Preference jsou ovlivněny i samotnou činností, ke které se rovnovážný systém vztahuje. Při studii v různých posturálních polohách, ve které byla určována SVV a také vnímání, co je „nahore“ a co „dole“, se ukázalo, že zatímco SVV je více ovlivněna gravitačním vektorem, orientace „nahore“ a „dole“ byla více ovlivněna vizuálním pozadím (Dyde, 2006). Z toho vyplývá, že vnímání zdánlivě stejných činností může být více ovlivněno různými faktory i u SVV.

### ***1.1.5.4 Orientace v prostoru***

Orientace v prostoru je podstatná pro udržení těžiště v rozmezí opěrné báze. Zde se projevuje preference vstupů dle okolních podmínek. Jedním z podstatných určujících mechanismů je schopnost gravicepce. V jejím rámci jsme schopni určit vertikálu zrakem, hmatem či posturálně (vertikála vlastního těla) (Horak, 2006). Jednotlivé „druhy“ vertikál nemají stejný původ určení, neboť při některých chorobách se poruší vnímání jen jedné z nich. Například při jednostranné poruše vestibulárního systému dochází k poruše určení SVV a SPV je nedotčená (Anastasopoulos, 1997), zatímco u osob s neglectem po mrtvici dochází k poruše SPV ačkoli určení SVV je v normě (Karnath, 1998). V obou případech ve výsledku dochází k poruše rovnováhy.



#### ***1.1.5.5 Stabilita v dynamice***

V pohybu dochází k největším nárokům na rovnovážný systém, především při změně poloh. Ta je u zdravých osob dána projekováním těžiště do opěrné báze. Při chůzi se těžiště promítá do právě došlapujícího chodidla, při manévrech ve frontální rovině záleží na laterální stabilitě trupu a kladení nohou. U starších lidí je instabilita výraznější kvůli většímu laterálnímu posunu těžiště (Horak, 2006).

Srovnání pro SVV můžeme provést v podobě dynamických SVV testů, které sice neprobíhají pohybem subjektu, ale pohybem vizuálního okolí. Dynamické testování SVV má větší senzitivitu, zatímco statické testování má lepší specifitu (Faralli, 2007). Také výsledky dynamického testu SVV se zhoršují, na rozdíl od statického, s věkem (Kobayashi, 2002). Z toho lze odvozovat, že v pohybu dochází k větším nárokům i na percepci SVV.

#### ***1.1.5.6 Kognitivní složka***

Další významnou složkou je náročnost jednotlivých posturálních úkonů. Čím náročnější pozice či pohyb je, tím obtížnější je i její provedení a udržení stability. U osob, které mají kognitivní deficit, může posturální kontrola zabírat větší procento kapacity, což se může snadno odrazit při kombinaci pohybu s jinými kognitivními úkoly (Horak, 2006).

Měření SVV zároveň se kognitivním úkonem zatím nebylo vědecky testováno, tudíž ovlivnění percepce SVV kognitivními úkoly není známe.

## 1.2 Patologie rovnovážného systému

Dysfunkce rovnovážného systému se projevuje u pacientů mnoha symptomy. Vážnou komplikací při porovnávání patologií je fakt, že rovnovážný systém je redundantní, tj. funkce jednotlivých částí systému se částečně překrývají (Truc, 2007). Důsledkem je, že při výpadku jednoho systému je možnost částečné či úplné kompenzace systémem jiným. Taková kompenzace u některých poruch bývá běžná pro většinu pacientů, ale i zde mohou být výjimky. Stejně tak existují poruchy, u kterých kompenzace nabývají různého charakteru. Příkladem běžné kompenzace mohou být pacienti s neurologickými poruchami aker, kteří mají zvýšenou citlivost vestibulárního systému (Horak, 2001). Jiní pacienti mohou dávat přednost kompenzační pomůcce, která splní tentýž účel – mít jistější pocit stability. U seniorů vidíme, že zdánlivě stejné problémy s jednotlivými systémy mohou vyústit v jiný obraz stability.

Proto nelze očekávat, že v přítomnosti instability by bylo možné přijít jediným testem na danou příčinu, stejně jako při zjištění abnormálních hodnot v jednom testu stability neznámá, že se daného problému neúčastní více prvků. Proto je nezbytné se zabývat fyziologickou stránkou rovnovážného systému, neboť rozebíráním jednotlivých funkcí a dějů lze později rozklíčovat, jak, kdy a podle čeho je rovnovážný systém schopný kompenzovat své poruchy, stejně jako lze lépe odvozovat případné nevykompenzovatelné poruchy a předcházet jim samotným nebo rizikům z nich plynoucích (Horak, 2006).

Poruchy stability mohou být výsledkem kteréhokoli z daných systémů. Funkce rovnovážného systému se zhoršuje se stárnutím, i u lidí, kteří jsou relativně zdraví, natož u těch, u kterých je jasné, ve kterém ze systémů, podílejících se na výsledné stabilitě, došlo k patologii.

Právě kvůli velkému množství systémů podílejících se na rovnováze by se všechny rozборы patologií jednotlivých subsystémů do této bakalářské práce nevešly. Proto zde rozebíráme příznaky poruchy jen u několika systémů. Vestibulárního systému, jehož spojitost se SVV a s rovnovážným systémem je prokázána, a u kterého dochází ke specifickým příznakům při jeho poruše. Další prozkoumanou, ač nedokonale, částí s velkými dopady na SVV a rovnovážný systém je propioceptivní systém, proto zde jsou nastíněny i patologie a příslušné testy pro senzomotorický systém. Snadné a zároveň velmi podstatné je otestovat cerebellum, jehož funkce je pro rovnováhu nenahraditelná. Ostatní části CNS (kortex, retikulární formace atd.) jsou svojí funkcí tak komplexní (Mancini, 2010), že její patologie zde rozebírány nebudou. U zrakového systému je množství možných patologií velké a testování v mnoha případech složité, proto zde budou rozebrány dopady patologií zraku pouze jako celku.

### ***1.2.1 Testování rovnovážného systému***

Diagnostiku provádíme vyšetřením rovnovážného systému jako takového a posléze i jednotlivých systémů na něm se podílejících.

Testování je většinou zaměřené na riziko pádu a na potřebu rehabilitace instability, ale nezaměřuje se na příčinu, která, jak už je z výše uvedených systémů patrné, může být velmi různorodá. Zaměření na pády je pochopitelné, vzhledem k rizikovosti úrazů s pády spojenými, které mohou končit imobilizací, po kterých je větší riziko úmrtnosti, deprese, dalších zranění a inaktivity, což ovlivňuje nejen jedince, ale i společnost.

Dle Manciniho a Horaka (Mancini, 2010) by ideální test stability měl obsahovat testování funkčních schopností, kvalitu posturálních strategií, měl by být citlivý k prezenci abnormalit posturální kontroly a v případě její přítomnosti určující, o jaký deficit se jedná, měl by být důvěryhodný a validní a ideálně praktický a levný. Klinicky se testy strefují do 3 cílů: funkčních, fyziologických a kvantitativních kvalit.

Funkční testy zaznamenávají, v jakém stavu je rovnováha pacienta a jak se mění s vnější intervencí. Tyto testy jsou podstatné pro pozdější klinické využití testování SVV proto, že poukazují na prezenci instability, kterou je poté možné dovyšetřit některým ze specializovaných testů (např. právě test SVV) pro lepší přiblížení příčiny. Mancini a Horak vytvořili přehlednou tabulku těchto testů. Vzhledem k tomu, že nejsou dost úzce spjaté se SVV, nepovažujeme za nutné rozebírat jednotlivé testy do detailu.

Systémový přístup je používán ve chvíli, kdy funkční test dokázal přítomnost instability. Jeho hlavním cílem je přiblížit problém, kvůli kterému instabilita vznikla, aby byl lépe terapeuticky řešen. Stále se ovšem pohybuje v obecných okruzích, které neurčí přesnou příčinu daného problému.

Kvantitativní, jinak řečeno objektivní, metody jsou vhodné právě pro objektivizování instability. Jejich výhodou je, že tyto metody jsou nezávislé na vyšetřujícím, škála je jednoduše určitelná a má výbornou citlivost na změny. Podle přizpůsobení testu (zavření očí pro vyloučení zrakové kontroly, vibrace povrchu pro vyloučení propriocepce) můžeme v některých případech blíže usuzovat oblast problému, ale ani tato metoda nepřibližuje více do detailu patofyziologický podklad přítomné instability. Mezi kvantitativní testy patří statická a dynamická posturografie a vnitřní senzory obsahující gyroskop.

Poté je potřeba se věnovat jednotlivým systémům a jejich poruchám, které mají různý dopad na rovnováhu.

### ***1.2.2 Poruchy zraku***

Zrakové dysfunkce se pojí s větší posturální instabilitou a větším rizikem pádu (Schwartz, 2005), zvláště u starých lidí. Při simulaci zrakových dysfunkcí byl zjištěn dopad nejen na zrakový systém, ale i na ostatní složky rovnovážného systému.

Za stabilitu je odpovědné periferní vidění spíše než centrální (Friedrich, 2008). Dále bylo prokázáno, že při pomalých pohybech očí dochází k větší posturální instabilitě, která není způsobená skluzem obrazu z fovey (Glasauer, 2005), další studie poukazuje, že i při drobném pohybu obrazu je stále posturální kontrola lepší než při zavřených očích s tím, že využití aferentních informací se s větším pohybem snižuje (Ravaioli, 2005) a že stabilitu také ovlivňují snížené vnímání kontrastů a zhoršené podmínky pro vidění, jako je například tma, u které je dle výsledků studie výhodnější mít oči zavřené (Hafström, 2002). Další poruchou vidění, která ovlivňuje posturální kontrolu, je ametropie (Friedrich, 2008).

Jak už bylo zmíněno v kapitole 1.1.1 a 1.1.4.4., oko-hybné svaly jsou úzce propojeny s vestibulárním systémem. Při stimulaci vestibulárního centra elektrickým proudem docházelo k oční torzi, s horním pólem bulvy vždy směrem k anodě (Watson, 1998). Dle Böhmera (Böhmer, 1995) není spojitost u oční torze a určování SVV určující, neboť to závisí na samotné diagnóze. Zatímco u akutních unilaterálních vestibulárních příhod jsou OT a SVV provázané, u chronických vestibulárních poruch se OT nevykompenzuje, zatímco SVV dokáže být plně kompenzována.

### ***1.2.3 Poruchy vestibulárního systému***

Patologie vestibulárního systému dělíme dle Amblera (Ambler, 2006) do dvou obsáhlejších syndromů.

Periferní vestibulární syndrom (harmonický vestibulární syndrom) vzniká při postižení labyrintu a vestibulárního nervu. Je charakterizován rotační závratí, horizontálně rotačním nystagmem stupně II až III, a stavem, kdy všechny tonické úchyly stejně jako pomalá složka nystagmu mají jeden směr. Někdy je přítomen tinnitus a porucha sluchu. Je pozitivní korelace mezi intenzitou závratí a nystagmem. U oboustranných lézí dochází k mírnější formě závratí. Vyskytuje se u Meniérovovy choroby, při zánětlivých infekcích, akutních labyrintových dysfunkcích, při zoster oticus nebo toxickém postižení n VIII či při vaskulárních lezích.

Centrální vestibulární syndrom vzniká při postižení jader a drah. Také se označuje jako disharmonický, neplatí u něj žádná shoda směru ani korelace mezi nystagmem a vertigem. Vyskytuje se u různých lézí mozkového kmene, při zánětech či tumorech, může být vyvolán i z oblasti krční páteře při kompresi a. vertebralis. K závratím dochází i při poruše propioceptivních mechanismů v intervertebrálních kloubech krční páteře a to i při funkčních blokáдах bez strukturálních změn.

Každý z příznaků má své specifické vlastnosti a poukazuje na jiný problém. Funkcí vestibulárního systému je udržování rovnováhy, regulace svalového tonu a koordinace pohybů hlavy a očí.

Každá vestibulární patologie má určitý dopad na percepci vertikály, bohužel dopad je u jednotlivých chorob velmi různý, proto je stručně shrnut v příloze č. 1.

### **1.2.3.1 Vertigo**

Jde o subjektivní vjem porušené rovnováhy a orientace v prostoru, pocit rotace nebo nejistoty. Často je doprovázeno vegetativními poruchami, tj. nauseou, zvracením, pocením či bledostí. Dělíme je na rotační („svět se točí kolem“) a poziční („nejistota v prostoru“, „houpání“) (Ambler, 2006).

Poruchy s vertigem můžeme dle Vrabce (Vrabec, 2007) dělit do více okruhů: periferní vestibulární syndrom, centrální vestibulární syndrom, systémové postižení, fyziologické vertigo a psychogenní vertigo. Každé vertigo má svůj specifický obraz.

Vertigo u periferního vestibulárního syndromu je rotační, s jasným vjemem pohybu. U centrálního vestibulárního syndromu je vjem spíše houpavý, je přítomen pocit instability. U systémového onemocnění je pocit jako při opilosti, útlumu. Fyziologická závrať je pohybovou iluzí, bývá provokovaná při typických situacích. Psychogenní závrať bývá nejistě popsána, bývá spojena s psychickou zátěží, s aktivitou či určitým prostředím.

### **1.2.3.2 Nystagmus**

I v současné době velmi úzce specializovaných vyšetření patří vyšetření nystagmu mezi základní diagnostické složky u poruch labyrintu (Černý, 2017).

Dle Amblera (Ambler, 2006) je nystagmus rytmické kmitání očních bulbů s rychlou a pomalou složkou. Konvenčně je označován směr nystagmu dle rychlé složky, ale patologická je složka pomalá. Dle směru rozlišujeme nystagmus horizontální, rotační, vertikální, diagonální a alterující (měnící směr). Dle amplitudy jej dělíme na hrubý a jemný, dle frekvence na pomalý a rychlý. Dysrytmický se vyskytuje u mozečkových poruch. U horizontálního určujeme 3 stupně intenzity: I. při krajním pohledu ve směru rychlé složky II. i při pohledu přímo III. i při pohledu na opačnou stranu než je rychlá složka. Častý bývá oboustranný nystagmus I. stupně. Spontánní nystagmus je patologický a je známkou vestibulární nebo vestibulocelrebelární léze. Monofázický nystagmus s oběma složkami stejnými bývá hlavně očního původu nebo kongenitální. Fixační nystagmus se objevuje nakrátko při pohledu do strany i u neurotiků a nebývá považován za patologii.

Černý (Černý, 2017) popisuje, že dále se pohyby očí dovyšetřují elektronystagmografií (ENG) a videookulografií (VOG).

ENG se provádí elektrodami, které jsou nalepené po stranách orbity. Díky jejich statice vytvoří korneo-retinální potenciál záznam.

VOG je v současné době populárnější, především díky lepší manipulovatelnosti a díky zachycení pohybu očí ve všech směrech, tj. i rotačního nystagmu, jehož záznam ENG neumožňuje.

### **1.2.3.3 Tonické úchylny končetin**

Tonické úchylny končetin se projevují jako Hautantův příznak, Baranayův příznak, Rombergův příznak v nejtěžších případech až pádem. Při chůzi dochází k jednosměrnému uchylování. U lehčích poruch vyšetřujeme chůzi podle Unterbergera (Ambler, 2006).

### **1.2.4 Poruchy čítí**

Při podezření porušení periferních funkcí, tj. aference, vyšetřujeme veškeré periferní čítí. Vyšetření vnímání nocicepce provádíme ostrým píchnutím jehlou, vnímání dotyku vatou nebo štětečkem, čítí pro teplo a chlad zkumavkami s teplou a studenou vodou, vibrace rozkmitanou ladičkou, polohocit a pohybocit pohybem v příslušném segmentu. Fenomény dělíme na negativní (snížené vnímání) a pozitivní (bolest, mravenčení).

Mezi jednotlivé poruchy čítí patří parestezie (abnormální pocity spontánní i provokované), dysestezie (nepříjemné pocity včetně bolesti), hypestezie (snížené vnímání), hyperstezie (zvýšené vnímání), anestézie (úplná necitlivost), hypalgézie (snížené vnímání bolesti) hyperalgézie (zvýšené vnímání bolesti), alodynie (bolestivé vnímání nebolestivých podnětů), hyperpatie (širší pojem pro abnormálně bolestivou reakci na opakovaný podnět se změněným prahem pro bolest) (Ambler, 2006).

## **1.3 Určení vertikály**

Určení vertikály vzniká jako důsledek interakce jednotlivých orgánů podílejících se na rovnovážném systému.

Subjektivní určení vertikály bývá u zdravých jedinců velmi přesné. Zkoumají se tři typy subjektivní vertikály: zraková (SVV), posturální (SPV) a haptická (SHV).

### ***1.3.1 Subjektivní haptická vertikála***

Je pojmenovaná podle anglického „haptics“ – aktivního hmatového čítí. Pro jeho fungování je potřebná souhra mezi motorickými a senzorickými signály, které v tomto případě vytváří jiné signály než při pasivní stimulaci kůže (Purves, 2004). Umět určit subjektivní haptickou vertikálu (SHV) je schopnost uchopit, držet a manipulovat objekty s vyloučením zrakové kontroly do vertikály. Využívány jsou k tomu především proprioceptivní vstupy. Normální hodnoty u zdravých subjektů se pohybují v rozmezí  $\pm 4^\circ$  od vertikály (Čakrt, 2015).

### ***1.3.2 Subjektivní posturální vertikála***

Je schopnost určit vertikalitu vlastního těla. Měří se opět bez zrakové kontroly, vsedě tak, že je subjekt nakloněn i s židlí ve frontální či sagitální rovině a za pomalého pohybu (max  $1,5^\circ$  aby nebyly drážděny canales semicirculares) tázán, kdy se nachází ve vertikále (Bronstein, 1999).

Hlavními jejími určujícími faktory jsou nejspíše propriocepce, taktilní čítí a viscercepce v trupu. Určování SPV se stává nepřesnějším s vyšším věkem i u zdravých subjektů (Barbieri, 2010).

Normální hodnoty SPV se u zdravých subjektů dle Bergmannové (Bergmann, 2015) pohybují ve frontální rovině od  $-1,6^\circ$  do  $1,2^\circ$ , v sagitální od  $-1,7^\circ$  do  $2,3^\circ$ .

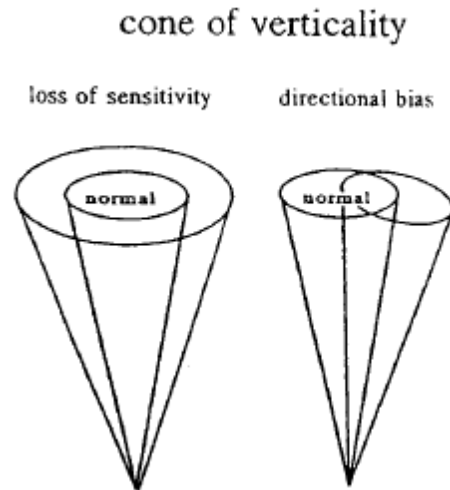
### ***1.3.3 Subjektivní zraková vertikála***

Jak už bylo výše napsáno, nemá SVV celosvětově ucelenou definici. My si ji nadefinujeme jako schopnost určit vertikalitu nakresleného či v prostoru přítomného objektu (většinou čáry) se zamezením vidění okolí, aby subjekt nebyl ovlivněn vnějšími podmínkami. Jako normu pro zdravé subjekty považujeme odchylku nejvýše  $\pm 2^\circ$  od objektivní vertikály.

Dle Böhmera (Böhmer, 1995) je schopnost percepce SVV obdobná jako u subjektivní zrakové horizontály.

Chybné určení SVV se projevuje buďto jako snížená citlivost, anebo celkově posunuté vnímání vertikály. V prvním případě subjekt vnímá jako vertikálu i značně nakloněné čáry oběma směry, zatímco v druhém případě určuje vertikálu konzistentně v jednom směru, který ale není shodný s objektivní vertikálou.





**Obrázek 5: Vlevo rozšířené vnímání vertikály, vpravo absolutní náklon vertikály (Bronstein, 1995)**

Většina světové vědecké práce se věnuje statické SVV, ale také je možné testovat vnímání SVV při točivém pohybu okolí, tzv. dynamickou SVV. Při pozitivní zkoušce dochází k deviaci směrem ke směru pohybu. Podstatná je například u bilaterální poruchy labyrintu, kde statická SVV vychází v rámci normy, ale dynamická SVV má u těchto pacientů mnohem větší zkreslení. Důvodem je pravděpodobně absence informací z otolitového systému.

Další práce zkoumají schopnost určit SVV při náklonu těla (Bronstein, 1999). Ta bývá zkreslena i u zdravých pacientů, u pacientů s oboustrannou vestibulární poruchou dochází k větší citlivosti na náklon. Největší dopad na určování SVV v náklonu má anestezie. Ve chvíli, kdy má pacient těžký deficit citlivosti v kombinaci se ztrátou propriocepce, není schopen, zvláště při náklonu na postiženou stranu, určit SVV prakticky vůbec (koeficient variace na zdravé straně byl ve studii 40, na straně hemianestetické bezmála 2000).

Jediným orgánem specializovaným přímo na určování směru gravitace jsou otolitové orgány. Jsou proto nejpodstatnějším ukazatelem, jak odvozujeme směr gravitace. Při udržení rovnováhy při absenci zrakového vjemu (ve tmě), při pohybu s absencí rotace, která by aktivovala canales semicirculares, a i při vyřazení propriocepce, kdy za tímto účelem byly provedeny pokusy s vnímáním SVV ve vodě, je člověk stále schopen určit vertikálu (Tarnutzer, 2009)..

Schopnost určit SVV je nezávislá na pohlaví a věku (Čakrt, 2015; Kobayashi, 2002; Celis-Aguilar, 2017), U věku jde o tvrzení spekulativní, neboť jiné studie ukazují, že dynamická SVV se s lety zhoršuje (Kobayashi, 2002), že mladí dospělí mají tendence spíše deviace po směru hodinových ručiček, zatímco staří dospělí proti směru hodinových ručiček (Braem, 2014), a že u starších lidí dochází k větší nejistotě při určování SVV (Baccini, 2014). Dle jiné studie děti nejsou schopny určit SVV stejně přesně jako dospělí, pravděpodobně kvůli nedozrálosti mozku a kvůli menší míře udržení pozornosti (Gaertner, 2013). Také jednotlivé složky podílející se na gravicepci s věkem zhoršují svoji citlivost, což by mohlo způsobovat větší chybovost v určování vertikály (Barbieri, 2010).

Při určitých situacích je přímé vnímání gravitace otolitovými orgány chybné. Při pokusech bylo při náklonu  $120 - 135^\circ$  zjištěno, že určování SVV je nejchybovější, blíže k pozici hlavou dolů ( $180^\circ$ ) byla SVV opět určována lépe. Dle konstantní chybovosti v určitých úhlech byl popsán Augbertem v roce 1861 A-efekt a Muellerem v roce 1916 E-efekt.

A-efekt nastává při náklonu mezi  $60^\circ$  a  $130^\circ$ , kdy není náklon dostatečně vykompenzován a výsledkem je sklon vnímání vertikály ke směru náklonu. E-efekt nastává při náklonu nižším než  $60^\circ$ , kde je vertikála překompenzována a výsledně udávána se sklonem na stranu opačnou. Až v osmdesátých letech se začalo zabývat náklonem mezi  $135^\circ$  a  $150^\circ$ , kde se ukázalo, že je náklon v tomto rozmezí opět překompenzován (Tarnutzer, 2009).

Vědecké studie se neshodují na příčině těchto fyziologických odchylek od SVV. Jedna z teorií říká, že jsou odchylky z důvodu somatosenzorických vstupů spíše než vestibulárních, čehož důkazem jsou měření na pacientech s bilaterální vestibulární poruchou, kteří mají skoro dvojnásobnou odchylku než zdravé subjekty. Další teorie tvrdí, že zkreslení je kompromisem mezi gravitační silou a osou vlastního těla. Bronstein (Bronstein, 1999) ve své studii uvádí, že u pacientů s hemihypestezií při náklonu na postiženou stranu docházelo k absenci A-efektu, čímž potvrzuje teorii, že tyto efekty jsou způsobeny somatosenzorickými vstupy.

Zrakový systém je schopen se do určité míry při náklonu adaptovat vestibulo-okulárním reflexem (VOR), při kterém dochází k rotaci oka proti směru náklonu (ocular counter roll, OCR). Adaptace je způsobená mimo jiné i funkcí mozečku. Při jeho výpadku se vyskytuje down-beat nystagmus, jehož výbavnost a síla vzrůstá s chybovostí určení SVV (Schwarz, 2015).

Jednotlivé typy subjektivní vertikály mají svá specifika. Při některých poruchách zdaleka neodpovídá velikost či vůbec přítomnost chyby v určení u jednotlivých typů vertikál vůči sobě, a to i u jediného pacienta. Příkladem je akutní unilaterální vestibulární deafferentace, kde pacienti nejsou schopni určit SVV, ale SPV jim nečiní obtíže. Zde se vyskytuje statická okulární torze (OT), odpovídající úhlem chybně určené SVV. Z toho vyplývá domněnka, že právě postižení způsobující narušení koordinace oka je jednou z možných příčin nekonzistence mezi určování jednotlivých typů vertikál (Böhmer, 1999; Bronstein, 1999). Proti této tezi hovoří výzkum ukazující, že u chronické unilaterální vestibulární hypofunkce se vyskytuje perzistentní patologická okulární torze, ale SVV je plně v normě. Z toho vyplývá, že ani nefunkční mechanismy oka nejsou jisté měřítko (Böhmer, 1999). Hypotéza neabsolutní závislosti je také uváděna u lézí CNS, které se týkají vestibulárních nervů, u nichž se vyskytuje deviace SVV, ale nenachází se u nich okulární torze (Bronstein, 1999).

Podstatným reflexem, zahrnujícím koordinaci SVV a oka, je OCR, který se fyziologicky vyskytuje při náklonu hlavy. OCR se projevuje jako mírná kompenzace náklonu hlavy, ale zdaleka nemůže náklon kompenzovat v plném rozsahu. Daný náklon ani nikdy nepřekompenzuje, což můžeme chápat jako určitý kontrast oproti SVV při náklonech. Tu se v daném náklonu také člověk snaží kompenzovat, avšak neúspěšně (A- nebo E-efekt, dle velikosti náklonu). Z disociace mezi OCR a SVV a u některých poruch naopak z přesné korelace mezi OT a SVV můžeme usuzovat, že nevědomý, otolity provokovaný reflex statické okulární torze a ovládání retiny významně ovlivňuje určení SVV, a zároveň, že existuje další zdroj informací o gravicepci z otolitů, který je nezávislý na mechanismech ovládajících retinu (Böhmer, 1999).

Další studie prokázala, že schopnost jedince určit SVV je po probuzení horší a přes den se zlepšuje, nejspíše i díky tomu, že při lokomoci dostává mozek více informací ze všech sektorů (Schwarz, 2015).

Taktéž v případě, že je člověk v jiné nakloněné neměnné pozici delší dobu, jeho určení SVV se postupně adaptuje blíže k objektivní vertikále. Z opačného úhlu pohledu jde o fakt, že okamžitě po náklonu vnímáme SVV s větší chybou (Schwarz, 2015).

Současné technologie nám umožňují lepší měření funkcí jednotlivých částí vestibulárního aparátu. Jsme schopni samostatně stimulovat jednostranně jednotlivé canales semicirculares i utriculus a sacculus. Navzdory tomu neexistuje jednotný ucelený celosvětový postup při podezření na poruchu vestibulárního systému. Při podezření na poruchu vestibulárního systému by nemělo chybět testování přítomnosti centrální složky, vizuálně provokované oční pohyby a testy labyrintové funkce (Černý, 2017).

## 1.4 Měření SVV

Podle Bacciniho (Baccini, 2014) lze na měření SVV obecně aplikovat dva způsoby dle psychofyzických paradigmat: buďto metodu přizpůsobení (method of adjustment) nebo metodu výběru z právě dvou možností (two-alternative forced choice).

Metoda přizpůsobení (zřídka také nazývaná metoda průměrné chyby) je založena na principu, že subjekt dostane srovnávací stimulus, který si přizpůsobí, aby odpovídal standardnímu stimulu (Gescheider, 1997). Srovnávací stimulus v tomto případě bývá nakloněná čára a standardní stimulus je vlastní vertikála. Ve výsledku se měří odchylka, kterou má subjektivní vertikála od reálné vertikály. Touto metodou je vedena většina prací zkoumajících SVV. Pod tuto kategorii měření také spadají obě metody použité v naší praktické práci: Bucket method i Visual Vertical Lite.

Metoda výběru z právě dvou možností je založena na principu zařazení srovnávacího stimulu do jedné ze dvou skupin. V případě měření SVV se tato metoda provádí tak, že je subjektu ukázána čára odkloněná od vertikály a subjekt určuje, jestli je odkloněna ve směru nebo proti směru hodinových ručiček. Čím menší je úhel odklonu, tím větší počet odpovědí bude špatný a nejistý (Baccini, 2014).

Je mnoho způsobů, jak technicky provést měření SVV. Mohou se lišit v použité technice a měřících přístrojích. Některé je možné aplikovat za světla, neboť mají jiný princip zakrytí okolního prostředí než tmu. Mohou se lišit čarou, která může být promítnutá či nakreslená nebo zobrazená. Také jsou odlišné požadavky na pacienta, kde může měřitelem být terapeut (například u pacientů s hemiparézou) nebo subjekt sám. V následujících odstavcích se podrobně věnujeme dvěma z možných metod, a ty jsou použity i v praktické části této práce.

### ***1.4.1 Měření metodou Bucket method***

Bucket method byla zavedena Zwergalem (Zwergal, 2009), který tento způsob měření navrhl jako levnou a jednoduchou alternativu měření SVV k metodě hemispheric dome. Hlavní výhodou oproti této předchozí, sofistikovanější metodě, jsou pohodlně malé prostorové nároky. Největší využití autor našel při měření u akutního vertiga, při kterém je test náklonu SVV senzitivní k periferním či centrálním poškozením graviceptivních drah, a také při podezření na ischemii v oblasti mozkového kmene.

Měřicím přístrojem je kbelík ze světlého plastu, který má zevnitř na dně nakreslenou rovnou čáru. S ní koresponduje zvnějšku na dně napsaný úhломěr.

Pacient je vyšetřován tak, že je posazen na židli, nohy má opřené o zem. Poté mu je vsedě přiblížen kbelík k obličeji tak, aby se vyloučila možnost ovlivnění výsledků vnějšími zrakovými vjemy. Poté je čára nastavena do vyšetřovatelem zvoleného úhlu, odkud je pacient úkolován, aby čáru srovnal kolmo k zemi. Existuje varianta, kdy si pacient kbelíkem otáčí sám, a varianta, kdy jím otáčí vyšetřující. Pro manipulaci pacientem je jasným argumentem možnost zvolit si rychlost otáčení, tudíž výsledky přesněji odpovídají pacientovu vnímání. Tato metoda je také rychlejší a jednodušší na provedení. Můžeme ale namítnout, že hmatové vjemy z otáčení mohou ovlivňovat vnímání, tudíž nejde čistě o test SVV. Také jsou rozpory, jestli užívat pozitivní a negativní hodnoty náklonu nebo chyby oběma směry zapisovat jako kladná čísla. Vzhledem k přítomnému počátečnímu náklonu čáry při každém měření můžeme také znaménkem odlišit hodnoty směrem k výchozímu náklonu a hodnoty na druhé straně vertikály. V těchto všech otázkách se do současné chvíle vědci neshodli, který způsob provedení je správný.

Rozptyl hodnot u zdravé populace také není přesně nadefinován, ale obvykle ve studiích odpovídá zhruba  $4^\circ$  odchylce (stanovuje se jako  $\pm 2^\circ$  nebo  $+3^\circ/-1^\circ$ ) (Celis-Aguilar, 2017).

### ***1.4.2 Měření metodou Visual Vertical***

Měření SVV mobilní aplikací není ve vědeckých člancích běžné. Do této chvíle byly publikovány dvě studie využívající měření na telefonu (Brodsky, 2015; Gnanasegaram, 2016). Zřejmě jediná aplikace pro měření SVV mobilním telefonem dostupná v současné době je Visual Vertical (Clear Health Media, Australia). Dosavadní studie s touto aplikací přesvědčivě neohodnotily její funkci pro měření SVV. Používáme ji i v praktické části této práce, a to ve verzi Lite.

Její podoba je jednoduchá – testující si zvolí 10, 15 nebo 20 vteřin, po kterou dobu je čára zobrazena, a při závěrečném pípnutí se vyhodnotí poslední úhel, v jaké byla čára na obrazovce držena. Samotná čára je červená na černém pozadí, rovnoběžná s hranami telefonu. Po uplynutí časové lhůty se na displeji objeví odchylka od vertikály, která je proti směru hodinových ručiček záporná, po směru hodinových ručiček kladná.

Aplikace je stavěná na to, aby telefonem otáčel pacient, ale nabízí se i možnost, aby telefonem otáčel i experimentátor. Také je možné umístit telefon na dno kbelíku, aby byly odstíněny vlivy okolí.

## 4 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část se zabývá srovnáním měřících metod Aplikace Visual Vertical Lite a Bucket method u zdravých probandů.

### 1.5 Testovaná skupina probandů

Testovanými subjekty byli muži a ženy (celkem 21 subjektů, z toho 10 mužů a 11 žen) ve věkovém rozmezí od 18 do 19 let (průměr 18,4; standardní odchylka 0,5), studující víceleté gymnázium. Všichni uvedli, že netrpí žádnou nemocí, která by mohla ovlivnit výsledek. U lidí nosících brýle bylo testování (s brýlemi) také provedeno. Všichni souhlasili s měřením.

### 1.6 Metody

Testovaly se metody Bucket method a Visual Vertical, viz kapitoly 1.4.1 a 1.4.2. Obě metody byly zkalibrovány pomocí olovnice s tím, že aplikace Visual Vertical měřila s odchylkou menší než  $0,2^\circ$ .

### 1.7 Testování

Testování probíhalo vždy binokulárně vsedě na židli bez opěrky rukou, s oporou nohou o zem. V případě Visual Vertical Lite programu probíhalo ve tmě v místnosti se zatemněnými okny, v případě metody Bucket method za světla.

Subjekt byl nejprve seznámen s testovacími přístroji a obeznámen, jak měření bude probíhat. Byl mu dán pokyn, ať řekne „ted“ nebo „stop“ ve chvíli, kdy bude mít dojem, že je „čára kolmá k zemi“. Testování bylo prováděno celkem šestkrát s každým ze subjektů, třikrát z obou směrů.

Samotné měření začínalo náhodným určením, kterou metodou bude subjekt začínat. Poté byl subjekt usazen na židli, v případě Bucket method byl ještě dodatečně dotázán, zda periferně nevidí okolí. Poté byl každou metodou šestkrát změřen, třikrát ze směru a třikrát z protisměru hodinových ručiček s počátečním sklonem nejméně  $20^\circ$ . Jednotlivé směry, ze kterých byla vertikála testována, byly určeny z důvodu možného ovlivnění výsledků (Pagarkar, 2008). V obou případech byl měřicí přístroj (kbelík, iPhone) držen v rukách testujícího, neboť chceme hodnotit měření, která lze provést na pacientech neschopných otáčet měřicím přístrojem.

Výsledné úhly byly zapisovány jako kladné ve směru hodinových ručiček a záporné v protisměru hodinových ručiček.



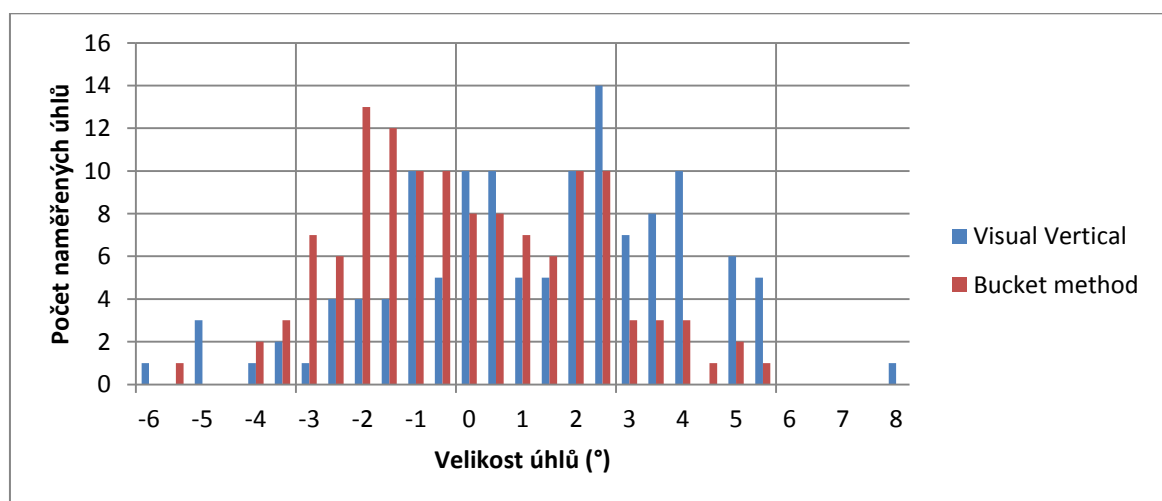
## 5 VÝSLEDKY

Nejprve se budeme věnovat úhlům v té formě, v jaké byly naměřeny, a ty srovnáme s výsledky získanými absolutní hodnotou úhlů. Takto výsledky dělíme, abychom počítali s vzdáleností od vertikály, nikoli se vzdáleností výsledků od sebe samých. Zatímco u výsledků bez absolutní hodnoty se mohou extrémnější odchylky zpřůměrovat na hodnoty blízké nule, při počítání s absolutními hodnotami toto zkreslení nastat nemůže.

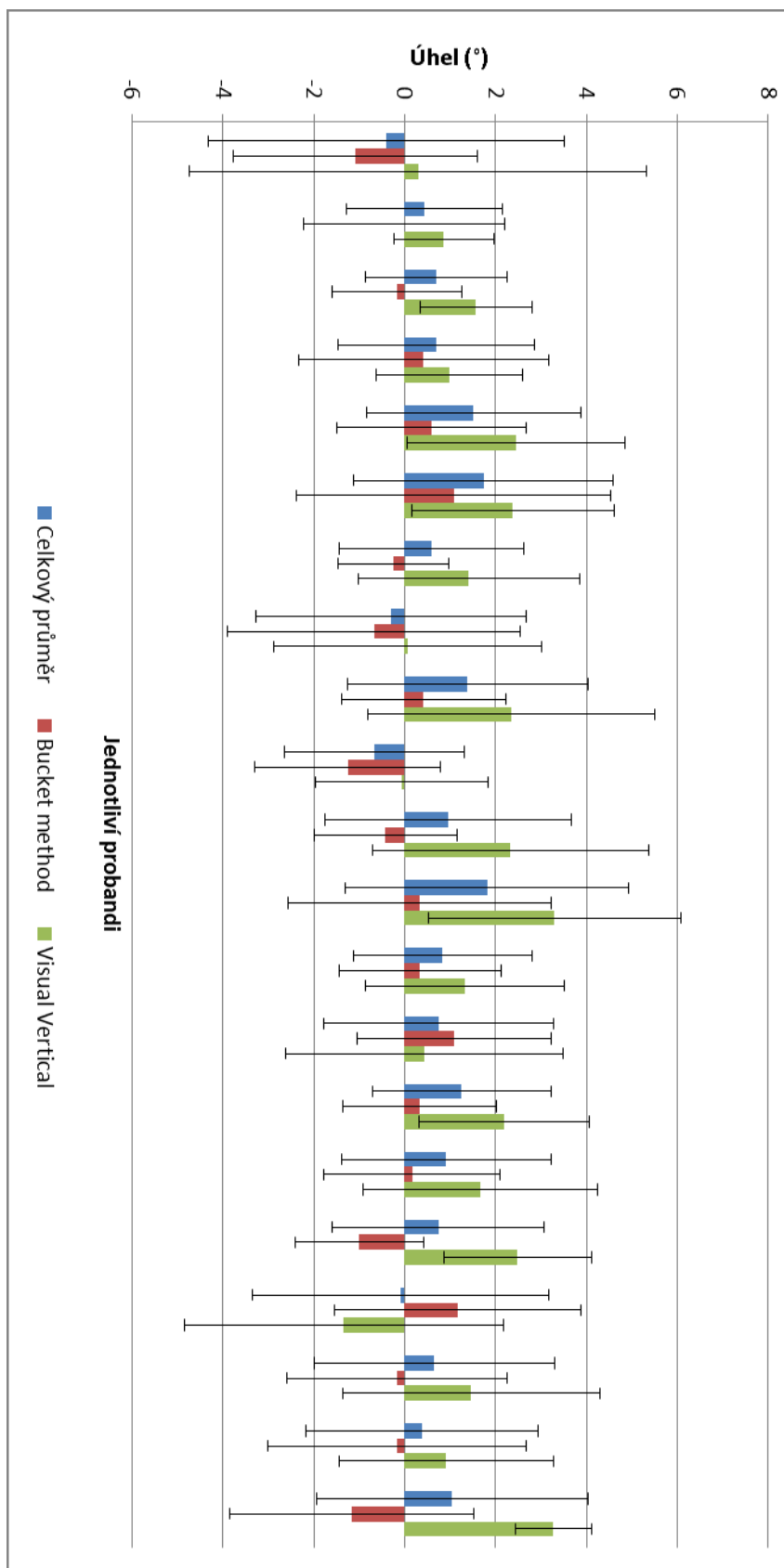
U hodnot v původní formě vyšly průměry SVV u Bucket method všem 21 subjektům do fyziologických mezí (tj. od  $-2^\circ$  do  $2^\circ$ ), zatímco u Visual Vertical vyšly u 8 subjektů mimo hranice fyziologické normy. Podrobné výsledky včetně směrodatných odchylek jsou znázorněny v grafu č. 2. Naměřeným úhlům dle párového t-testu odpovídá  $p = 0,00012$ , což je statisticky významné, tedy obě metody dávají zásadně různé výsledky. Pravděpodobnostní rozložení obou metod je patrné z grafu č. 1, který uvádí všechna měření bez souvislosti s jednotlivými probandy.

U úhlů v absolutní hodnotě vyšly v průměrech u Bucket method 8 subjektům hodnoty mimo hranice fyziologické normy, u Visual Vertical 15 subjektům vyšly hodnoty mimo fyziologické normy. V takovou chvíli vychází  $p = 0,0079$ , což je sice řádově jiný výsledek než u dat bez absolutní hodnoty, ale stále je statisticky významný.

U směrodatných odchylek v původních hodnotách úhlů je  $p = 0,434$ , což je statisticky nevýznamné. U absolutních hodnot vychází  $p = 0,0085$ , což statisticky významné je.



**Graf 1: Srovnání naměřených úhlů**



Graf 2: Průměry a směrodatné odchylky u jednotlivých probandů a metod

## 6 DISKUSE

Nejprve se budeme věnovat SVV jako takové a nedostatkům dosavadních poznatků o ní. Dále pokračujeme rozbořem metod jejího měření a aplikujeme jej na výsledky našeho vlastního měření. Závěrem se pokoušíme o shrnutí celkového přínosu SVV v medicíně.

Problémy u subjektivní zrakové vertikály jsou různorodé. Jedním z nich je, že u testování a porovnávání výsledků není dosaženo shody ve způsobu označování odklonů. V pracích se vyskytly různé způsoby: značení +/- podle toho, zda je odchylka po směru či proti směru hodinových ručiček, převádění odchylky na jednu stranu, aby byly všechny plusové, a jiné. Není žádná shoda o tom, jak by to mohlo být „správně“, tj. jednotným způsobem vhodným pro porovnávání výsledků mezi studii bez dodatečného čtení postupů a přepočtů výsledků.

Doposud nedostatečně řešenou problematikou zůstává, jak velký vliv mají které aferentní součásti rovnovážného systému na SVV. O otolitových orgánech, kterými se v této práci také zabýváme, je celkem přesně zdokumentováno, která porucha má jaké důsledky (Böhmer, 1999; Bronstein, 1999). Bohužel o co více je prostudován jeden pohled, v tomto případě vestibulární systém a jeho dopady na rovnováhu, o to více bývají pomíjené pohledy jiné. Bylo zjištěno, že některé funkce, které byly přisuzovány právě vestibulárnímu systému, ve skutečnosti více odrážejí vliv dalších struktur, např. proprioceptorů (viz A- a E-efekt u pacientů s hypstezií: Bronstein, 1999). Na visceroreceptorech, proprioceptorech aj. bylo provedeno studií ještě méně. Natož aby existovaly studie o sluchu a jeho graviceptivních schopnostech (vyjma spojení s poruchami vestibulokokleárního nervu: Ogawa, 2010; Buchman, 2004; Ibrahim, 2017), nociceptorech (opět vyjma ukazatele poruchy jednoho z prozkoumaných systémů: Madeleine, 2004; Soliman, 2017; Blouin, 2003). Zůstává otázkou, nakolik se v budoucích studiích podaří specificky oddělit původ a vliv jednotlivých zdrojů informací. Je rovněž nutné více se zaměřit na méně probádané smysly a jejich vztah k SVV.

S tím souvisí fakt, že ze samotného poznatku, že SVV je určena mimo rozsah fyziologických hodnot, se nedozvíme žádné další konkrétní informace. Při některých známých diagnózách dokážeme odvodit vztah instability s velikostí náklonu SVV (Pereira, 2014; Bonan, 2006; Crevits, 2007). Jindy dokážeme vyloučit, které choroby danou patologii nezpůsobují, např. při porovnání s chorobami, u kterých vertikála porušená není (např.: Crevits, 2012). Pro diferenciální diagnostiku ale měření SVV vhodné není, neboť je porušena v tolika možných případech chorob a z tolika možných příčin poruch různých systémů, že je spíše příznakem morbidity než nemoci konkrétní (viz Přílohu č. 1).

To nás posouvá k dalšímu faktu, a to, že věk na statickou SVV nemá znatelné dopady (Kobayashi, 2002; Celis-Aguilar, 2017; Čákr, 2015). Když provedeme experiment se seniory, kteří jsou relativně vůči svým vrstevníkům zdraví, pak zjistíme, že – navzdory horšímu zraku, sluchu, posturální stabilitě, percepci většině aferentních informací a větším sklonům k pádům – jsou schopni určit statickou SVV stejně dobře jako mladí zdraví lidé. Pokud je u určování SVV až taková adaptace, velká spolupráce systémů, zůstává otázkou, jak veliký deficit u jednoho ze spolupracujících systémů se musí vytvořit, aby vyústil v obecně veliké vychýlení SVV.

Nejtěsnější vazbu na poruchy SVV má rovnovážný systém. Největší výhodou rovnovážného systému, a pro nás zároveň velkým omezením, je, že do něj je zapojeno tolik částí. Díky možnému překrytí a adaptaci funkcí je možné některé poruchy vykompenzovat, ale mnohdy bývá určení problému poněkud složitější, protože než přijdeme na prapůvodní poruchu, dokáže ji jiný systém zadaptovat. I proto je možné, že chybně stanovíme systém způsobující instabilitu.

Už v současné době máme propojené nemalé množství aferentních vstupů i CNS spojů s rovnováhou. Věnovat se všem patologiím, které spadají pod „porušení vestibulárního systému“, natož dalších systémů, by vydalo na mnohasetstránkový atlas. Proto jsou v této práci zmíněny jen příznaky patologií, které nejčastěji způsobují poruchy SVV. Popis všech možných patologií souvisejících s možnou instabilitou by v současné době ani nebyl kompletní, vzhledem k nedokončenému výzkumu na tomto poli.

Jednou z nezodpovězených otázek je zpracovávání informací o rovnovážném systému v CNS (Kheradmand, 2015). V tuto chvíli dominují různé způsoby testování (včetně SVV) a díky nim některé spojitosti konkrétních mozkových jader či oblastí už známe, ale konkrétní přesné funkce budou jistě ještě nějakou dobu neznámé, vzhledem ke komplikovanosti mozku samotného, jak nám jej ukazují současné zobrazovací metody. I v současné době se teprve rozvíjejí postupy, jak získat nové informace o fyziologických funkcích mozku, zatímco informace o všech existujících patologiích jsou nejspíše v některých oblastech stále dalekou budoucností. Dokud nebudeme znát přesné fyziologické principy, na kterých je v mozku rovnovážný systém postaven, můžeme se obtížně a pouze nespécificky věnovat patologiím v těchto místech vzniklým. Proto zde chybí kapitola poruch CNS, navzdory tomu, že množství pacientů s nestabilitou z důvodu porušení nervových spojů či jiného patologického procesu při zpracování informací bude značné. I ve chvíli, kdy je SVV porušená u pacientů s roztroušenou sklerózou a Parkinsonovou chorobou (Crevits, 2007; Pereira, 2014), můžeme se spíše jen dohadovat, která chorobou zavzatá centra mohou za přítomnou instabilitu, či jaký princip nakládání s informacemi v CNS je porušen, tedy z jakého důvodu a na jakém principu je fyziologická funkce rovnovážného systému daného subjektu poškozená.

V tomto směru je nejasný vztah také u SVV a idiopatické skoliózy, u které se zjistilo, že dochází ke zkreslenému vnímání SVV a i dalších funkcí rovnovážného systému, přesto stále není jisté, na jakém principu toto zkreslené vnímání SVV a obecně dysfunkce rovnovážného systému vzniká (Yagci, 2018). Zatímco u ostatních poruch spojených s patologií SVV můžeme přibližně ukázat, která část rovnovážného systému je nefunkční nebo alespoň které příčiny za dysfunkci rovnovážného systému mohou, u idiopatických skolióz se mechanismus stále neví a přitom je evidentní spojení právě s rovnovážným systémem.

Za pozitivní trend můžeme považovat, že měření se začíná používat častěji, i když stále ne rutinně. Nepochybně se na tom podepisuje výše zmíněný fakt, že patologie SVV se vyskytuje jen u některých poruch a i v rámci těchto poruch někdy je a někdy není přítomna korelace například s instabilitou (viz Přílohu č. 1). Přesto považujeme za překvapivé, že navzdory jednoduché a levné alternativě (Bucket method) složitých a drahých strojů se měření SVV ještě nestalo běžným vyšetřovacím prostředkem neurologů, neboť jde o vyšetření rychlé a v případě patologie může v některých případech pomoci v diferenciální diagnostice.

Argumentem pro nízkou frekvenci využití může být náročnost výroby měřicího přístroje, který bývá stále vytvořen podomácku a zabírá určitý prostor. V tomto směru můžeme, zvláště se současnou rostoucí oblibou Apple přístrojů, doufat ve větší oblibu mobilní aplikace.

V současné době jsou aplikace, které jsou schopné změřit SVV pomocí samotného mobilního zařízení, vyvinuty pouze pro operační systém iOS. Jsou stále funkcí placenou, na druhou stranu patří mezi levné aplikace. Stálým problémem v tomto směru bude potřeba znemožnit periferní vidění, které tato aplikace dořešené nemá, pokud ji nechceme kombinovat s Bucket method. Stejně tak zůstává otázkou, jak moc lze věřit zdravotnický neověřenému přístroji, ale u telefonů společnosti Apple s operačním systémem iOS alespoň můžeme předpokládat, že všechny přístroje budou měřit se stejnou mírou spolehlivosti.

Složitou problematikou je věrohodnost měření. Obecně u měření metodou přizpůsobení (method of adjustment, viz kapitolu 1.4) je spekulace, jak moc a kolika faktory je výsledek ovlivněn. Lze brát v potaz rychlost otáčení čáry odkloněné od vertikály, délku samotné čáry, velikost počátečního náklonu (Baccini, 2014), a také směr, ze kterého je čára nakloněna. U posledně zmiňovaného faktoru už bylo prokázáno, že má vliv na výsledná čísla (Pagarkar, 2008), dokonce tím větší, čím větší je původní náklon (Baccini, 2014).

U Bucket method je další komplikací olovnice, u které musí testující čekat, dokud se neustálí v rovnovážném stavu, aby nebyly výsledné hodnoty zkreslené rozkmitem.

U mobilní aplikace je komplikací ještě více. Od faktu, že je aplikace částečně placená, přes nestálost nabídky aplikací pro iPhone (původní aplikace, se kterou jsme chtěli měřit, byla odstraněna dříve, než jsme ji stihli zakoupit). Není tedy jasné, jak dalekosáhlou budoucnost má aplikace, se kterou byl celý pokus naměřen.

Dalším problémem je úplné zatemnění. Pro měření této práce byla přístupná místnost se zatemněním, ale ne každý lékař či fyzioterapeut si ve své praxi bude počítat s takovým zázemím. V takovém případě bude nejspíše vhodná kombinace Bucket method a Visual Vertical.

Dále je u mobilní aplikace potřeba, aby testující osoba měla pevnou ruku nebo aby si pořídila otáčecí stojan, na kterém telefon bude připevněn a který nebude viditelný pro testovaný subjekt, zatímco s ním terapeut bude hýbat. V případě, že by subjekt měřil SVV touto aplikací sám, došlo by ke zkreslení SHV, protože se čára, kterou má pacient určovat, zobrazuje rovnoběžně s hranami mobilního telefonu. V takovém případě lze aplikaci využít na měření SHV při zavřených očích, kdy by pacient teoreticky měl být schopen určit vertikality „čáry“ (tj. telefonu) s obdobnou přesností. V případě měření SVV proto přístroj musí držet terapeut a jeho schopnost držet ruku nehybně do určené chvíle může být rozhodujícím činitelem pro realističnost a přesnost měření.

Jinou variantou je právě umístění telefonu na dno kbelíku, čehož využily obě dříve publikované studie (Brodsky, 2015; Gnanasegaram, 2016). V obou případech kbelíkem s přístrojem otáčely samy subjekty, což je, jak již bylo zmíněno, spekulativní po stránce ovlivnění SHV. Je zářezující, že jedna z uvedených studií ani neporovnávala měření pomocí Visual Vertical se žádnou zavedenou metodou a druhá se spokojila se srovnáním pomocí korelačního koeficientu. Korelace navíc vyšla 0,43, což je méně než polovina a tedy stále značí z větší části náhodné údaje.

V tomto směru také dochází ke kolizi ve výsledcích SVV u našich zdravých subjektů a kontrolních skupin obou studií. Zatímco se všechny subjekty kontrolních skupin obou studií vešly do normy SVV, v naší práci více než třetina subjektů normu překračovala. Rozhodující může být, že zatímco ve zmíněných studiích výsledek měřil sám subjekt pomocí otáčení kbelíku, v naší studii byly subjekty měřeny terapeutem bez uložení do kbelíku. K různým závěrům by pak mohlo dojít ze dvou důvodů.

Zprvé, měření mohlo být chybně provedeno. V takovém případě by ale měly vycházet výsledky mimo normu i u měření metodou Bucket method, neboť byla provedena stejným způsobem a stejným terapeutem, ale taková situace nenastala. Samozřejmě, že každá z metod má při provedení svoje specifika a k rozdílu mohlo dojít z jiných, neznámých příčin.

Druhou variantou je, že měření provedené subjektem a provedené terapeutem bude vždy dávat rozdílné výsledky. Kdyby k jejich ovlivnění docházelo kvůli komunikaci mezi terapeutem a subjektem, opět bychom očekávali zhoršené výsledky i u Bucket method. Zbývajícím rozdílem je jiné vnímání subjektu. To mohlo nastat z důvodu ovlivnění somatosenzorickým systémem při držení měřicí pomůcky samotným subjektem.

Jak již bylo řečeno, výsledky našich měření jsou poněkud neočekávané. Je evidentní, že mobilní aplikace zdaleka neukazuje v průměru tatáž čísla jako Bucket method. Zajímavé je podívat se na změny výsledků po uvedení nabíraných dat v absolutní hodnotě. Absolutní hodnota nám odstraňuje zkreslení, které je způsobeno směrem, ze kterého byl původní náklon při měření – sjednocuje hodnoty, aby byly srovnatelné, a dává vyniknout velikosti odchýlení od vertikály více, než odchýlení samotnému.

Uvažme jednoduchý hypotetický příklad dvou měření, kde bychom naměřili hodnoty  $2^\circ$  a  $-2^\circ$ . V případě průměru těchto hodnot bychom se dobrali k  $0^\circ$ , zatímco při převedení do absolutní hodnoty by průměr SVV subjektu byl  $2^\circ$ . Čím větší odklon od objektivní vertikály bude subjekt mít, tím výrazněji se to odrazí právě v absolutní hodnotě.

V našem případě ještě více ukazuje, jak moc se v tomto ohledu liší data získaná z obou metod měření. Měření po směru či proti směru hodinových ručiček v této práci neporovnáváme, neboť jeho základ by byl z velmi malého počtu měření u subjektů (3 měření pro každou metodu). Právě pro odstranění tohoto zkreslení jsme použili data s absolutní hodnotou.

Zatímco Bucket method byla použita v mnoha vědeckých pracích (např. Čákrť, 2015), měření pomocí mobilního telefonu bylo zmíněno výjimečně, navzdory tomu, že každý telefon s akcelerometrem je technicky schopen měření vertikály. Tento fakt je poněkud překvapivý, neboť zjednodušit a digitalizovat všechna měření je v současné době velký přínos. I proto jsme chtěli zkusit, jakým způsobem by mobilní aplikace mohla ovlivnit jednoduchost měření SVV. Při našich výsledcích bychom ale mobilní aplikaci Visual Vertical Lite nedoporučovali pro lékařské účely, nebo minimálně ne pro vyvozování závěru, zda je pacient v mezích normy SVV.

Problémem aplikace by mohla být nepřesnost naměřených hodnot, způsobená špatně nastaveným měřením úhlů, ale jak bylo při kalibraci ukázáno, zrovna u našeho přístroje od firmy Apple tento problém není přítomen, tudíž důvodem odlišnosti musí být jiné faktory, které nejsme schopni odhalit.



Vyšetřování SVV má ještě svoji budoucnost. Z některých publikací vyplývá propojení velikosti instability s náklonem SVV natolik, že by mohlo být měření SVV využitelné jako rychlý test aktuálního stavu stability u pacientů, kteří poruchu SVV mají (Bonan, 2007). Další z možných cest sledování SVV jsou spojitosti netýkající se vestibulárního systému. Vzhledem k relativní různorodosti chorob, u kterých se projeví patologie SVV (viz Přílohu č. 1), je politováníhodné, že většina článků se týká jednotlivých konkrétních poruch vestibulárního systému. Tendence výzkumu v poslední době směřují ke zjišťování, jakou funkci v rámci rovnováhy a SVV zastávají proprioceptory, a můžeme doufat, že se později tento trend dostane i k více studiím z oblastí visu, nociceptorů, sluchu apod. Také se v poslední době stává častěji, že se publikace zabývají i patofyziologickým procesem spíše než velkými změnami při patologiích.

I kdyby měření SVV pomohlo zodpovědět pouze fyziologickou stránku věci a pro diferenciální diagnostiku by se ukázalo jako nevhodné z důvodu záběru více systému najednou, bude jeho měření opodstatněné. Najít provázanost zdánlivě nesouvisejících systémů je dle mého názoru obtížnější, než existenci samotných systémů vyjevit. Ale i praktický přínos měření SVV již má svou historii. Dle studie Bonanové (Bonan, 2007) by na testování SVV mělo být přihlíženo při tvorbě rehabilitačního plánu u pacientů po mozkové mrtvici.

Díky znalosti fyziologie rovnovážného systému a SVV budeme moci adaptovat cvičení nestabilních pacientů podle původu poruchy. Ať už při těžení maxima z postižené funkce nebo při využívání všech kompenzačních mechanismů, včetně těch, u kterých v současné době jejich vliv na rovnováhu není znám.

## 7 ZÁVĚR

Subjektivní zraková vertikála je velmi komplexní ukazatel možných patologií rovnovážného systému. V této práci bylo poukázáno, jakým způsobem se její určení mění ve kterých situacích a jakým způsobem může být měřena, a že ještě stále nemáme přesnou představu o tom, které všechny části rovnovážného systému se do ní zapojují.

Rovnovážený systém je ovlivněn mnoha aferentními systémy, pochody CNS a dalšími aspekty, z nichž některé části a jejich funkce stále nejsou prozkoumány. Tato bakalářská práce přinesla celkový souhrn informací, které již byly ozřejměny o rovnovážném systému z několika úhlů pohledu.

Praktická část poukázala na fakt, že Bucket method a aplikace Visual Vertical neměří srovnatelně, párový t-test udává  $p = 0,00012$ . Aplikace Visual Vertical v našem experimentu vyhodnotila 8 z 21 zdravých probandů mimo normu. Mobilní aplikace je proto nutné ještě podrobit dalšímu zkoumání.

## 8 BIBLIOGRAFIE

- Akin, F., & Murnane, O. Subjective Visual Vertical Test. *Seminars in Hearing*, 2009, 30(4), 281-86. doi:10.1055/s-0029-1241128
- Ambler, Z. *Základy neurologie: [učebnice pro lékařské fakulty]* (6., přeprac. a dopl. vyd.). Praha: Galén, 2006.
- Anastasopoulos, D., Haslwanter, T., Bronstein, A., Fetter, M., & Dichgans, J. Dissociation between the perception of body verticality and the visual vertical in acute peripheral vestibular disorder in humans. *Neuroscience Letters*, 1997, 233(2-3), 151-153. doi:10.1016/S0304-3940(97)00639-3
- Baccini, M., Paci, M., Del Colletto, M., Ravenni, M., & Baldassi, S. The assessment of subjective visual vertical: comparison of two psychophysical paradigms and age-related performance. *Attention, perception & psychophysics*, 2014, 76(1), 112-22. doi:10.3758/s13414-013-0551-9
- Baier, B., Bense, S., & Dieterich, M. Are signs of ocular tilt reaction in patients with cerebellar lesions mediated by the dentate nucleus? *Brain: a journal of neurology*, 2008, 131(6), 1445-54. doi:10.1093/brain/awn086
- Baier, B., Suchan, J., Karnath, H.-O., & Dieterich, M. Neural correlates of disturbed perception of verticality. *Neurology*, 2012, 78(10), 728-35. doi:10.1212/WNL.0b013e318248e544
- Barbieri, G., Gissot, A.-S., & Pérennou, D. Ageing of the postural vertical. *AGE*, 2010, vol. 32(issue 1), 51-60. doi:10.1007/s11357-009-9112-5
- Bergmann, J., Kreuzpointner, M.A., Krewer, C., Bardins, S., Schepermann, A., Koenig, E., Müller, F., Jahn, K. The subjective postural vertical in standing: reliability and normative data for healthy subjects. *Attention, perception & psychophysics*, 2015, 77(3), 953-60. doi: 10.3758/s13414-014-0815-z.
- Blouin, J.-S., Corbeil, P., & Teasdale, N. Postural stability is altered by the stimulation of pain but not warm receptors in humans. *BMC musculoskeletal disorders*, 2003, 4(23), 1-9. doi:10.1186/1471-2474-4-23
- Böhmer, A. The subjective visual vertical as a clinical parameter of vestibular function in peripheral vestibular disease. *Journal of Vestibular Research*, vol. 1995, 5(1), 35-45. doi:10.1016/0957-4271(94)00021-S
- Böhmer, A., & Mast, F. Assessing Otolith Function by the Subjective Visual Vertical. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1999, vol. 871(1 OTOLITH FUNCT), 221-231. doi:10.1111/j.1749-6632.1999.tb09187.x
- Bonan, I., Guettard, E., Leman, M., Colle, F., & Yelnik, A. Subjective Visual Vertical Perception Relates to Balance in Acute Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2006, vol. 87(issue 5), 642-646. doi:10.1016/j.apmr.2006.01.019

- Bonan, I., Hubeaux, K., Gellez-Leman, M., Guichard, J., Vicaut, E., & Yelnik, A. Influence of subjective visual vertical misperception on balance recovery after stroke. *Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry*, 2007, 78(1), 49-55. doi:10.1136/jnnp.2006.087791
- Braem, B., Honoré, J., Rousseaux, M., Saj, A., & Coello, Y. 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*, 2014, 44(1), 41-8. doi:10.1016/j.neucli.2013.10.137
- Brodsky, J., Cusick, B., Kawai, K., Kenna, M., & Zhou, G. Peripheral vestibular loss detected in pediatric patients using a smartphone-based test of the subjective visual vertical. *International journal of pediatric otorhinolaryngology*, 2015, 79(12), 2094-8. doi:10.1016/j.ijporl.2015.09.020
- Bronstein, A. The Interaction of Otolith and Proprioceptive Information in the Perception of Verticality: The Effects of Labyrinthine and CNS Disease. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1999, 28(871), 324-33. doi:10.1111/j.1749-6632.1999.tb09195.x
- Bronstein, A., Brandt, T., Woollacott, M., & Nutt, J. *Clinical disorders of balance, posture and gait* (2nd ed., vyd.). New York, NY: Distributed in the U.S. of America by Oxford University Press, 2004.
- Buchman, C., Joy, J., Hodges, A., Telischi, F., & Balkany, T. Vestibular Effects of Cochlear Implantation. *The Laryngoscope*, 2004, 114(103), 1-22. doi:10.1097/00005537-200410001-00001
- Celis-Aguilar, E., Castro-Urquizo, A., & Mariscal-Castro, J. Evaluation and interpretation of the bucket test in healthy individuals. *Acta Oto-Laryngologica*, 2017, Dec(9), 1-5. doi:10.1080/00016489.2017.1410289
- Crevits, L., Vanacker, L. & Verraes A. Patients with migraine correctly estimate the visual verticality. *Clinical neurology and neurosurgery*, 2012, 114(4), 313-5. doi: 10.1016/j.clineuro.2011.10.025.
- Crevits, L., Venhovens, J., Vanoutrive, J., & Debruyne, J.). False perception of visual verticality in multiple sclerosis. *European Journal of Neurology*, (2007, 14(2), 228-32. doi:10.1111/j.1468-1331.2006.01636.x
- Čákrť, O., & Truc, M. Poruchy rovnováhy. V P. Kolář, *Rehabilitace v klinické praxi* (1. vyd., stránky 362-366). Praha: Galén, 2009.
- Čákrť, O., Slabý, K., Kmet', J., Kolář, P., & Jeřábek, J. Subjective visual and haptic vertical in young and elderly. *Journal of Vestibular Research*, 2015, 25(5-6), 195-9. doi:10.3233/VES-150562
- Černý, R., Čákrť, O., & Jeřábek, J. Laboratorní metody vyšetření vestibulárního aparátu. *Neurologie pro praxi*, 2017, 18(3), 163-169.
- Čihák, R. (1997). *Anatomie* (Vyd. 1.). Praha: Grada.

- Dieterich, M., & Brandt, T. Ocular torsion and tilt of subjective visual vertical are sensitive brainstem signs. *Annals of Neurology*, 1993, 33(3), 292-9. doi:10.1002/ana.410330311
- Docherty, S., Schärer, R., Bagust, J. & Humphreys, B. K. Perception of subjective visual vertical and horizontal in patients with chronic neck pain: a cross-sectional observational study. *Manual therapy*, 2012, 17(2), 133-8. doi: 10.1016/j.math.2011.11.002.
- Dyde, R., Jenkin, M., & Harris, L. The subjective visual vertical and the perceptual upright. *Experimental Brain Research*, 2006, 173(1), 612-22. doi:10.1007/s00221-006-0405-y
- Faralli, M., Ricci, G., Molini, E., Longari, F., Altissimi, G., & Frenguelli, A. Determining Subjective Visual Vertical. *Otology & Neurotology*, 2007, 28(8), 1069-71. doi:10.1097/MAO.0b013e31815aea1b
- Friedrich, M., Grein, H.-J., Wicher, C., Schuetze, J., Mueller, A., Lauenroth, A., Schwesig, R. Influence of pathologic and simulated visual dysfunctions on the postural system. *Experimental Brain Research*, 2008, 186(1), 305-314. doi:10.1007/s00221-007-1233-4
- Frisén, L. Deviations of the visual upright in three dimensions in disorders of the brainstem: a clinical exploration. *Brain*, 2010, 133(12), 3541-51. doi: 10.1093/brain/awq241.
- Gaertner, C., Bucci, M., Obeid, R., Wiener-Vacher, S., & Sakakibara, M. Subjective Visual Vertical and Postural Performance in Healthy Children. *PLoS ONE*, 2013, 8(11), 1-9. doi:10.1371/journal.pone.0079623
- Gescheider, G. *Psychophysics: the fundamentals* (3rd ed. vyd.). Mahwah, N.J.: L. Erlbaum Associates, 1997.
- Glasauer, S., Schneider, E., Jahn, K., Strupp, M., & Brandt, T. How the eyes move the body. *Neurology*, 2005, 65(8), 1291-3. doi:10.1212/01.wnl.0000175132.01370.fc
- Gnanasegaram, J., Parkes, W., Cushing, S., McKnight, C., Papsin, B., & Gordon, K. Stimulation from Cochlear Implant Electrodes Assists with Recovery from Asymmetric Perceptual Tilt: Evidence from the Subjective Visual Vertical Test. *Frontiers in integrative neuroscience*, 2016, 10(32), 1-12. doi:10.3389/fnint.2016.00032
- Hafström, A., Fransson, P.-A., Karlberg, M., Ledin, T., & Magnusson, M. Visual Influence on Postural Control, With and Without Visual Motion Feedback. *Acta Otolaryngologica*, 2002, 122(4), 392-7. doi:10.1080/00016480260000076
- Horak, F. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 2006, 35(2), ii7-ii11. doi:10.1093/ageing/afl077
- Horak, F., & Hlavacka, F. Somatosensory Loss Increases Vestibulospinal Sensitivity. *Journal of neurophysiology*, 2001, 86(2), 575-85. doi:10.1152/jn.2001.86.2.575

- Ibrahim, I., da Silva, S., Segal, B., & Zeitouni, A. Effect of cochlear implant surgery on vestibular function: meta-analysis study. *Journal of otolaryngology - head & neck surgery*, 2017, 46(44), 1-10. doi:10.1186/s40463-017-0224-0
- Isableu, B., Ohlmann, T., Crémieux, J., & Amblard, B. Selection of spatial frame of reference and postural control variability. *Experimental Brain Research*, 1997, 114(3), 584-89. doi:10.1007/PL00005667
- Karnath, H.-O., Fetter, M., & Niemeier, M. Disentangling Gravitational, Environmental, and Egocentric Reference Frames in Spatial Neglect. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 1998, 10(6), 680-90. doi:10.1162/089892998563095
- Kheradmand, A., & Winnick, A. Perception of Upright: Multisensory Convergence and the Role of Temporo-Parietal Cortex. *Frontiers in Neurology*, 2017, 8(552), 1-22. doi:10.3389/fneur.2017.00552
- Kheradmand, A., Lasker, A., & Zee, D. Transcranial Magnetic Stimulation (TMS) of the Supramarginal Gyrus: A Window to Perception of Upright. *Cerebral Cortex*, 2015, 25(3), 765-771. doi:10.1093/cercor/bht267
- Kobayashi, H., Hayashi, Y., Higashino, K., Saito, A., Kunihiro, T., Kanzaki, J., & Goto, F. Dynamic and static subjective visual vertical with aging. *Auris Nasus Larynx*, 2002, vol. 29(issue 4), 325-328. doi:10.1016/S0385-8146(02)00058-5
- le Nobel, G., Hwang, E., Wu, A., Cushing, S., & Lin, V. Vestibular function following unilateral cochlear implantation for profound sensorineural hearing loss. *Journal of otolaryngology - head & neck surgery*, 2016, 45(38), 1-6. doi:10.1186/s40463-016-0150-6
- Madeleine, P., Prietzel, H., Svarrer, H., & Arendt-Nielsen, L. Quantitative posturography in altered sensory conditions: a way to assess balance instability in patients with chronic whiplash injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2004, 85(3), 432-438. doi:10.1016/j.apmr.2003.03.003
- Mancini, M., & Horak, F. The relevance of clinical balance assessment tools to differentiate balance deficits. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 2010, 46(2), 239-48.
- Ogawa, Y., Hayashi, M., Otsuka, K., Shimizu, S., Inagaki, T., Hagiwara, A., Suzuki, M. Subjective visual vertical in patients with ear surgery. *Acta Oto-Laryngologica*, 2010, 130(5), 576-82. doi:10.3109/00016480903352967
- Pagarkar, W., Bamiou, D.-E., Ridout, D., & Luxon, L. Subjective Visual Vertical and Horizontal. *Archives of otolaryngology-head & neck surgery*, 2008, 134(4), 394-401. doi:10.1001/archotol.134.4.394
- Parkes, W., Gnanasegaram, J., Cushing, S., McKnight, C., Papsin, B., & Gordon, K. Vestibular evoked myogenic potential testing as an objective measure of vestibular stimulation with cochlear implants. *Laryngoscope*, 2017, 127(2), E75-E81. doi:10.1002/lary.26037

- Pereira, C., Kanashiro, A., Maia, F., & Barbosa, E. Correlation of impaired subjective visual vertical and postural instability in Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 2014, 346(1-2), 60-65. doi:10.1016/j.jns.2014.07.057
- Peterka, R. Sensorimotor Integration in Human Postural Control. *Journal of Neurophysiology*, 2002, 88(3), 1097-1118. doi:10.1152/jn.2002.88.3.1097
- Pfeiffer, J. *Neurologie v rehabilitaci: pro studium a praxi* (1. vyd.). Praha: Grada, 2007.
- Purves, D. *Neuroscience* (3rd ed.. vyd.). Sunderland, Mass.: Sinauer Associates, Publishers, 2004.
- Ravaioli, E., Oie, K., Kiemel, T., Chiari, L., & Jeka, J. Nonlinear postural control in response to visual translation. *Experimental Brain Research*, 2005, 160(4), 450-9. doi:10.1007/s00221-004-2030-y
- Sanyelbhaa, H. & Sanyelbhaa, A. Vestibular-evoked myogenic potentials and subjective visual vertical testing in patients with vitamin D deficiency/insufficiency. *European archives of oto-rhino-laryngology*. 2015, 272(11), 3233-9. doi: 10.1007/s00405-014-3395-6.
- Sharpe, J., Kumar, S., & Sundaram, A. Ocular torsion and vertical misalignment. *Current Opinion in Neurology*, 2011, 24(1), 18-24. doi:10.1097/WCO.0b013e328341e2b2
- Schwartz, S., Segal, O., Barkana, Y., Schwesig, R., Avni, I., & Morad, Y. The Effect of Cataract Surgery on Postural Control. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2005, 46(1), 920-924. doi:10.1167/iovs.04-0543
- Schwarz, A., Straumann, D., & Tarnutzer, A. Diurnal Fluctuations of Verticality Perception – Lesser Precision Immediately after Waking up in the Morning. *Frontiers in Neurology*, 2015, vol. 6. doi:10.3389/fneur.2015.00195
- Soliman, E., Shousha, T., & Alayat, M. The effect of pain severity on postural stability and dynamic limits of stability in chronic low back pain. *Journal of back and musculoskeletal rehabilitation*, 2017, 30(5), 1023-1029. doi:10.3233/BMR-169588
- Standring, S. *Gray's Anatomy: the anatomical basis of clinical practice* (41. edition. vyd.). New York: Elsevier Limited, 2016.
- Tarnutzer, A., Bockisch, C., Straumann, D., & Olasagasti, I. Gravity Dependence of Subjective Visual Vertical Variability. *Journal of Neurophysiology*, 2009, 102(3), 1657-71. doi:10.1152/jn.00007.2008
- Trousselard, M., Barraud, P.-a., Nougier, V., Raphel, C., & Cian, C. Contribution of tactile and interoceptive cues to the perception of the direction of gravity. *Brain research. Cognitive brain research*, 2004, 20(3), 355-62. doi:10.1016/j.cogbrainres.2004.03.008
- Truc, M., & Vrabc, P. Vestibulární rehabilitace. *Rovnovážný systém II - speciální část*. Praha: Triton, 2007.

- Vrabec, P., & Černý, R. Přehled klinických syndromů. V P. Vrabec, B. Lischkeová, J. Skřivan, R. Černý, & M. Truc, *Rovnovázný systém II - speciální část* (Vyd. 1., stránky 9-16). Praha: Triton, 2007.
- Vrabec, P., Lischkeová, B., Světlík, M., & Skřivan, J. *Rovnovázný systém I: obecná část: klinická anatomie a fyziologie, vyšetřovací metody* (Vyd. 1.). Praha: Triton, 2002.
- Watson, S., Brizuela, A., Curthoys, I., Colebatch, J., MacDougall, H., & Halmagyi, G. Maintained ocular torsion produced by bilateral and unilateral galvanic (DC) vestibular stimulation in humans. *Experimental Brain Research*, 1998, 122(4), 453-8. doi:10.1007/s002210050533
- Yacovino, D., Akly, M., Luis, L., & Zee, D. The Floccular Syndrome: Dynamic Changes in Eye Movements and Vestibulo-ocular Reflex in Isolated Infarction of the Cerebellar Flocculus. *Cerebellum*, 2018, 17(2), 122-31. doi:10.1007/s12311-017-0878-1
- Yagci, G., Yakut, Y., & Simsek, E. The effects of exercise on perception of verticality in adolescent idiopathic scoliosis. *Physiotherapy theory and practice*, 2018, Jan(8), 1-10. doi:10.1080/09593985.2017.1423429
- Zwergal, A., Rettinger, N., Frenzel, C., Dieterich, M., Brandt, T., & Strupp, M. A bucket of static vestibular function. *Neurology.*, 2009, 72(19), 1689-92. doi:10.1212/WNL.0b013e3181a55ecf



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Seznam morbidit a jejich vztah k SVV (tabulka).....	57
Příloha č. 2: Přístroj Bucket method zvenku (obrázek) .....	58
Příloha č. 3: Přístroj Bucket method zevnitř (obrázek).....	59
Příloha č. 4: Měření aplikací Visual Vertical Lite (obrázek).....	59
Příloha č. 5: Výsledky měření aplikací Visual Vertical Lite (obrázek).....	60

## PŘÍLOHY

### Příloha č. 1: Seznam morbidit a jejich vztah k SVV (tabulka)

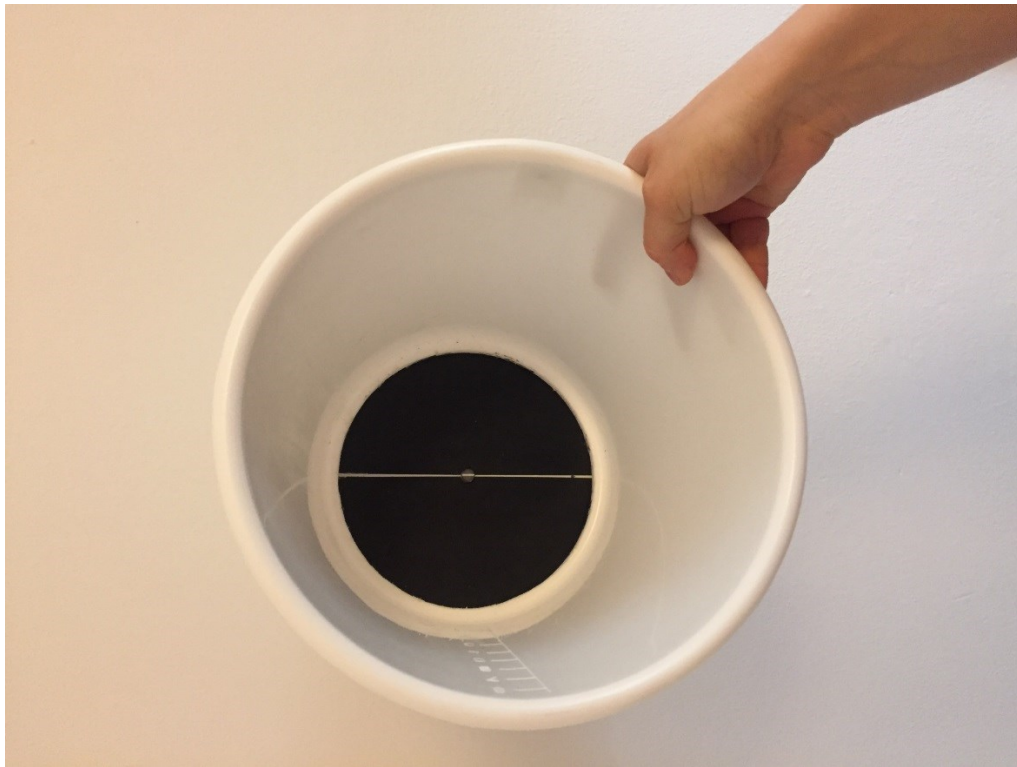
diagnóza	SVV	citace	poznámka
akutní periferní vestibulopatie	porušena	(Böhmer, 1999)	vertikála subjektivně nakloněna ke směru léze, SPV porušena není
akutní unilaterální vestibulární deaferentace	porušena	(Böhmer, 1999)	koreluje odchylka SVV se statickou okulární torzí, vertikála subjektivně nakloněna ke směru léze, s časem se vrací blíž k normě
akutní unilaterální vestibulární poruchy	porušena	(Bronstein, 1999)	SPV porušena není
benigní paroxysmální polohové vertigo	normální	(Böhmer, 1999)	
bilaterální porucha labyrintu	statická ne dynamická porušena	(Bronstein, 1999)	
chronická bolest krční páteře	porušena	(Docherty, 2012)	nekoreluje místo bolesti se směrem odchylky
chronická unilaterální vestibulární hypofunkce	normální	(Böhmer, 1999)	nekoreluje odchylka SVV se statickou okulární torzí
labyrinthectomie u Meniéra	porušena	(Böhmer, 1999)	zákrok, vertikála subjektivně nakloněná ke směru léze
léze CNS týkající se vestibulárních drah	porušena	(Bronstein, 1999)	
migréna	neporušena	(Crevits, 2012)	
morbus Parkinson	porušena	(Pereira, 2014)	koreluje odchylka SVV s balanční nestabilitou
mozkový kmen	porušena	(Frisén, 2010)	příčiny zničení mozkového kmene jsou různé
mrtvice akutní s přítomností hemiplegie	porušena	(Bonan, 2006)	koreluje odchylka SVV s balanční nestabilitou
mrtvice s přítomností vizuálního neglectu	porušena	(Bonan, 2007)	s časem se vrací blíž k normě
nedostatek vitamínu D	neporušena	(Sanyelbhaa, 2015)	
neurinom akustiku	normální	(Böhmer, 1999)	

operace stapes	porušena	(Böhmer, 1999)	záklon, pouze u 17%, vertikála subjektivně nakloněna ke zdravé straně
pontomedulární léze	porušena	(Celis-Aguilar, 2017)	
roztroušená skleróza	porušena	(Crevits, 2007)	koreluje odchylka SVV s balanční nestabilitou
stárnutí	statická ne dynamická porušena	(Kobayashi, 2002)	u dynamické SVV byla rotace pozadí
unilaterální intratympanická gentamycinová instalace u Meiérový choroby	porušena	(Böhmer, 1999)	záklon, vertikála subjektivně nakloněna ke směru léze
Wallenbergův syndrom	porušena	(Celis-Aguilar, 2017)	

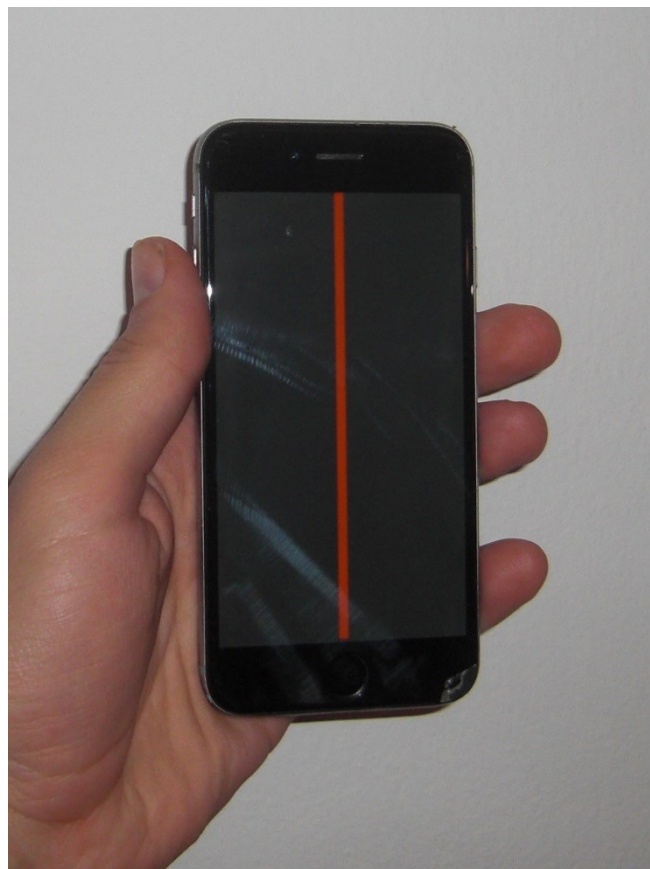
### Příloha č. 2: Přístroj Bucket method zvenku (obrázek)



**Příloha č. 3: Přístroj Bucket method zevnitř (obrázek)**



**Příloha č. 4: Měření aplikací Visual Vertical Lite (obrázek)**



**Příloha č. 5: Výsledky měření aplikací Visual Vertical Lite (obrázek)**