

**UNIVERZITA KARLOVA**

**2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

**Bc. David Pálek**

**Vliv změny postavení hlavy a krční páteře na  
percepci subjektivní zrakové vertikály**

**Diplomová práce**

Praha 2021

Autor práce: Bc. David Pálek

Vedoucí práce: Mgr. Klára Kučerová

Oponent práce: doc. PhDr. Ondřej Čákr, Ph.D.

Rok obhajoby: 2021

## **Bibliografický záznam**

PÁLEK, David. Vliv změny postavení hlavy a krční páteře na percepci subjektivní zrakové vertikály. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol, 2021. 78 s., přílohy. Vedoucí diplomové práce Mgr. Klára Kučerová.

## Abstrakt

Změny ve vestibulárních, zrakových, nebo proprioceptivních vstupech mohou vést k úpravě percepce vertikality, a to může dále vést k odlišnému posturálnímu chování. Typickým projevem špatné percepce vertikality je narušená posturální stabilita. Tato práce se zabývá fyziologickými změnami ve vnímání vertikality při změně polohy hlavy v prostoru.

Cílem této práce je bližší zkoumání změn v percepce vertikality při úklonu hlavy u zdravého vzorku probandů. Předpoklady vyvozené z těchto znalostí byly experimentálně ověřeny na zdravém vzorku populace. Testovací soubor probandů tvořilo 51 jedinců – 22 mužů a 29 žen (v rozmezí 19–42 let). Nikdo z vyšetřovaných nebyl v době vyšetření ani v minulosti sledován pro onemocnění vestibulárního aparátu, poruch stability, nebo poruch zraku centrální příčiny. Testování subjektivní vizuální vertikály (SVV) probíhalo vsedě pomocí přístroje od firmy Synapsis. To proběhlo ve čtyřech sousledných situacích: Ve vzpřímení bez korekce, ihned po úklonu do lateroflexe 20°, po setrvání 5 minut v lateroflexi a po návratu do napřímení bez korekce. V každé pozici bylo provedeno 6 testovacích pokusů a následně spočítán aritmetický průměr. V případě normálního rozložení byli data vyhodnocena pomocí T-testů u nenormálního rozložení pomocí ANOVA testů.

Průměrná odchylka zdravé populace byla naměřena  $1,26^{\circ} \pm 0,901$ . Bylo prokázáno statisticky významné zvětšení odchylek při změně polohy do úklonu ( $2,09^{\circ} \pm 1,48$ ) a následně další zvětšení odchylek při setrvání v této pozici ( $3,45^{\circ} \pm 3,15$ ). Směr pohybu SVV vykazoval víceméně symetrické rozdělení do pravé a levé strany bez logického trendu. Setrvání v poloze úklonu naznačilo trend pohybu SVV do levé strany nezávisle na poloze hlavy. Po návratu do subjektivně vzpřímeného držení zůstala pozice hlavy a SVV odkloněna ve směru předchozího úklonu. Setrvání v natažení krčních svalů vedlo ke zvětšení odchylek a návrat z úklonu s sebou nesl změnu v propriocepti, která se projevila na pozici hlavy a směru odchylek do původního směru.

Tyto výsledky potvrzují, že s úklonem dochází ke zhoršené schopnosti určovat vertikality, které při dlouhotrvajícím držení progreduje. Analýza směru odchylek SVV sice neprokázala směrově specifický fenomén, avšak chování SVV po návratu do vertikál poukazuje na významný podíl proprioceptivních informací při hodnocení vertikality. Dále se zdá, že mírně přesnějších výsledků při hodnocení v úklonech dosahují ženy.

## **Klíčová slova**

Subjektivní vizuální vertikála, percepce vertikality, vestibulární systém, úklon hlavy, držení hlavy

## **Abstract**

Changes in vestibular, visual, or proprioceptive inputs may lead to an adjustment in the perception of verticality, and this may further lead to different postural behavior. A typical manifestation of poor perception of verticality is impaired postural stability. This work deals with physiological changes in the perception of verticality when changing the position of the head in space.

The aim of this work is to examine in more detail the changes in the perception of verticality during head tilt in a healthy sample of probands. The assumptions derived from the current knowledge were experimentally verified on a healthy sample. The test group of probands consisted of 51 individuals - 22 men and 29 women (ranging from 19 to 42 years). None of the examined persons were monitored for diseases of the vestibular apparatus, stability disorders, or visual disturbances of the central cause at the time of the examination or in the past. Subjective visual vertical (SVV) testing was performed sitting using a device from the company Synapsis. This took place in four consecutive situations: Upright without correction, immediately after tilting to a lateroflexion of 20 °, after remaining 5 minutes in lateroflexion and after returning to straightness without correction. Six test values were obtained in each position and the arithmetic mean was calculated. In the case of normal distribution, the data were evaluated by T-tests, for abnormal distribution we used ANOVA tests.

The mean deviation of the healthy population was measured at  $1.26^\circ \pm 0.901$ . There was a statistically significant increase in deviations after the change to side-tilt condition ( $2.09^\circ \pm 1.48$ ) and subsequently a further increase in deviations when staying in this position ( $3.45^\circ \pm 3.15$ ). The direction of SVV movement showed a more or less symmetrical distribution to the right and left side without a logical trend. Remaining in the side-tilt position indicated a trend of SVV movement to the left, independent of the head position. After returning to the subjectively upright posture, the position of the head and SVV remained deflected in the direction of the previous tilt. Prolonged stretching of the neck muscles led to an increase in deviations, and the return from lateroflexion brought with it a change in proprioception, which was reflected in the position of the head and the direction of the SVV deviations toward the previous tilt.

These results confirm that there is a deterioration in the ability to determine the verticality when side-tilting, which progresses with prolonged holding. Although the analysis of the direction of SVV deviations did not show a direction-specific phenomenon, the behavior of SVV after returning to the verticals points to a significant share of proprioceptive information in the assessment of verticality. Furthermore, women seem to achieve slightly more accurate results in the evaluation in side-tilted conditions.

## **Keywords**

Subjective visual vertical, verticality perception, vestibular system, head tilt, head posture

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně pod vedením Mgr. Kláry Kučerové, uvedl všechny použité literární a odborné zdroje a dodržoval zásady vědecké etiky. Dále prohlašuji, že stejná práce nebyla použita pro k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze .....

.....

Pálek David



## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat vedoucí diplomové práce, paní Mgr. Kláře Kučerové za vedení, cenné poznámky, odborné připomínky, podněty a náměty.

Chtěl bych také poděkovat panu prof. Ing. Jiří Matasovi, Ph.D. a panu Ing. Janu Čechovi, Ph. D z fakulty elektrotechniky ČVUT za vytvoření programu pro snímání úklonu hlavy v reálném čase, bez kterého by práce nevznikla.

V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině za bezpodmínečnou podporu nutnou k vypracování diplomové práce.

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>9</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>10</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST.....</b>	<b>12</b>
<b>1 TEORIE SUBJEKTIVNÍ VERTIKÁLY .....</b>	<b>12</b>
1.1 POSTURALITA A SUBJEKTIVNÍ VERTIKÁLA.....	12
1.2 POSTURÁLNÍ VERTIKÁLA.....	13
1.2.1 Poruchy posturální vertikály.....	13
1.2.2 Testování posturální vertikály .....	15
1.2.3 Teorie konfliktu subjektivní vertikály .....	16
1.3 HAPTICKÁ VERTIKÁLA .....	17
1.3.1 Testování haptické vertikály.....	17
1.3.2 Poruchy haptické vertikály .....	17
<b>2 SUBJEKTIVNÍ ZRAKOVÁ VERTIKÁLA .....</b>	<b>18</b>
2.1 SUBJEKTIVNÍ ZRAKOVÁ VERTIKÁLA.....	18
2.2 ZPŮSOBY MĚŘENÍ SUBJEKTIVNÍ VISUÁLNÍ VERTIKÁLY .....	20
2.2.1 Bucket method.....	20
2.2.2 Hemispheric dome method.....	20
2.2.3 Rod and frame test.....	20
2.2.4 Počítačově vyhodnocované systémy pro měření vizuální vertikály .....	22
2.2.5 Telefonní aplikace Visual Vertical .....	22
SOUČASNÉ VÝSLEDKY ZKOUMÁNÍ PERCEPCE VERTIKALITY .....	23
2.2.6 Vnímání vizuální vertikály v nulovém úklonu hlavy a těla .....	23
2.2.7 Vývoj percepce vertikality u dětí.....	24
2.2.8 Percepce vertikality u dospělých ve vztahu k věku a pohlaví.....	27
2.2.9 Percepce vertikality z neuroanatomického hlediska .....	30
2.2.10 Vliv pozice hlavy a těla na vnímání vertikality .....	33
2.2.11 Význam senzoričkových a proprioceptivních informací pro určování vertikality .....	36
<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>40</b>
<b>3 CÍLE A HYPOTÉZY .....</b>	<b>40</b>
<b>4 METODICKÝ POSTUP.....</b>	<b>41</b>
4.1 CHARAKTERISTIKA VÝZKUMNÉHO SOUBORU .....	41
4.2 PRŮBĚH VYŠETŘENÍ SVV.....	42
4.3 PROTOKOL VYŠETŘENÍ.....	42
4.4 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT.....	45
<b>5 VÝSLEDKY STATISTICKÉ ANALÝZY DAT.....</b>	<b>46</b>
5.1 VYHODNOCENÍ SVV – ABSOLUTNÍ HODNOT .....	46
5.2 DRŽENÍ HLAVY.....	50
5.2.1 Držení hlavy a krční páteře před testováním .....	50
5.2.2 Držení hlavy a krční páteře po absolvování testování v úklonu .....	50
5.3 HODNOTY SVV SE ZOHLEDNĚNÍM SMĚRU ÚKLONU .....	52
5.4 CHOVÁNÍ VERTIKALY VZHLEDEM KE STRANĚ ÚKLONU .....	55
5.4.1 SVV .....	55
5.4.2 Pohlaví.....	55
5.4.3 Porovnání stran .....	56
5.5 VYHODNOCENÍ HYPOTÉZ .....	57
<b>DISKUSE.....</b>	<b>59</b>
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>	<b>67</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>76</b>

<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>77</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ</b> .....	<b>78</b>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADHD	Attention deficit hyperactivity disorder ( <i>hyperaktivita s poruchou pozornosti.</i> )
AH	Absolutní hodnota
BPPV	Benigní paroxysmální polohové vertigo
CMP	Cévní mozková příhoda
CNS	Centrální nervová soustava
HTA	Head tilt angle ( <i>Úhel úklonu hlavy</i> )
HTP	Head tilt perception ( <i>Percepce úklonu hlavy</i> )
PSO	Progresivní supranukleární obrna
SHV	Subjektivní haptická vertikála
SPV	Subjektivní posturální vertikála
SS	Somatosenzorický
SSHL	Sudden sensorineural hear loss ( <i>Senzoricko-neurální ztráta sluchu</i> )
SSS	Somatosenzorický systém
SVV	Subjektivní vizuální vertikála
VEMPs	Vestibulární evokované myogenní potenciály
VN	Vestibulární neuritida

## ÚVOD

Od dob přechodu ze kvadrupedální lokomoce do bipedální vzrostly nároky na udržování rovnováhy. Bipedální postura vyžaduje oproti kvadrupedální velmi precizní způsob vyvažování jednotlivých tělesných segmentů v rovnováze. Jejich držení v optimálním postavení proti gravitační síle je klíčovou pro prevenci pádů a ekonomické fungování muskuloskeletálního systému. Na percepci vertikality se podílí významnou rolí jak informace ze senzoričtých orgánů, jako je zrak, nebo sluch, z vestibulárního aparátu, tak ze somatosenzoričtého systému (SSS), zejména propiocepce.

Existuje více způsobů testování vertikality. Pro účely této práce se budeme zabývat určováním zrakové roviny, která nám říká, jak testovaný vnímá vertikality při odebrání zrakových vodítek. Za těchto okolností je pak nucen využívat pouze vestibulárních a propioceptivních informací.

Ve své práci se zabýváme kontextem vnímání vertikality v závislosti na poloze hlavy. Někteří autoři již popsali chování subjektivní zrakové vertikality (SVV) v úklonu hlavy, někteří dokonce až do úplného obracení percepčního rámce, avšak chybí ucelená informace o proměnách percepcí SVV se změnou polohy a hlavu a v návaznosti na předchozí polohy. Cílem této práce je bližší zkoumání percepcí vertikality v úklonu hlavy pomocí SVV u zdravého vzorku probandů. Pro tento účel jsme měřili percepcí SVV v napřímení, bezprostředně po změně polohy do úklonu, při dlouhodobém držení a bezprostředně po návratu do vzpřímeného držení.

Vycházíme z předpokladu, že při změně polohy hlavy do úklonu dochází k úpravě vstupních informací vestibulárního aparátu spolu se SS informacemi z propioceptorů krčních svalů a páteře. Dlouhodobé držení v úklonu poté vyvolává změnu propioceptivních informací na základě změny ve fyzikálních vlastnostech vaziva, nebo adaptace gamma systému, řidičtého skrze intrafuzální vlákna svalové napětí a citlivost svalového vřetýnka. Zároveň jsme studovali, jaký je vztah percepcí vertikality a držení hlavy a krku.

Práce je rozdělena do dvou samostatných částí – teoretické a praktické.

V teoretické části se věnujeme teorii percepci vertikality, jednotlivým způsobům jejího vyšetřování jako je vizuální, posturální, nebo haptická vertikála. Následuje výčet metod testování SVV a shrnutí současných poznatků. Ty se týkají vnímání SVV u dětí, dospělých, mužů a žen, u neurologických poruch a dále pohled na význam propiocepce.

Praktická část diplomové práce obsahuje výčet hypotéz, souhrn metodický postup výzkumu, statistické zpracování výsledků a diskusi. Předmětem výzkumu bylo testování percepcie vertikality u zdravé populace pomocí počítačově vyhodnocovaného testu SVV v poloze zpříma a v úklonu, po setrvání v úklonu po dobu 5 minut a následně po návratu do subjektivně určené vzpřímené pozice.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 Teorie subjektivní vertikály

### 1.1 Posturalita a subjektivní vertikála

Každodenní život ve vzpřímené poloze a bipedální lokomoce klade vysoké nároky na stabilitu těla, která musí být nezávislá na poloze očí, hlavy, či zbytku těla. K tomu, aby se celý systém udržel v optimálním postavení nám slouží informace, získávané zejména pomocí vestibulárního aparátu, zraku a SS receptorů. Každý z těchto smyslů má svoji míru důležitosti ve vyhodnocování výsledné představy o vertikále, co je ale společné je, že kvalitní vstupní informace z každého orgánů podílejícího se na percepci polohy těla jsou základem pro dobré nastavení segmentů a nastolení optimálního nastavení svalového napětí udržujícího tělo ve vzpřímení neboli udržování postury.

K jejímu držení nám ale nestačí pouze holé informace, ale je nezbytné, aby došlo k jejich integraci a vyhodnocení pomocí centrální nervové soustavy (CNS). K tomu dochází pomocí kortikální sítě, zejména v rámci temporo-parietálního spojení, které je zásadní pro multisenzorické zpracování a integraci, které generují senzorní referenční rámce pro ucelené vnímání polohy těla (KHERADMAND, 2017). Pro vizuální vertikálu se jedná zejména o gyrus temporalis superior, tedy o vizuální asociační oblast (ROUSSEAU, 2015).

Takto zpracované informace nám slouží k vytvoření dostatečně dobré představy o třídímním prostoru, který nás obklopuje s pomocí, jichž můžeme následně stavět tělo do vhodné, energicky nenáročné polohy podélně vzhledem k vektoru gravitace. Tímto způsobem zajišťovaná postura nám dále umožňuje dobrou orientaci v prostoru a dobrou výchozí situaci pro vhodný pohybový projev, který nevede k přetížení myoskeletálního aparátu. (NAKAMURA, 2020)

Můžeme tedy říci, že vzpřímená postura je určována a udržována komparací aktuálního nastavení segmentů s jakousi vnitřní představou vertikální polohy, kterou dnes nazýváme subjektivní vertikálou.

Pro úspěšné stanovení subjektivní vertikály je nutné, aby jednotlivé orgány podávali stejnou informaci. Pokud se informace neshodují ve své interpretaci mezi smyslovými orgány, nebo mezi pravým a levým vestibulárním aparátem, není možné vytvořit jednotnou představu o ideální postuře, a tedy ekonomickému nastavení tělesných segmentů vůči gravitační síle. Pouze jednotný multisenzorický vstup umožňuje kvalitní subjektivní představu vertikály. (NAKAMURA, 2020)

Rozlišujeme tři druhy subjektivních vertikál: posturální vertikálu (orientace těla v prostoru), haptickou vertikálu a vizuální vertikálu.

## 1.2 Posturální vertikála

Subjektivní posturální vertikála (SPV) je osa představující vertikální komponentu subjektivní percepce trojrozměrného světa. Tato osa nám pomáhá učit, zdali je jediné schopný správně vnímat vertikálitu neboli gravitační sílu. Tato osa je určována subjektem bez pomoci vizuálních vodítek, pouze na základě propioceptivních, exteroceptivních a vestibulárních informací. Aby se jednalo o posturální vertikálu, určujeme tuto osu pomocí vjemů z celého těla, zejména trupu a krční páteře (více v kapitole testování).

### 1.2.1 Poruchy posturální vertikály

Poruchy vertikálního držení těla a zorného pole může být způsobeno na různých úrovních. Z hlediska výše léze můžeme dělit poruchy na úroveň receptorů, drah a lézi CNS. Pro námi zvolené téma práce se budeme zabývat úrovní multisenzorické integrace v CNS a změnami na úrovni vestibulárního aparátu. Při poruchách na různých úrovních nervové soustavy dochází k rozvoji odlišných poruch vnímání rovin v prostoru. Může dojít k izolované poruše ve frontální, sagitální, či transverzální rovině, povětšinou však dochází k rozvoji kombinované poruchy ve více rovinách.

Podle Dietricha vznikají poruchy vnímání posturální vertikály nejčastěji z důvodu lézí na úrovni thalamu a hemisfér (insula posterior), dále z příčin normotenzního hydrocefalu a u poruch na úrovni prodloužené míchy jako jsou například progresivní supranukleární obrna (PSO), nebo Wallengergův syndrom. (DIETRICH, 2019)



Pro léze prodloužené míchy, které zahrnují poškození vestibulární jader je typické narušení rovnováhy spolu s nauzeu, a lze tedy očekávat odchylku posturální i vizuální vertikály s větší závislostí na vizuálních vodítkách. (DIETERICH, 2019)

Na subkortikální úrovni je to thalamus, který je nesmírně důležitý pro zpracovávání všech informací jdoucích směrem do vyšších etáží CNS, stejně tak informací o vnímání pohybu a jejich zpracování do prostorové orientace. Zde, přesněji v jeho posterolaterální části, dochází k první integraci SS informací a informací z vestibulárního aparátu. (NAKAMURA, 2020)

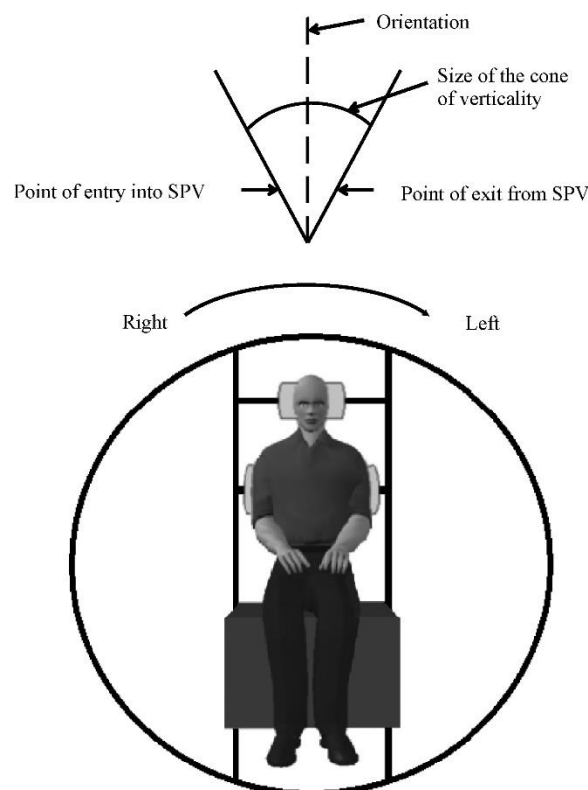
Z výše zmíněných poruch je nejčastější výskyt Pusher syndromu. Jedná se o typickou poruchu vnímání ve frontální rovině. Pacient padá ke straně jako by se odtlačoval od zdravé strany, na které jsou SS vjemy z končetin nepoškozeny. Tato porucha bývá velmi dobře kompenzována při dostatečném přísunu informací ze zraku. Pusher syndrom vzniká buďto při lézi thalamu, kudy prochází části multisenzorických vestibulárních sítí, nebo v oblasti insula posterior. Klinicky horších projevů dosahují léze na straně pravé hemisféry, u kterých také léčba trvá déle v porovnání s lézemi stejného rozsahu na levé straně. (DIETERICH, 2019) Ke stejnému závěru došel i Perennou, který zjistil, že u pacientů po prodělané CMP, byla posturální vertikála více odchýlena u lézí na pravé hemisféře, nejvýrazněji u lézí v okolí primárního SS kortexu a thalamu. (PERENNOU, 2008)

Wallengergův syndrom a PSO vedou podle Dietricha nejčastěji k poruchám stability v sagitální rovině, kde způsobují nejistotu až pády vzad. Pro tyto poruchy je typický freezing, kdy pacient znenadále přeruší chůzi a nemůže vykonat další efektivní krok, v tomto případě pro strach z pádu. V roce 2005 stejný autor porovnával aktivitu vestibulárního kortexu pomocí pozitronové emisní tomografie mezi zdravou populací a třemi pacienty s Wallengergovým syndromem zahrnující lézi mediálního vestibulárního jádra. U všech tří pacientů byla prokázána snížená aktivita kontralaterálního temporoparietálního vestibulárních oblastí (DIETERICH, 2019 et DIETRICH, 2005). To poukazuje na důležitost thalamo-parietální projekce, která hraje důležitou roli při zpracování graviceptivních informací a centraci tělesných segmentů proti gravitaci (PERENNOU, 2008).

### 1.2.2 Testování posturální vertikály

K určování subjektivní posturální vertikály se aktuálně využívá test se dvěma částmi s mírně odlišným průběhem testování. Před provedením obou částí se pacientovi odeberou veškeré zrakové vjemy. Pro tento účel je možné pacientovi zavázat oči, nebo ho uzavřít do temné místnosti. V první části testujeme návrat do vertikály. Výchozí poloha těla je v náhodně zvoleném úklonu celého těla, mimo očekávanou oblast subjektivně vnímané vertikály, pacient je následně pomalu vracen zpátky směrem do vzpřímené polohy. Testovaný má za úkol dát signál, jakmile se cítí být již opět vzpřímeně. Druhá část má obrácený postup. Testovaný jedinec je vychylován celým tělem z vertikály a je instruován dát signál v pozici, která mu již připadá nakloněná.

Testování probíhá většinou vsedě pohyby do stran ve frontální rovině. Pohyb židle je veden pomalu přibližnou rychlostí  $1,5^\circ$  za sekundu tak, aby nedocházelo ke stimulaci polokruhovitých kanálků (Obrázek 1). Většinou se provádí 10 pokusu na každou stranu s maximálním rozsahem od  $-50^\circ$  do  $+50^\circ$  náklonu. (MAZIBRADA, 2008)



**Obrázek 1 - Schéma principu vyšetřování SPV (subjektivní posturální vertikály). V horní části vidět tzv. Cone of verticality, tedy rozpětí, kde vyšetřovaný vnímá svoji pozici jako vzpřímenou (MAZIBRADA, 2008)**

Pokud máme k dispozici speciální nástroje, můžeme využít pohybů ve více rovinách. Pro tyto účely využíváme například Space Curl, který umožňuje pohyb ve všech třech rovinách. (DIETERICH, 2019)

Space Curl byl také úspěšně použit ve studii Jahna Klause z roku 2017 jako nová tréninková metoda pro terapii vertikální percepce u Pusher syndromu.

### 1.2.3 Teorie konfliktu subjektivní vertikály

Koncept subjektivní vertikály je teoretický myšlenkový konstrukt umožňující objasnit vznik všech druhů kinetóz vznikajících při nejrůznějších přesunech člověka. Dá se aplikovat na jízdu autem, let letadlem, nebo plavbu lodí. Podle této teorie je vznik kinetóz podmíněn neočekávanými změnami v percepci akcelerace, a to jak v ose vertikální, tak horizontální. Nejedná se o patologické změny percepce, orgány vnitřního ucha přijímají informace správně, konflikt vzniká až na vyšších etážích při multisensorickém zpracovávání informací do subjektivních vertikál. (KHALID, 2011)

KHALID a spol. definuje teorii takto: „Teorie konfliktu subjektivní vertikály říká, že nemoc z pohybu (kinetózy) jsou vyvolávány ve všech situacích při kterých vzniká rozdíl mezi vnímanou a subjektivní vertikálou. Vnímanou vertikálou je zemská gravitace tak, jak je vnímaná smyslovými orgány. Subjektivní vertikála je také dána zemskou gravitací, ale v souladu s očekáváními CNS.“ Jinými slovy, Pokud se neshodují naše očekávání vnímání pohybu s realitou vnímanou smysly, vzniká ke zmatení CNS a rozvoji nemoci z pohybu. (KHALID, 2011)

Její projevy jako je nauzea, vertigo, nebo únava bývají tím vyšší, čím větší je rozdíl mezi očekáváním a smysly přijímanou realitou, čím více rovin je do pohybu zahrnuto a čím rychleji ke změnám dochází. Například jízda autem je tím horší čím více se auto houpe, nebo plavba lodí na rozbouřeném moři bude pro sensiblní jedince jistě horší než let letadlem, pro své rychlejší změny a pohyby ve všech rovinách. (KHALID, 2011)

### 1.3 Haptická vertikála

Subjektivní haptická vertikála je další ze subjektivních reprezentací percepce vertikality. Jedná se o subjektivní osu představující vertikální komponentu představy trojrozměrného světa vycházející z posturální vertikály, kdy za stejných podmínek, tedy bez pomoci vizuálních vodítek, srovnává testovaný pomocí ruky (odtud název haptická) předměty do subjektivní roviny s gravitační tíhou, nebo kolmo na ni.

#### 1.3.1 Testování haptické vertikály

K testování subjektivní haptické vertikály se využívají testy, které spočívají v uvádění předmětů do vertikální pozice. Pro tento účel se nejčastěji využívá rotující rovná tyč, připevněná k pevné základně s goniometrem. Testování je obvykle prováděno vsedě za vyloučení zraku. (DIETERICH, 2019)

Zajímavé je, že výsledky SHV mohou být ovlivněny kontextem ve kterém jsou prováděny. Kupříkladu při orientaci sklenice vody do horizontály vykazují účastníci lepších výsledků než při rovnání železné tyče. To poukazuje na efekt motorické učení a zkušenost s prováděním činnosti může vést k lepším výsledkům. (WRIGHT, 2006)

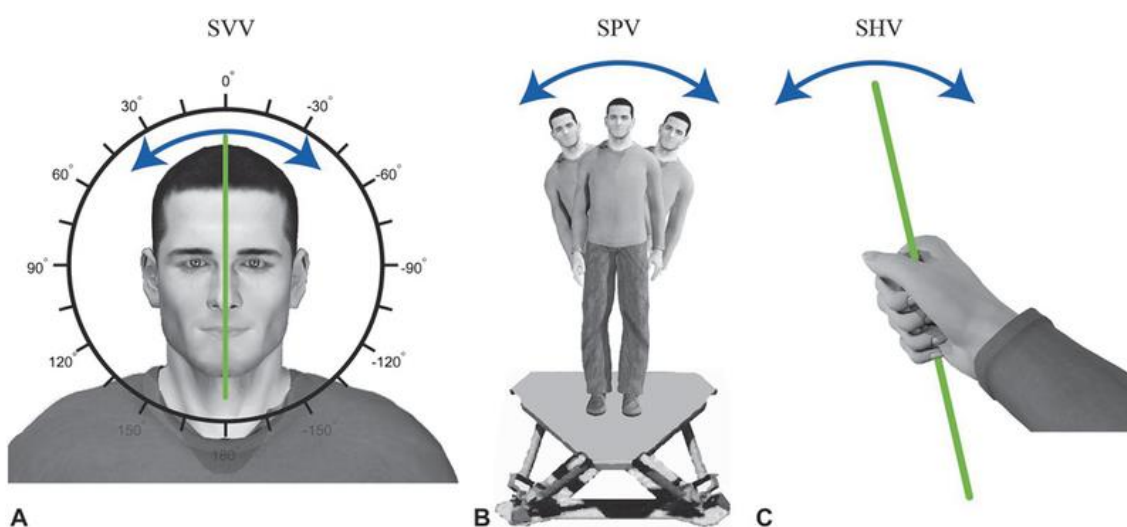
#### 1.3.2 Poruchy haptické vertikály

Jak SHV, tak SVV se vydávají za test vnímání gravitačního pole. Stejně tak abnormality SHV častou souvisí s SVV abnormalitami, ale nemusí to být vždy pravidlem. Nicméně v obou případech změny vedoucí k větším odchylkám subjektivní vertikály přímo koreluje s deficitem balančních schopností. Kupříkladu pacienti s Parkinsonovou chorobou mají zhoršené stabilizační funkce, jejichž deficit koreluje s mírou odchylky SHV. (MORI, 2019)

## 2 Subjektivní zraková vertikála

### 2.1 Subjektivní zraková vertikála

Schopnost adekvátně vnímat gravitační sílu a určovat posturální vertikálu bez vizuálních vodítek je klíčová pro držení těla proti gravitaci. Stejně tak důležitá je i SVV. Ta vyjadřuje schopnost určovat vertikální, či horizontální rovinu pomocí zraku (Obrázek 2). Pro určování subjektivní zrakové vertikály je nejdůležitější vestibulární systém s pomocí informací o poloze hlavy vůči krku, krku a zbytku těla. Ve vzpřímené poloze je pro tento účel nejdůležitější Sacculus a Utriculus.



Obrázek 2 - Grafické znázornění způsobu testování jednotlivých modalit percepcie vertikality. Zleva doprava se jedná o subjektivní vizuální vertikálu (SVV), subjektivní posturální vertikálu (SPV) a subjektivní haptickou vertikálu (SHV) (DAKIN, 2018)

Testování subjektivní zrakové vertikály jsou tedy obdobou výše zmíněných testů se zaměřením na kvantifikaci otolitických funkcí vnitřního ucha. Co se týká specifity testování, funkce sacculu a utriculu nelze odlišit od příslušných aferentních drah a oblastí CNS ani mezi centrální a periferní patologií. Tímto testem zároveň nelze odlišit ani mezi funkcí sacculu a utriculu (DAKIN, 2018; CLENDANIEL, 2013). Se srovnatelnou senzitivitou a specifitou jako SVV lze používat také test subjektivní zrakové horizontály (CLENDANIEL, 2013).

V klinické praxi je test SVV důležitý také proto, že jeho abnormality oproti zdravé populaci často korelují s poruchami balančních schopností. Pokud přijmeme tvrzení, že SVV je vlastně vizuální reprezentace percebované gravitační síly, která vychází z informací je možné usoudit, že její narušení povede k narušení rovnovážných funkcí. Jinými slovy stejné informace, které pomáhají dotvořit představu vertikality nám pomáhají stavět tělo proti gravitaci ve snaze udržet vzpřímený stoj. Tyto korelace byly předmětem zkoumání mnoha studií a byly prokázány například u Roztroušené sklerózy (KLAT, 2019). Testování SVV se také ukazuje jako možný doplňkový prostředek pro diagnostiku balančních poruch nejen u roztroušené sklerózy, ale také u dalších onemocnění, jako jsou Parkinsonova choroba, BPPV, akutní fáze Menierova syndromu, Pisa syndromu a další (BOLANDI, 2017).

Ačkoliv testování hledání spojitosti mezi SVV a stabilitou je věnováno více pozornosti, tak podle studie prováděné na 86 pacientech po CMP z roku 2008 je pro tento účel vhodnější použití SHV. Podle Perennou má SHV pro detekci poruch stability větší senzitivitu než SVV. (PERENNOU, 2008)

## 2.2 Způsoby měření subjektivní visuální vertikály

### 2.2.1 Bucket method

Nejjednodušším měřicím přístrojem SVV je tzv. kbelíková metoda. Pro měření se využívá běžného kulatého kyblíku s neprůsvitným dnem, uvnitř jehož je dobře viditelná nepohyblivá osa. Zevně je nainstalovaný úhloměrem s olovnicí visící ze středu kruhové podstavy kbelíku. Ty jsou nastaveny tak, aby při vertikálním nastavení vnitřní osy ukazoval úhloměr nulovou odchylku, při náklonu míru úklonu (Obrázek č.3.).



Obrázek 3 – Ukázka technického zpracování kbelíku a samotného procesu testování SVV (MICHELSON, 2018)

### 2.2.2 Hemispheric dome method

Hemisférická metoda se testuje vsedě, pohled testovaného směřuje do temné polokoule plně uzavírající zorné pole, ve kterém je náhodně rozmístěno množství barevných teček pro odpoutání pozornosti. Úkol spočívá v přemístění podlouhlého předmětu z náhodné startovní pozice v kopuli do jejího středu a vertikální polohy přímo před testovaného. (DIETRICH, 1993 in DIETRICH, 2019)

### 2.2.3 Rod and frame test

Rod and frame test je původem psychofyzikální test pro vyšetřování kognitivního stylu percepce informací vyvinutý psychologem Hermanem A. Witkinem. Pomocí tohoto testu vyšetřujeme závislost jedince na vnějších vodítkách a jeho tendenci se jimi nechat ovlivnit.

Před samotných testem nejprve uvedeme pacienta do temné místnosti a posadíme na židli. Přímo před testovaným subjektem jsou umístěné čtvercový svítící rám a jedna svítící tyč uložená uvnitř. Oba objekty je možné polohovat před každým pokusem dle potřeby a měnit tak podmínky testu.

Samotné provádění testu může být provedeno různými způsoby. První, méně sofistikovaná metoda spočívá v pomalém otáčení svítící tyče směrem do vertikály experimentátorem, který čeká na znamení od testovaného pro ukončení točení, nebo korekci osy před potvrzením pokusu. Druhá možnost je využití počítačové varianty testu (viz. Kapitola Počítačově vyhodnocované systémy pro měření vizuální vertikály). Některé výzkumy přidávají také náklonnou židli ve frontální rovině. (FIELD DEPENDENCE, Wikipedie, 2021)

Pro účely testování v rehabilitaci je důležitá odchylka z hlediska výpovědní hodnoty o funkci vestibulárního aparátu, nebo centrálních poruchy rovnováhy. Zajímavé ale je, že v psychologii tento test rozděluje osoby závislé na „závislé na okolí“ a „nezávislé na okolí“ (FIELD DEPENDENCE, Wikipedie, 2021). Skupina lidí závislých na vodítkách nemají tolik vyvinutou schopnost restrukturalizovat informace a obecně tíhnou více k využívání externího vedení což může potencionálně ovlivňovat výsledky testování SVV s klamnými vizuálními vodítky. Jinak řečeno u těchto lidí by mohlo docházet ke zhoršení při dynamické SVV oproti statické SVV bez korelace s patologickým nálezem. K podobnému zhoršení dochází u lidí vyššího věku, čemuž se ale blíže věnuji v další kapitole.



#### **2.2.4 Počítačově vyhodnocované systémy pro měření vizuální vertikály**

V současné době se pro vyšetření SVV na neurologických pracovištích rozšiřuje využívání moderních počítačových metod, které vynikají svojí vysokou přesností. Tyto přístroje využívají vizuální projekce testované osy pomocí digitálních brýlí, nebo vzdálené obrazovky s vyloučením okolních vizuálních vjemů pomocí stínících brýlí. Vyšetřovaný může sedět, nebo stát na předem definovaném místě a vzdálenosti od obrazovky. Stejně jako u starších metod je i zde pacient požádán o návrat vyosené čáry zpět do vertikály pomocí ovladače s tlačítky pro ovládání rotace osy a dalšího pro potvrzení výsledku. Po instruktaži je nutné nechat vyšetřovaného vyzkoušet princip vyšetření alespoň na jednom pokusu, aby nedošlo ke zkreslení výsledků následného vyšetření nepochopením zadání. Dále provádíme pro každé zadání podmínek několik pokusů, ze kterých se vytváří průměrná hodnota.

Na trhu se aktuálně pohybují dvě firmy nabízející programy určené pro testování SVV, a to Subjective visual vertical – SVV (Systém or VPG option) od firmy Synapsys a Virtual SVV od firmy Interacoustics. Jsou to firmy zabývající se převážně vývojem techniky určené pro vyšetření vestibulárního aparátu a následnou terapií poruch rovnováhy s tím související. (MICHELSON, 2018; © Synapsys, 2020)

#### **2.2.5 Telefonní aplikace Visual Vertical**

Nejdostupnějším a na trh teprve nedávno uvedeným způsobem testování SVV je telefonní aplikace Visual Vertical od firmy Clear Health Media dostupné na App Store.

Tento způsob testování je vlastně modifikací kbelíkové metody. V případě digitální metody namísto goniometru a nekreslené osy využíváme napevno umístěný smartphone uvnitř kbelíku. Samotný test probíhá obdobně jako u všech zmíněných testů, na obrazovce se zobrazuje osa v náhodném úklonu a testovaný otáčí kbelík tak, aby byla osa subjektivně ve vertikále. Originální návod na použití lze najít na stránkách firmy. (How To Use The Visual Vertical App, 2021)

Bylo provedeno několik studií pro zjištění přesnosti měření. Například v porovnání se standardním Bucket testem vykazovala aplikace statisticky prakticky identické spolehlivosti a může být využívána jako relevantní vyšetřovací metoda (DAI, 2020). Visual Vertical pro iOS se dokonce prokázala jako vhodný prostředek pro diagnostiku periferní vestibulárních lézí u dětí se senzitivitou 66.7 % a specificitou 97.0 % (BRODSKY, 2015).

## **Současné výsledky zkoumání percepce vertikality**

### **2.2.6 Vnímání vizuální vertikály v nulovém úklonu hlavy a těla**

Nejčastěji užívaná poloha pro provádění testu SVV je v rovném sedu s napřimeným držením hlavy ( $0^\circ$  úklonu). Hranici odchylky mezi zdravou populací a patologickým vnímáním SVV se snažilo určit mnoho autorů. Jedním z benevolentnějších autorů byl kupříkladu S. Herdman, který stanovil odchylku pro zdravou populaci mezi  $0^\circ$  a  $2,5^\circ$ . Vyšší úhlové odchylky podle něj již značí patologii vestibulárního aparátu. To je v souladu s výsledky měření na zdravých dobrovolnících v Brazílii, kde byl naměřen průměr  $2,6^\circ$  (FERREIRA, 2016). Jiní autoři stanovili o něco přísnější kritéria. Ve své rešeršní studii z roku 2017 udává KHERADMAND průměrnou odchylku vizuální vertikály okolo  $2^\circ$  od gravitační vertikály (KHERADMAND, 2017). Další byla Patricia Michelson porovnávala v roce 2018 přesnost měření The Bucket test method a počítačově vyhodnocované SVV a stanovila průměrnou odchylku zdravých lidí na  $1^\circ$ - $2^\circ$ , což je v souladu s výsledky dalších autorů (AKIN & MURNANE, 2009; HALMAGYI & CURTHOYS, 1999; ZWERGAL, RETTINGER, FRENZEL, DIETERICH, & STRUPP, 2009 in MICHELSON, 2018). Primární cíl této studie byl ovšem jiný, a to porovnat velikost odchylek a spolehlivost výsledků mechanického testu The Bucket test a počítačového testování SVV. Technologicky pokročilejší test vykazoval menší odchylky (SVV v průměru  $\pm 2.17^\circ$  oproti  $\pm 4.23^\circ$  The Bucket testem) a menší rozptyl při opakovaném testování, tedy vyšší uniformitu. Obecně The Bucket test vykazuje vyšší chybovost, a tudíž je nevhodný pro potenciaální klinickou diagnostiku (MICHELSON, 2018).

Toto platí pro vzpřímené držení hlavy a krku. Pokud ovšem začneme měnit jejich pozici, dochází k postupným změnám hodnot a směru odchylek. U menších úhlů úklonu mohou být přítomny odchylky na obě strany, tedy jak *od*, tak *ve směru* úklonu. Čím většího úklonu dosahujeme, tím k výraznějším změnám v percepci vertikality dochází a navyšuje se odklon SVV směrem ke straně úklonu hlavy. Tomuto jevu se obecně nazývá Aubert efekt, nebo také A-efekt a je vyjádřením tzv. „podhodnocování“ vertikály. Maximálních hodnot odklonu dosahuje SVV kolem 130°. Za touto hranicí dochází znovu ke zmenšování odchylky a výskytu jiného druhu neočekávaného výsledku a to tzv. Mullerovu efektu neboli E-efektu. Tento je méně častý a je manifestován opačnou tendencí než u A-efektu. Dochází k „přehodnocování“ vertikality a odklonu vertikály na druhou stranu od pohybu hlavy. Můžeme se s ním setkat občasně při úklonech do 60° a dále pak nad 130°. Ve vyšší ze zmíněných variant se domníváme, že dochází k převrácení vnitřního rámce vertikality od hlavy směrem k nohám. (KHERADMAND, 2017)

Odlišné výsledky získáváme také při pohybech celého těla. Stejně jako při úklonech hlavy, dostáváme při úklonech celého těla ve frontální rovině vyšších hodnot odchylek při zvyšujícím se úklonu nabírající maxima okolo 120-150° a dále se snižuje a nabývá normálních hodnot u plného převrácení (180°). (KHERADMAND, 2017)

U nevidomých osob je ekvivalentem SVV testu SHV. Ve své práci se percepci vertikality těchto osob věnoval Cuturi a spol. a zvolil hned dvě odlišné skupiny nevidomých. První skupina byli nevidomí s časným rozvojem slepoty a druhá skupina lidé se ztrátou zraku v pozdějším věku. Výraznější odchylky směrem k úklonu těla (A-efektu) zaznamenal u osob se získanou slepotou později v životě než v dětství. To se dá vysvětlit tím, že dřívější nutnost orientace nezávisle na zraku vyžaduje rozvoj efektivnějšího echolokačního chování. (CUTURI, 2017)

### **2.2.7 Vývoj percepcie vertikality u dětí**

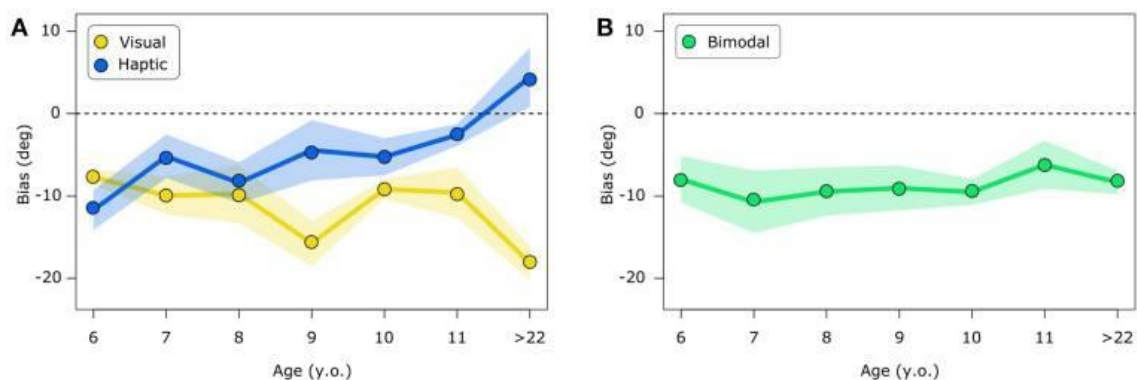
Zajímavé je také rozebrat informace o vnímání posturality v průběhu psychomotorického vývoje. Čas hraje roli v dozrávání mozečku, koncového mozku a získávání posturálních zkušeností. Z tohoto pohledu by mohl být patrný rozdíl ve vnímání vertikality rozdílný u dětí v odlišném věku.

Na rozdíl od zbytku primátů došlo u člověka k velmi rychlému vývoji mozečku a jeho proporčnímu zvětšení oproti zbytku mozku. Jelikož u ostatních primátů se mozeček vyvíjí stejně rychle jako koncový mozek, je jasné, že zaujímá v lidském vývoji extrémně důležitou roli (SALMAN, 2016).

Kromě běžně očekávaných poruch doprovázejících patologii mozečku jako jsou poruchy kontroly pohybu, rychlosti a plynulosti řeči, nebo kontroly očních pohybů, byli při ranných lézích prokázány souvislosti s některými dětskými onemocněními. Kupříkladu poruchy autistického spektra bývají doprovázeny strukturálními změnami na Purkyňových buňkách, schizofrenie negativní změnou velikosti mozečku anebo léze mozečku často vedou k poruchám pozornosti a desinhibovanému chování jako je ADHD (poruchy pozornosti s hyperaktivitou). (SALMAN, 2016)

Co se týče testování SVV, tak nejmladší skupinou, která jím prošla byli děti ve věku 4 let. Na základě retrospektivní průřezové studie bylo analyzováno přes 600 jedinců, kteří byli rozděleni do skupin a otestováni. Výsledky dětí byly horší a progresivně se zlepšovali s věkem. Kupříkladu děti mezi 3-7 lety dosahovaly odchylky okolo  $25^{\circ} \pm 2.2$  a tento výsledek se s věkem zlepšoval až k  $5^{\circ} \pm 1.4$  u dětí ve věku 15-19 let. V této skupině byl také znatelný větší kumulativní odklon u dívek ( $8^{\circ} \pm 2.5$ ) oproti chlapcům ( $2^{\circ} \pm 1.2$ ). (TOUPET, 2016)

V roce 2018 se vývojem vnímání vertikality zabýval tým vedený Cuturi, který vytvořil ucelenější pohled na vývoj SVV u dětí. Ve svém výzkumu rozdělil testované jedince do skupin podle věku s odstupem po jednom roce (skupin od 6. do 11. roku) a účastníci starší 22 let vytvořili další skupinu v celkovém počtu 61 vhodných jedinců. Testovací protokol zahrnoval 3 formy testování v pozici v lehu na levém boku s hlavou v prodloužení těla ( $-90^\circ$ ). U všech skupin se testovala SVV, SHV samostatně a dále obě vertikály zároveň. Počet opakování jednotlivého úkolu činil u dospělých 100 pokusu, u dětí 50. Výsledky ukázaly stejný směr odchylky SVV u všech testovaných směrem k poloze těla a hlavy okolo  $10^\circ$  se znatelným zhoršením u skupiny dospělých (Graf 1). SHV vykazovala se stoupajícím věkem zlepšující se trend. U dětí byla SHV výrazně přikloněna ke straně úklonu a se zvyšujícím se věkem se zpřesňovala až ve skupině dospělých (22+ let) přešla do pozitivních hodnot, tedy směrem od úklonu těla (E-efekt SHV). Ve třetí variantě bylo účastníkům řečeno, že se jedná o stejnou osu a bylo jim umožněno měnit a korigovat orientaci tyče za pomoci informací získaných z obou smyslů. Výsledek této varianty testu měl nejmenší rozptyl napříč věkovými kategoriemi a při grafickém znázornění se nejvíce blížil lineárnímu rozložení. (CUTURI, 2018)



**Graf 1 – Výsledky měření Cuturi.** Na levé straně vidíme spojitý graf průměrných odchylek SVV a SHV rozdělených podle věkových skupin. Napravo je spojitý graf výsledků vertikál určených za pomoci obou smyslů (CUTURI, 2018)

Brodský provedl SVV test na dětech a dospívajících mezi 7 a 18 lety. Účastníci byli rozděleni napříč ročníky podle anamnézy, klinického vyšetření, vyšetření rotační židli a kalorického testů do několika skupin podle druhu obtíží (benigní paroxysmální polohové vertigo, centrální vertigo, nevestibulární závrat' a kontrolní skupina). Průměrné výsledky SVV ve většině skupin nepřekračovala normu zdravé populace ( $0,1-1,2^\circ$ ). Pouze skupina periferní vestibulární ztráty měla výsledky horší ( $2,1 \pm 1,5$ ). (BRODSKY, 2016)

### 2.2.8 Percepce vertikality u dospělých ve vztahu k věku a pohlaví

Studiu vizuální vertikality u zdravých dospělých bylo věnováno dostatek pozornosti, a proto se v této kapitole budu věnovat interpretaci výsledků SVV napříč populací podrobněji. Na první zamyšlení by se dalo předpokládat, že zhoršení stability, vyšší riziko pádů a zhoršená orientace přicházející s vyšším věkem bude korelovat se zhoršeným vnímáním vertikality. Avšak podle výsledků aktuálních vědeckých publikací tomu tak není a na tomto aspektu stárí se podílí vnímání vertikality jen okrajově. Zdá se, že spíše rychlý ubytok rychlých IIb svalových vláken, snížené psychomotorické tempo, pozornost a zhoršená reakční doba vede k vyššímu riziku pádu.

Příkladem, který tento trend vyvrací je například studie z roku 2018 z Malajsie. Studovaný vzorek dospělé populace ( $n=187$ ) byl rozdělen do tří skupiny podle věku na skupina mladých dospělých ( $27.4 \pm 4.1$  let), středně starých dospělých ( $44.3 \pm 4.4$  let) a starších dospělých ( $63.0 \pm 5.5$  let) s minimálním genderovým rozdílem (51.3 % mužů). Výsledky testování ukazovali větší odchylky u starší populace ve všech testovaných variantách, avšak statistická analýza neprokázala rozdíl jako významný. (ZAKARIA, 2019)

Dle Čakrta neexistuje významný rozdíl mezi vnímáním vizuální ani haptické vertikality mezi mladými a staršími jedinci. Pro testování SVV bylo využito analogového Bucket testu, pro testování SHV experimentálního přístroje. Studie se zúčastnilo 56 osob rozřazených do dvou skupin na skupinu seniorů (62-89 let) a mladých účastníků (21-27 let) v poměru 30: 26. Výsledky odchylek SVV byly u obou skupin velmi podobné. Pouze test SHV ukázal prokazatelný rozdíl u starší populace v supinační části testu, jenž byl ale podle autora pravděpodobně zapříčiněn věkem podmíněnou změnou pohyblivosti. Pronační fáze testování (rotace ve druhém směru) tento jev nepotvrdila. (ČAKRT, 2016)

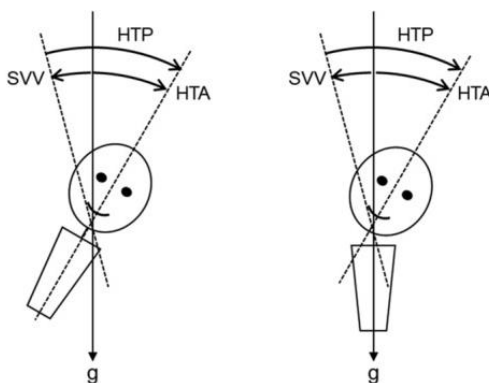
Stejných závěrů dosáhlo mnoho dalších autorů a je tudíž možné předpokládat, že vliv věku na vnímání vizuální vertikality je minimální. (WADA, 2020; FERREIRA 2016; ASHISH, 2016; ZWRGAL, 2009)

Nicméně v běžném životě se nesetkáváme pouze se statickými situacemi, ale velmi často s určováním vertikality za pohybu, z níž vycházející udržování stability. Pohyb zorného pole nám vytváří dynamické pozadí, které efektivně zhoršuje podmínky a klade větší nároky na pozornost a senzoryckou integraci. V těchto podmínkách již stáří hraje roli. Ukazuje se, že při zhoršení podmínek pro vykonávání testu dochází k významnému zhoršení výsledků u starších osob. Různí autoři toho dosáhli různými způsoby. Ve studii vedené Razzakem vykazovali starší dospělí horších výsledků při Rod and Frame testu s falešnými vizuálními vodítky, ačkoliv bez vizuální stimulace měli výsledky srovnatelné s mladšími dospělými (RAZZAK, 2020). Ve výše zmíněné studii z Malajsie měli starší probandi horších výsledků při stavění komplikovanějších objektů do vertikály než při stavění plné, nebo tečkované osy. V jedné z variant bylo úkolem srovnat obrys šipky tvořený plnou lomenou čarou (ZAKARIA, 2019).

Většina testů bývá pro vyšší přesnost a snadnější porovnávání prováděna vsedě. Jak je již výše zmíněno, ve vzpřímeném držení nenachází převážná většina studií statisticky rozdílné hodnoty SVV mezi muži a ženami. Pokud však porovnáme výsledky testování při úklonu hlavy, nacházíme již významné rozdíly mezi věkovými kategoriemi, ba dokonce i mezi ženami a muži.

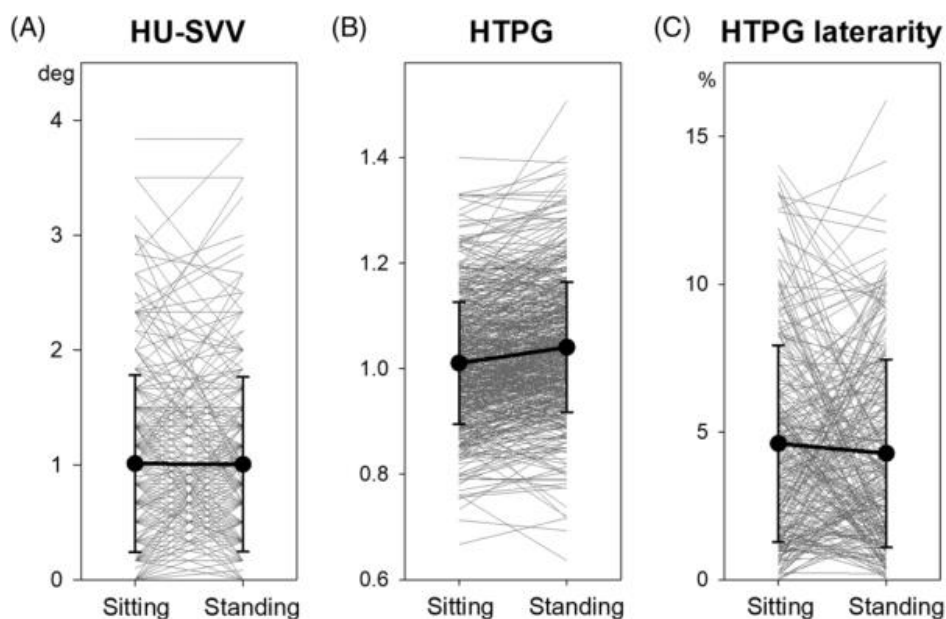
Jednou takovou je rozsáhlá studie z roku 2020. V té byl zkoumán mimo jiné rozdíl mezi vnímanou SVV a reálným úklonem hlavy v prostoru (Obrázek 3). Kromě standardních testů subjektivní vertikály v poloze v zřímě a v úklonu ve frontální rovině (Head roll-tilt), zavedli autoři v tomto experimentu také nový parametr testování, který vypovídá jak o kvalitě percepce vertikality jako funkci otolitových orgánů, tak o kvalitě SS funkcí. (WADA, 2020)

Pro měření vnímání vertikality byl použitý standardní SVV test, jako odraz SS funkce pacienti uváděli subjektivně vnímanou hodnotu úklonu hlavy (HTA). Tato hodnota sloužila k vyjádření kvality percepce skrze vnitřní posturální vertikálu. Rozdílem mezi těmito hodnotami dali autoři vznik novému parametru Percepce úklonu hlavy (HTP), který shrnuje všeobecnou schopnost určování vertikality (Obrázek 4).



**Obrázek 4 – Schéma výpočtu HTP (head tilt perception), který se vypočítává jako rozdíl SVV (subjective visual vertical) a HTA (head tilt angle). Tento parametr je sám o sobě nezávislý na poloze trupu (WADA, 2020)**

Statistická analýza výsledků prokázala zvětšení odchylek SVV s postupujícím věkem při variantě testování v úklonu a obecně horší výsledky žen oproti mužům, a to zejména ve vyšším věku. Mezi polohami vsedě a ve stoje nebyl zaznamenán významný rozdíl při držení hlavy zpříma, avšak při úklonu do strany se odchylky SVV významně zhoršili v poloze ve stoje, ale ne ve variantě vsedě (Graf 2). (WADA, 2020)



**Graf 2 - HTPG (head tilt perception gain) - změna odchylky SVV při variantě úklonu hlavy v sedě, oproti variantě ve stoje (WADA, 2020)**



Jelikož zmíněný nový parametr zatím není dostatečně rozšířen, nedává smysl se vyjadřovat k jeho absolutním hodnotám, ale je možné, že v budoucnu nalezne své uplatnění v dalších výzkumech.

Zmíněné studie nepotvrzují zhoršené vnímání vertikality ve vzpřímené poloze, avšak v náročnějších polohách se zapojením integrace více smyslových orgánů nežli pouze sacculu a utriculu, již můžeme nalézt viditelné rozdíly. (WADA, 2020)

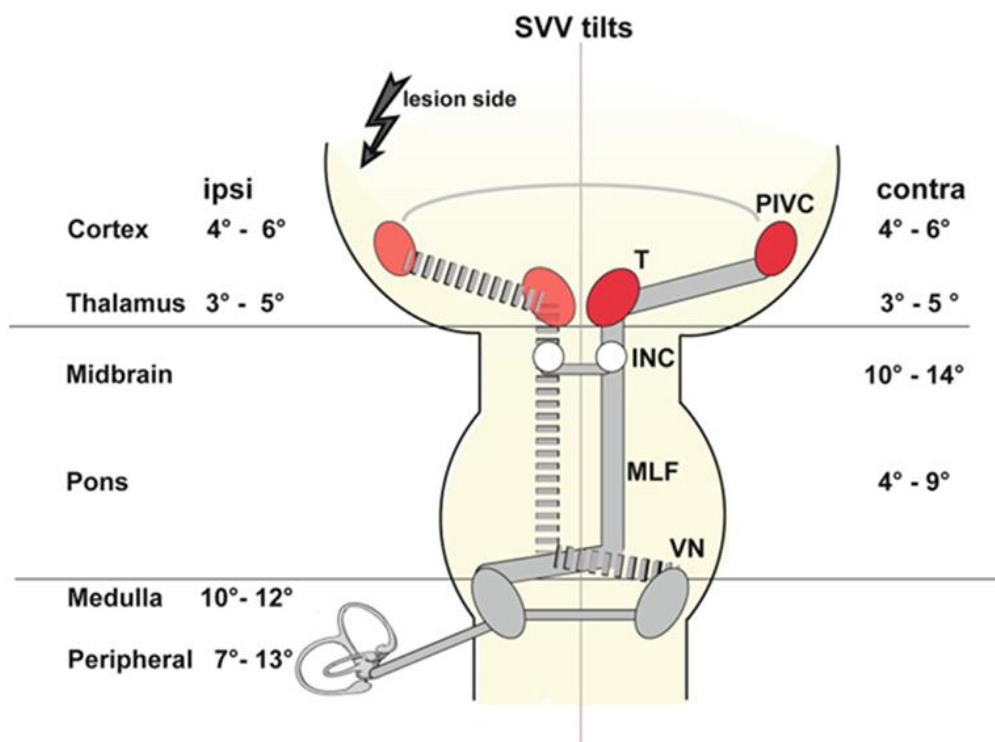
Ačkoliv podle některých starších studií dochází s věkem ke zmenšování objemu sacculu a utriculu, není prokázáný efekt na percepci SVV (IGARASHI, 1993). Objektem zkoumání jiných autorů bylo spojení mezi dynamickou stabilitou a funkcí sacculu a utriculu. Pro tento účel bylo využito krčních a očních vestibulárních evokovaných myogenních potenciálů (VEMPs) v korelaci s rychlostí chůze u starších mužů a žen. Výsledky ovšem nebyli koherentní a nedá se tedy formulovat jasný závěr (LAYMAN, 2015). Podle Y. Agrawala dochází s věkem k významnému zhoršení funkce zejména u polokruhovitých kanálků. Menší poškození pak nalézá na otolitových orgánech, častěji bývá postižen sacculus, nejméně pak utriculus. Kromě zhoršené funkce je pak možné nalézt na zobrazovacích metodách také hypotrofii polokruhovitých kanálků. Ta by mohla být zodpovědná za sníženou stabilitu za pohybu a „dual task“ aktivitách jako je pohled do strany, nebo do telefonu (AGRAWAL, 2012).

### **2.2.9 Percepce vertikality z neuroanatomického hlediska**

Odklon SVV je jeden z nejčastějších projevů patologie vestibulárního systému. Vypovídá o percepci stability ve frontální rovině. Nejčastěji se vyskytující porucha je jednostranná léze, u které lze často předpovědět směr odchylky a její míru. To je možné na základě předešlých testování a rozdělení podle výšky léze v CNS.

K lézi může dojít kdekoli v průběhu vestibulárních drah. Ty vedou informace z otolitových orgánů a polokruhovitých kanálků přes vestibulární jádra a vestibulární oblasti v thalamu do parieto-insulární oblasti kortexu, kde se vestibulární informace zpracovávají. (DIETERICH, 2019)

S pomocí MRI bylo zjištěno, že léze na úrovni kmenu (pro stejné charakteristiky se sem řadí také léze mozečku) mají výrazně větší efekt na SVV a jsou vždy kontralaterální. Naproti tomu jednostranné poškození vestibulárního thalamu a kortexu vede k menším odchylkám, které nemají pevnou stranovou preferenci, mohou tedy být jak ipsilaterální, tak kontralaterální (Obrázek 5). Léze pod úroveň pontu opět vedou k ipsilaterální deviaci SVV. (DIETERICH, 2019)



Obrázek 5 - Schéma graviceptivních drah se znázorněním hodnoty SVV odchylek při jednostranné lézi v závislosti na její úrovni (GLASAUER et al.)

Nejčastějšími příčinami poruch stability s výskytem spontánního vertiga jsou z hlediska vestibulární problematiky akutní vestibulární neuritida (VN) a náhlá senzoricko-neurální ztráta sluchu (SSHL). VN bývá nejčastěji způsobena neurální degenerace na podkladě virové infekce n. vestibularis superior. Pro SSHL je to Neuroabyrinthitis virového původu. U těchto diagnóz byl také zkoumán výskyt abnormální SVV.

Dle Ogawy je vysoký výskyt abnormální odchylky u vestibulárních neuritid okolo 70 % a ve významné většině případu (35/36) odchylka padá ipsilaterálně směrem ke straně léze (OGAWA, 2012). Podobný výsledek naměřil také Kim et al. a Chetana, kteří zaznamenali abnormální úklon SVV u 78 % a 83 % případů. V případě SSHL je odklon výrazně nižší 26,3 % a 10 % (OGAWA, 2012; KIM, 2013). V akutní fázi obou onemocnění byl zaznamenán také spontánní nystagmus (58 % pro SSHL a 90 % pro VN) (KIM, 2013).

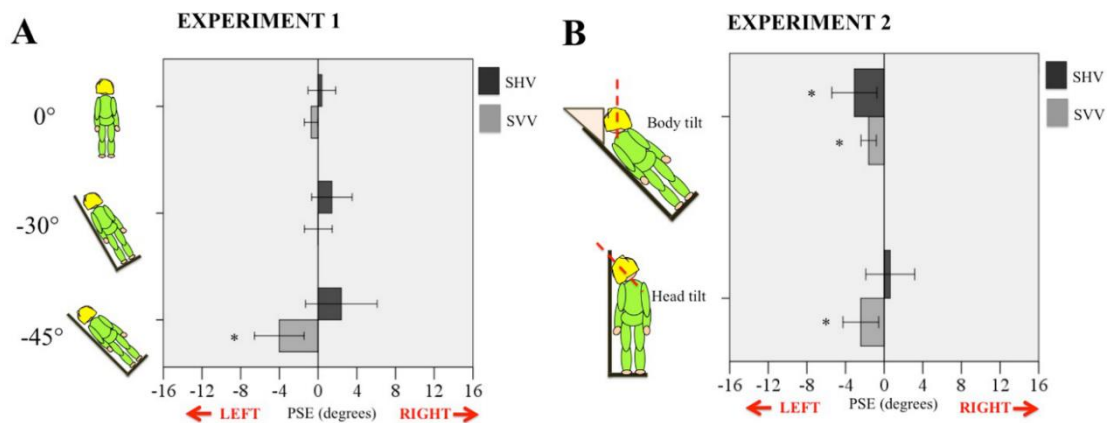
Akutní zhoršení výsledků SVV může také značit výskyt jedné z následujících patologií: akutní vestibulární dysfunkce, jednostranná léze dorzolaterální míchy, nebo unilaterální cerebelární infarktizaci. Pokud poškození nezasahuje do dalších struktur potřebných pro kompenzaci ztracené funkce, tak spontánní návrat SVV do původního stavu trvá většinou 2-4 týdny (DIETERICH, 2019).

Nauzea a vertigo doprovází o další onemocnění a poruchy vestibulárního aparátu, které jsou také doprovázeny poruchou percepce vertikality. Abnormální nález na SVV byl nalezen také u Meniéroví choroby (u 55 % případů) a u BPPV (u 71 %). Chetana zároveň navrhuje použití testu SVV jako levný prognostický prostředek pro hodnocení a předpověď vývoje vestibulárního poškození. (CHETANA, 2015)

### 2.2.10 Vliv pozice hlavy a těla na vnímání vertikality

Abychom ucelili pohled na celou problematiku vnímání vertikality je nutné se podívat na vliv polohy hlavy pro výslednou percepci vizuální vertikality. Samotná změna polohy hlavy do jiné, než vzpřímené pozice mění podmínky pro funkci zejména utriculu, který již není stabilním klidovým nastavením a výstupní informace vyžadují důslednější integraci s dalšími systémy. Mimo jiné vstupují větší měrou do vyhodnocovacího procesu i SS informace ze šlachových tělísek a svalových vřetýnek. Ty dávají signálům z hlavy a těla kontext ze kterého pak CNS vyhodnocuje SVV. Otolity informují o orientaci hlavy v prostoru, krční senzory hodnotí vztah hlavy vůči tělu a SS informace z trupu informují o pozici těla v prostoru. (ALBERTS, 2016)

Tuto práci si vzal na starost FRASER s kolektivem autorů. Studie se skládala ze tří experimentů, každý založený na testování jiné sensorické situace. V první experimentu se zkoumal vliv úklonu celého těla, tj s hlavou v rovině s tělem, na percepci SVV a SHV. Účastníci testu byli nastaveni do tří různých pozic úklonu při 0°, 30° a 45° svírající jejich tělo s vertikální gravitační osou. Ve zmíněných prvních dvou polohách byl vliv pozice na SVV minimální, teprve v úklonu 45° došlo k významnému podhodnocení SVV a tedy k manifestaci A-efektu. SHV vykazovala ve všech třech případech opačný trend a to odklon od polohy těla, který se stupňoval s pozicí. Tento nálezh chování SVV odpovídá výsledkům většiny autorů (Graf 3). (FRASER, 2015)



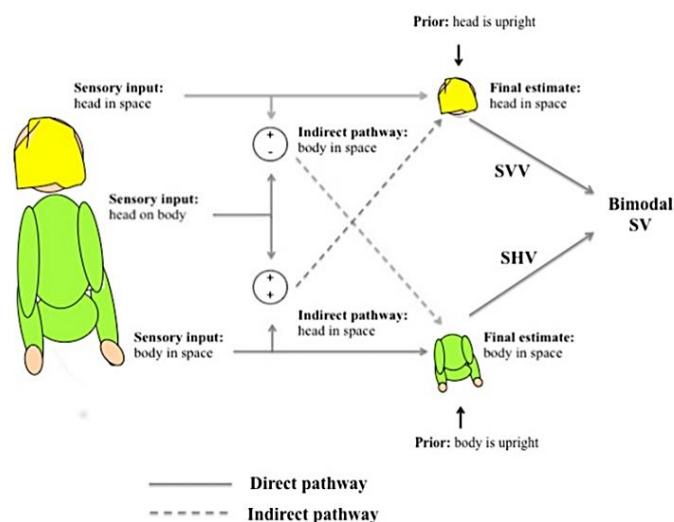
**Graf 3 - Diagram testovacího protokolu prováděné E. Fraser. Experiment 1 - výsledky SHV a SVV při úklonu celého těla do 0°, 30° a 45°. Experiment 2 - SHV a SVV při izolovaném úklonu hlavy, nebo trupu do 45° (FRASER, 2015)**

Ve druhém experimentu bylo cílem zjistit, zdali je SVV závislá zejména na poloze hlavy a SHV na poloze těla. Pro tento účel byli zvoleny pozice v izolovaném úklonu 45° hlavy a stejném úklonu trupu se vzpřímeným držením hlavy (Obrázek 8). Výsledky ukázaly, že pokud ukláníme hlavu, nebo tělo dochází vždy ke změnám percepce SVV, ale pouze úklon trupu ovlivní SHV. Jinými slovy adjustace SVV je ovlivněna SS informacemi, ale pozice hlavy nemá vliv na SHV. Dostatek informací ze zbytku těla pravděpodobně přehluší malé množství krčních vstupů informujících o změně polohy. Pokud porovnáme úklon celého trupu 45° s izolovaným úklonem hlavy 45° z této studie, nalezneme výraznější odchylky SVV v podmínkách prvního experimentu, kdy dochází k posílení vjemu úklonu a sensorický tlak na vertikálu se posiluje SS vstupy. Lze tedy konstatovat, že SS vstupy mají vliv na určování SVV. (FRASER, 2015)

Na druhou stranu pro SHV nelze udělat jistý závěr. Při úklonu hlavy ve vzpřímeném stoji, nedochází ke změně (setrvává E-efekt), avšak pokud dojde při úklonu těla 45° k vychýlení hlavy do vertikály (0°), dochází k přivrácení SHV směrem k pozici trupu. V těchto podmínkách dochází ke změně SS vstupu z krčních svalů na straně úklonu, které jako by přitahovali SHV proti svému protažení. Tento příklad tedy demonstruje závislost SHV na vstupech z krční oblasti. (FRASER, 2015)

Dynamiku interakcí sensorických informací můžeme zjednodušeně demonstrovat na níže otištěném diagramu (Obrázek 6).

Odklon SVV směrem k úklonu hlavy potvrzuje i nejnovější studie z roku 2020 vedená Fionou I. Jäger. U prezentace výsledků této části studie nebyl blíže specifikován směr odchylek a úklonů, ale pokud předpokládáme standardní označení + hodnot pro úklon ve směru hodinových ručiček a – hodnot pro odchylku proti směru hodinových ručiček, tak u testů v 15 stupňovém úklonu hlavy byl stanoven medián SVV 1,66 ve směru pohybu hlavy a při úklonu 30° na 5,33° SVV. To by začilo, že se zvyšujícím se úklonem se zvětšuje úklon SVV a tedy k větší senzitivě pro detekování graviceptivních poruch. Měření v 0 postavení s mediánem 1,33° odpovídají současným poznatkům (JÄGER, 2020).



Obrázek 6 - Zjednodušený diagram Clementova modelu (CLEMENT, 2011) vzájemného propojení percepčních rámců SHV a SVV a dále pak pro určování bimodální subjektivní vertikály (převzato z Fraser, 2015)

### **2.2.11 Význam senzorických a propioceptivních informací pro určování vertikality**

Ačkoliv některé studie poukazují na vliv SS informací z krční oblasti, zdá se, že při správné funkci vestibulárního aparátu a vestibulárního kortexu nejsou somatosenzorické informace nutné pro správné určování SVV.

Příkladem mohou být studie vedené na spinálních pacientech. Při testování SVV a SHV na 14 pacientech po zranění páteře vedoucím ke kompletní paraplegii nebylo prokázána zhoršená schopnost určení obou typů subjektivních vertikál. Ačkoliv bylo provádění testů vedeno s jistou mírou nejistoty výsledky se neodlišovali od očekávané normy. (JOASSIN, 2010)

Ke stejnému výsledku došel i MAZIBRADA ve své případové studii u dvou pacientů s lézí míchy v hrudní oblasti (úplná anestésie pod Th7 a částečná pod Th6) a jednoho pacienta s Guillain-Barré syndromem. Přes výpadek v senzitivní aferenci byli ve všech třech případech výsledky SVV shodné s komparativní normou kontrolní skupiny. Zajímavé na této studii ale je, že ačkoliv odchylky SVV byli shodné se skupinou zdravých probandů, SPV byla u pacienta s Guillain-Barré syndromem výrazně ovlivněna SS deficitem. Jinými slovy není pravda, že špatná identifikace posturální vertikály (SSS) je přítomna spolu s abnormálními výsledky vizuální vertikály (vestibulární systém) a vice versa. (MAZIBRADA, 2008)

To vede k zamyšlení nakolik jsou tyto dvě vertikály od sebe odlišně zpracované v CNS. Tedy jestli abnormality v držení těla a hlavy (skolióza, posttraumatické stavy) budou dosahovat normálních výsledků SVV a naopak, zdali špatný stav vestibulárního systému musí vést ke změnám v postuře, napětí svalů, prevalence funkčních poruch.

Jiným příkladem může být studie zabývající se posturální stabilitou a držení hlavy v předsunu. Ani zde nebyla prokázala souvislost mezi špatným držením krční páteře ve a zhoršenou stabilitou. (ANABELA G SILVA, 2013)

Jiným velmi rozsáhlým zdrojem informací o tomto tématu je meta-analýza z roku 2020 zabývající se percepcí SVV u spinálních onemocnění. Do analýzy bylo zahrnuto celkem 15 studií čítajících 2052 pacientů. Spektrum pacientů zahrnovalo idiopatické skoliózy a bolesti páteře traumatické i netraumatické etiologie. Nálezy studie nebyly koherentní v rámci diagnóz. Zdá se, že důležitým faktorem, který ovlivňuje to, zdali bude narušeno určování SVV je přítomnost bolesti. Pacienti, kteří neměli přetrvávající bolesti dosahovali výsledků shodných se skupinou zdravých probandů. Významných odchylek SVV poté dosahovali všichni pacienti s bolestmi v anamnéze neohledně na diagnózu. Předpokládá se, že toto zhoršení je způsobeno nesouladem propioceptivním, vizuálních a vestibulárních informací (OBRERO-GAITÁN, 2020). Tento nálezy se shoduje s nálezy jiných autorů (SAADAT, 2018).

Jak jsem zmínil výše, percepce SVV může být ovlivněna bolestí díky nesouladu informací přijímanými napříč smysly, respektive modulací propioceptivních signálů algickou aferencí. Otázkou ale zůstává, zdali bolest může skrze modulaci informací po spinokortikálních drahách ovlivňovat i stabilitu. Zdá se, že samotná změna propiocepce daná polohou segmentů není dostatečným důvodem ke zhoršení stability, nebo percepce SVV.

Tomuto tématu se věnoval A. Kogler ve studii z roku 2009. Rozhodl se porovnávat skupinu zdravých subjektů s pacienty po impulzním zranění krční páteře (Whiplash injury). Vyšetřovací protokol zahrnoval testování posturální stability v různých polohách hlavy pomocí EquiTest dynamické posturografie. Průměrná doba od zranění se pohybovala mezi 1-5 lety (průměr 2,7 let) a žádný z testovaných subjektů neměl radiologický nálezy, pouze subjektivní obtíže, v některých případech abnormality při vestibulo-okulomotorických testech. Výsledky ukázali prokazatelně zhoršenou stabilitu u probandů se zraněním v minulosti. V tomto případě ale není jasné, zdali se jsou příčinou zhoršené stability algicko-proprioceptivní abnormality, nebo jsou etiologii utrikulární malpozice. (KOGLER, 2009)



Otázkou ale stále zůstává příčina poruch SVV a stability u skoliotických pacientů. Podle současné úrovně poznání se zdá, že existuje korelace mezi skoliotickou křivkou páteře a výraznějšími odchylkami SVV, SHV a SPV (ANTONIADOU, 2018; HAWASLI, 2015; CATANZARITI, 2014; ČAKRT, 2011). Ačkoliv celá páteř (a významně krční oblast a struktury kolem cervikokraniální junkce) oplývá velkým množstvím propioceptivních receptorů a mohlo by se zdát, že skoliotická deformita může vést k ovlivnění těchto vstupů, nezdá se, že pro vnímání SVV nejsou tyto informace příliš důležité. Pokud vezmeme v potaz výše zmíněné, všechny poznatky potvrzují, že se v případě skolióz jedná o komplexní narušení řízení motoriky, která je dána (hypotetickou) vestibulární dysfunkcí, nebo možnými změnami v integraci senzomotorické informace. Tyto změny, pak vedou také balančním obtížím u skoliotiků. Co však není pravdou, že změněná aference způsobená deformitou hrudníku a páteře se podílí na abnormalitách výsledků SVV.

Asi nejvíce do hloubky se tomuto tématu věnovali výše zmínění Fraser et. Col. V rámci rozsáhlé série experimentů porovnávali SHV a SVV. Předpoklady studie se zakládali na kritice výše přiloženého Klementova modelu. (FRASER, 2015)

V části ze svých experimentů se pokoušeli selektivní rušit signál z jednoho ze zmíněných smyslů účastníků se určování SVV/ SHV. Pro účel narušení SSS využívali aplikaci vibrací do oblasti krčních svalů a pro vyrušení vestibulárního systému disruptivní galvanické vestibulární stimulace (FRASER, 2015). Zdá se, že SVV a SHV využívají každá svého vlastního rámce, který preferenčně vychází ze SS informací (pro SHV), nebo vestibulárních informací (SVV) a nemusí být vždy na sebe navázány. Silnější závislost se ukazuje u SHV na vestibulárních informacích závislých na poloze hlavy. V praxi poté může nastat situace, kdy bude narušena schopnost určování SVV, avšak SHV vertikála může být nedotčena (FRASER, 2015; MAZIBRADA, 2008).

Pro výše zmíněné výsledky můžeme nalézt i neurofyziologické koreláty. Někteří odborníci se domnívají, že pro přijímání somatických graviceptivních informací (thalamo-parietální projekce) se využívá jiných drah, než u vestibulární gravicepce (insulární regiony). (MAZIBRADA, 2008; BARRA, 2010)

Je důležité dodat, že tato nezávislost není absolutní. Jak už je zmíněno výše v předchozí kapitole (Vliv pozice hlavy a těla na vnímání vertikality), tak změna polohy těla při zachované poloze hlavy vzhledem k vektoru gravitační síly, může ovlivnit percepci SVV. V práci Fräsera se jednalo o úklon trupu  $45^\circ$ , což vedlo ke změně percepce z oblasti krku a těla. To potvrzuje i Jäger. (FRASE, 2015; JÄGER 2020)

Ta se zabývala SVV u pacientů trpících krční dystonií. Ti měli v přirozeném držení deviaci postavení hlavy mezi  $-8,5^\circ$  a  $10^\circ$  a v tomto držení dosahovali horších výsledků SVV než kontrolní skupina ( $1,33^\circ$  oproti  $2,65^\circ$ ). U té nebyl držení hlavy také nijak korigováno. Zajímavých výsledků bylo dosaženo při opakovaném měření po 3týdenní aplikaci botulotoxinu do krčních svalů. Opětovné vyšetření v nulovém postavení a ve  $30^\circ$  úklonu hlavy již neukázalo statisticky významnou odchylku od kontrolní skupiny. (JÄGER, 2020)

Význam propioceptivních informací potvrzuje i B. B. Alberts. Ten ve své studii podrobil klasický Bayesiánský model percepce vertikality rozšíření o SS na úklonu hlavy závislé vstupy. K určení výpočtu podílu SS vstupů využil množství testovacích poloh, které zahrnovali provádění SVV testu v různých stupních úklonu celého těla s hlavou v napřímení a dále v úklonech na obě strany. Zpracování výsledků ukázalo, že největší podíl informací z hlavových sensorů (otolitů) je při držení hlavy v rovině s tělem a s úklonem stoupá význam SS informací. (ALBERTS, 2016)

## PRAKTICKÁ ČÁST

### 3 Cíle a hypotézy

Cílem diplomové práce je ověřit platnost následujících hypotéz.

**HYPOTÉZA 1** Průměrná odchylka SVV všech probandů v situaci I. před uvedením do úklonu bude v rozmezí 0-2°.

**HYPOTÉZA 2** Po uvedení hlavy do lateroflexe 20° dojde ke zvětšení odchylek SVV.

**HYPOTÉZA 3** Po uvedení hlavy do lateroflexe dojde k příklonu SVV směrem ke straně úklonu pozici hlavy.

**HYPOTÉZA 4** Po setrvání v úklonu 5 minut dojde ke navýšení odchylek oproti předchozímu měření.

**HYPOTÉZA 5** Ženy budou dosahovat horších výsledků než muži ve všech variantách testování.

**HYPOTÉZA 6** Po návratu do napřímení bude odchylka SVV větší než na začátku experimentu a směr odchylek bude změněn ve směru předchozího úklonu hlavy.

## 4 Metodický postup

### 4.1 Charakteristika výzkumného souboru

Soubor tvořilo padesát jedna zdravých jedinců – 22 mužů a 29 žen. Věkový průměr souboru byl 26.1 let (v rozmezí 19–42 let) (Tabulka 1). Nikdo z vyšetřovaných nebyl v době vyšetření ani v minulosti sledován pro onemocnění vestibulárního aparátu, poruch stability, nebo poruch zraku centrální příčiny. Nikdo z testovaných také v době testování netrpěl akutními bolestmi pohybového aparátu, které by mohli ovlivnit měření. Do souboru nebyli zařazeni ani jedinci po operačním zákroku v oblasti krční páteře, nebo hlavy, či zraněním v dané lokalitě s přetrvávajícími následky. Každý z účastníků studie podepsal před vyšetřením informovaný souhlas k účasti na studii a byl dopředu seznámen s průběhem testování i s tím, jaká se od něj očekává spolupráce.

Kromě pohlaví a věku jsme dále zaznamenávali informace o dominanci ruky pro psaní a dominanci oka pro korové zobrazení obrazu. Po tento účel se využilo testu binokulární test. V tom testovaný zaostřil na vzdálený objekt skrze trojúhelníkovitý průzor tvořený spojenými palci a ukazováčky. Následně byl požádán o zavření střídavě levého. Pokud pozice obrazu zůstala nezměněna při zavření levého oka, byla zaznamenána dominance pravého oka. Pokud se obraz posunul, tak levého.

	<b>Muži (%)</b>	<b>Ženy (%)</b>	<b>Součet/ průměr</b>
<i>Počet osob</i>	<b>22 (43.1)</b>	<b>29 (56.9)</b>	<b>51</b>
<i>Průměrný věk</i>	<b>27.1±5.4</b>	<b>25.3±3.81</b>	<b>26.1±4.6</b>
<i>Dominantní ruka</i>	P=18; L=4	P=28; L=1	P=46; L=5
<i>Dominantní oko</i>	P=14; L=7 X=1	P=23; L=4 X=2	P=37; L=11 X=3

Tabulka 1 - Základní údaje o účastnících studie. Genderové a věkové rozložení, dominance ruky a oka (Pravá, Levá, X – Nelze určit, oboustrannost)

## 4.2 Průběh vyšetření SVV

Všechny měření probíhali na pracovišti Neurologické kliniky 2. LF UK a FN Motol. K vyšetření bylo využito přístroje „Subjective visual vertical“ od francouzského výrobce Synapsys (Obrázek 10). Všechna měření probíhala ihned za sebou. Vyšetření probíhalo v napřímené poloze vsedě na židli s opěrkou. Testovaný seděl ve vzdálenosti 2 metry naproti obrazovce zavěšené na stěně v úrovni očí. Na ni byla při každém pokusu promítána osa v náhodném odklonu od vertikály. Po usazení na židli dostali účastníci brýle s malými otvory pro omezení zorného pole a tím odebrání možných optických vodítek (Obrázek 11) Po celou dobu testování směřoval pohled účastníka na obrazovku tak, aby neviděl její okraje. Korekce osy byla prováděna s přesností na jeden stupeň pomocí dálkového ovladače. Aby nemohlo dojít ke zkreslení výsledků špatným pochopením provádění testu, mohl si každý účastník před testem vyzkoušet princip ovládání.

## 4.3 Protokol vyšetření

Každý z probandů podstoupil jedno 15minutové vyšetření ve FN Motol, na kterém bylo provedeno vyšetření SVV za čtyř různých podmínek. Celkem bylo pořízeno šest testovacích pokusů pro každou situaci, tedy dvacet čtyři hodnot. Pro každou podmínku byla z těchto šesti pokusů následně stanovena průměrná aritmetická odchylka.

- I. První měření bylo provedeno vsedě s hlavou v přirozeném nekorigovaném postavení hlavy. Zaznamenány byly hodnoty odchylky SVV a úklon hlavy s přesností na  $0,5^\circ$ .
- II. Poté byla náhodně zvolena strana úklonu hlavy. Do té byla následně do  $20^\circ$  ukloněna hlava a byla po celou dobu, jištěna experimentátorem při kamerové kontrole. Z důvodu možného ovlivnění z důvodu souslednosti testů (levá -> pravá, nebo viceversa) prováděl každý proband testování pouze k jedné straně.
- III. Následovala výdrž v tomto úklonu po dobu 5 minut, po které bylo zaznamenány další hodnoty.
- IV. Nakonec byl testovaný požádán o návrat zpět do přirozeného držení hlavy a byli zaznamenány jak hodnoty odchylky, tak úklon hlavy.

Celkem bylo ukloněno 26 (51 %) probandů směrem do pravé strany a 25 (49 %) probandů do levé.



**Obrázek 7 - Přístroj Subjective Visual Vertical od výrobce Synapsys, který byl použit ve studii (© Synapsys, 2020)**

Pro možnost sledování úklonu hlavy byl s laskavou pomocí pana prof. Ing. Jiří Matas, Ph.D. a pana Ing. Jan Čech, Ph. D z fakulty elektrotechniky ČVUT v Praze vyvinut jednoduchý program, který podával pomocí kamery okamžitou zpětnou vazbu o úklonu hlavy s přesností na jednu desetinu úhlu. Zdroje dat pro kameru byly dva QR kódy umístěné na dřívku připevněnému k čelence, která pevně naléhala na brýle od přístroje Synapsys. Spojnice středů QR kódů tvořila přímkou, která se porovnávala s vertikálou kamery (Obrázek 8). K měření byla využita kamera od přenosného počítače, který byl vyrovnán pomocí ruční vodováhy. Přesnost měření očekáváme na základě předpoklade správného usazení brýlí s páskem těsně nad ušima a nastavení průzorů v nich tak, aby byl možná pohled skrz s ostrým zrakovým polem. Před začátkem testu byla provedena ještě zraková kontrola usazení čelenky a brýlí.



**Obrázek 8 – Fotografie účastníka měření s ukázkou nastavení brýlí a čelenky s QR kódy pro měření úklonu hlavy**

#### 4.4 Statistické zpracování dat

Zaznamenané hodnoty úklonu hlavy byli ponechány v původním stavu.

Pro hodnocení odchylek SVV ve jsme zvolili tři postupy. Prvním bylo stanovení absolutních hodnot SVV a jejich následná analýza ke zjištění přesnosti určování vertikality z hlediska kvantitativního. Druhý způsob analyzoval původní hodnoty SVV se zohledněním směr úklonu SVV bez vztahu ke straně úklonu hlavy. Poslední způsob se týkal pouze situací, kdy probandi drželi hlavu v úklonu, tedy II. a III. situace. U testovaných s úklonem hlavy vlevo byly normalizovány hodnoty SVV na druhou stranu, tak jako by všichni zvolili úklon vpravo. Tento postup nám umožnil vyhodnotit pohyb SVV v závislosti na straně úklonu hlavy.

Všechna data byla dále vyhodnocena programem jamovi 1.6.15. Před provedením testovací analýzy byly všechny soubory dat podrobeny Shapiro-Wilk testu normality. V případě normálního rozložení byl proveden studentův t-test, v případě nenormálního rozložení byl zvolen dopovídající neparametrický ANOVA test.



## 5 Výsledky statistické analýzy dat

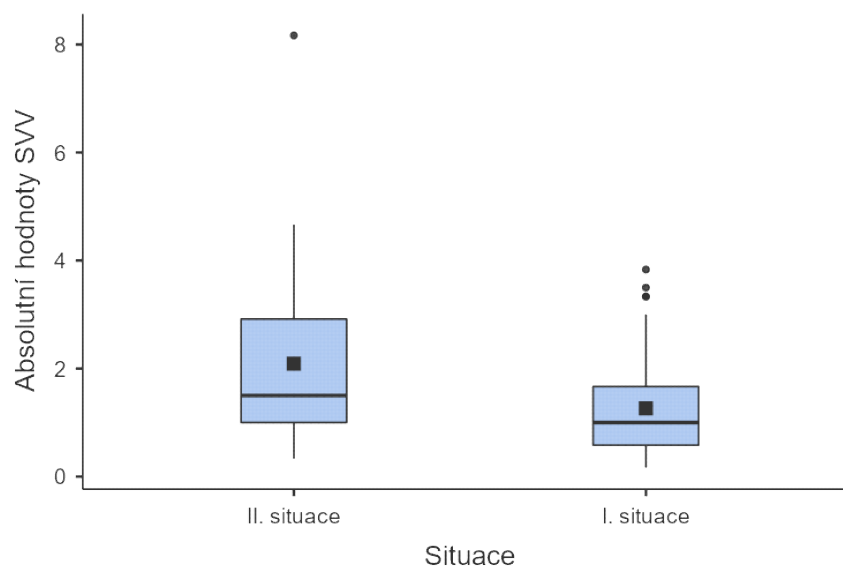
### 5.1 Vyhodnocení SVV – absolutní hodnot

#### 5.1.1 I. situace AH

Průměrná hodnota SVV pro celý vzorek probandů ve vzpřímeném držení byla naměřena  $1,26^{\circ} \pm 0,901$  s rozptylem  $0,811^{\circ}$ , což odpovídá výzkumům ostatních autorů na zdravých probandech. Zároveň nebyli nalezeny významné mezipohlavní rozdíly v absolutních hodnotách SVV při vzpřímeném držení ( $p=0,834$ ).

#### 5.1.2 II. situace AH

Po úklonu hlavy  $20^{\circ}$  do jedné ze stran došlo ke zvětšení odchylek SVV, a tedy ke zhoršení vnímání vertikality ( $p < 0,001$ ). Průměrná odchylka stoupla z  $1,26^{\circ} \pm 0,901$  na  $2,09^{\circ} \pm 1,48$  stupně a spolu s nimi se zvětšil i celkový rozptyl hodnot ( $2,18^{\circ}$ ) (Graf 4).

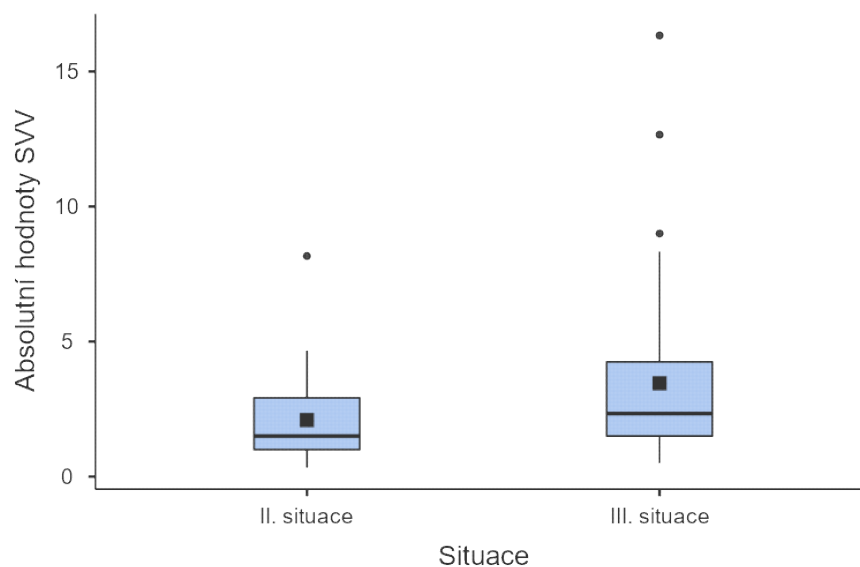


**Graf 4 - Porovnání absolutních hodnot odchylek SVV ve vzpřímeném držení (I. situace) a po úklonu  $20^{\circ}$  (II. situace)**

Ačkoliv mezi pohlavími nebyl prokázán statisticky významný rozdíl ( $p = 0.142$ ), lepších výsledků s menším rozptylem dosahovaly ženy. Průměrná hodnota v této skupině byla naměřena  $1.80^\circ \pm 1.12$  (medián = 1.22) zatímco u mužů  $2.48^\circ \pm 1.80$  (medián = 1.92).

### 5.1.3 III. situace AH

Ve III. podmínce testování SVV, tedy po setrvání 5 minut v úklonu  $20^\circ$  došlo k dalšímu navýšení odchylek SVV celého vzorku s průměrnou hodnotou SVV  $3.45^\circ \pm 3.15$  (medián = 2.33) (Graf 5). Ty dosahovali velkého rozptylu (9.95) s maximem  $16.3^\circ$ . Neparametrický ANOVA test vyhodnotil tuto změnu jako statisticky významnou při hodnotě  $p=0.032$ . Opět nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi muži a ženami ( $p=0.754$ ).



Graf 5 - Porovnání absolutních hodnot odchylek SVV po uvedení do úklonu  $20^\circ$  (II. situace) a po setrvání v úklonu po dobu 5 minut (III. situace)

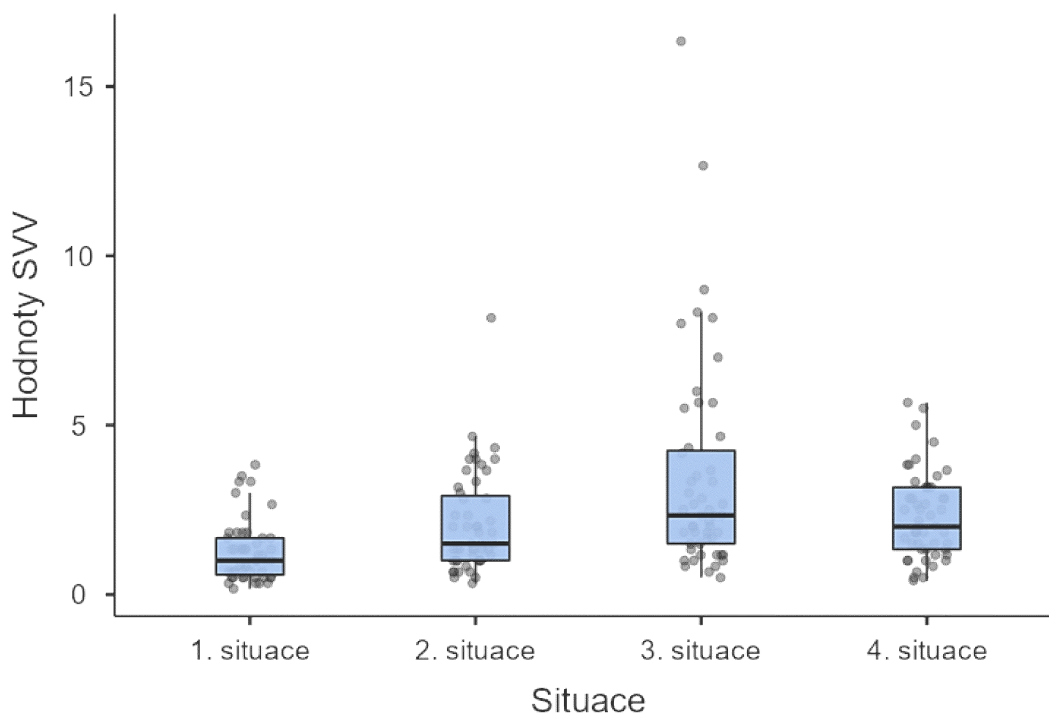
#### 5.1.4 IV. situace AH

Po návratu do vertikály klesla průměrná hodnota odchylky SVV na  $2.32^{\circ} \pm 1.28$  (medián  $2.00^{\circ}$ ). Oproti III. situaci došlo ke zmenšení hodnot SVV o třetinu s výrazným snížením rozptylu, avšak následné statistické srovnání III. a IV. situace neprokázalo dostatečnou statistickou významnost změny ( $p=0.199$ ).

Při porovnání IV. situace oproti situaci před úklonem (I. situace) jsme zaznamenali zvýšení hodnot SVV (Tabulka 2). Průměrná odchylky byla dvojnásobná ( $1.26^{\circ}$  a  $2.32^{\circ}$ ) a tato změna bylo také potvrzena jako statisticky významná ( $p < 0.001$ ).

	AH, SVV I. situace	AH, SVV II. situace	AH, SVV III. situace	AH, SVV IV. situace
Mean	1.26	2.09	3.45	2.32
Median	1.00	1.50	2.33	2.00
Standard deviation	0.901	1.48	3.15	1.28
Minimum	0.167	0.333	0.500	0.417
Maximum	3.83	8.17	16.3	5.67

**Tabulka 2 – Porovnání absolutních hodnot výsledků SVV ve všech čtyřech situacích s doplňujícími deskriptivními informacemi.**



**Graf 6 - Grafické znázornění vývoje SVV ve všech testovaných situacích**

Následné statistické hodnocení vývoje všech čtyřech měření absolutních odchylek SVV bylo opět označeno jako statisticky významné ( $p < 0.001$ ) (Graf 6).

Rozdíl mezi muži a ženami byl pro IV. měření vypočten jako statisticky nevýznamný ( $p=0.254$ ). Při pohledu na souhrnnou tabulku výsledků mužů a žen (Tabulka 3) vidíme odlišný vývoj jednotlivých skupin (Tabulka 3).

U žen vidíme celkově nižší hodnoty absolutních hodnot SVV s pomalejším stoupáním. Zároveň vidíme menší proměny při změně pozic, a to jak do úklonu, tak při návratu do vzpřímeného držení (Z I. do II. situace, nebo z III. do IV. pozice). Zdánlivě nižších výsledků tedy dosahovali ženy, avšak při statistickém porovnání mužů napříč situacemi nebyl prokázán statisticky významný rozdíl.

	Pohlaví	AH, SVV I. situace	AH, SVV II. situace	AH, SVV III. situace	AH, SVV IV. situace
Mean	M	1.36	2.48	4.17	2.49
	Ž	1.19	1.80	2.91	2.19
Median	M	0.917	1.92	2.58	2.25
	Ž	1.17	1.33	2.17	2.00
Standard deviation	M	1.10	1.80	4.18	1.42
	Ž	0.723	1.12	1.98	1.16

**Tabulka 3 – Srovnání výsledků mužů a žen ve všech měřených situacích**

## 5.2 Držení hlavy

### 5.2.1 Držení hlavy a krční páteře před testováním

Pozice hlavy ve vzpřímeném držení těsně před začátkem testování, tedy bez korekci a při nasazených testovacích brýlích ukázala preferované držení hlavy k pravé straně u většiny probandů (42/51 probandů). Dále 6 probandů drželo hlavu v levém úklonu a pouze dvě osoby drželi hlavu zcela rovně. Pozice hlavy se pohybovala v rozmezí od -3.0 do 5.5 stupňů s průměrem v mírném úklonu doprava 1.55 (medián=1.50).

Pro malý počet probandů s dominancí levé ruky a oka nebylo možné provést dostatečně hodnotnou analýzu vlivu stranové dominance úchopu a zraku na pozici hlavy, avšak při zběžném pohledu na dostupná data se zdá být tento trend nepravděpodobný. Přes nedostatek dat jsme provedli testovací analýzu, která nepotvrdila rozdíl mezi pravostranně a levostranně dominantní skupinou ( $p^{\text{úchop}}=0.734$ ;  $p^{\text{oko}}=0.507$ ).

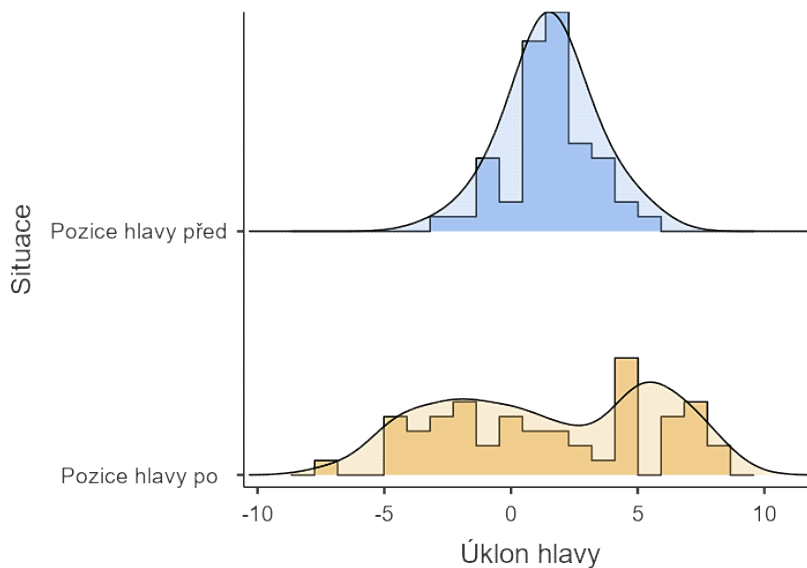
Muži a ženy vykazovali v klidovém držení stejnou míru úklonu hlavy (průměr,  $M=1.61^{\circ}\pm 1.72$ ;  $\bar{Z}=1.50^{\circ}\pm 1.72$ ).

### 5.2.2 Držení hlavy a krční páteře po absolvování testování v úklonu

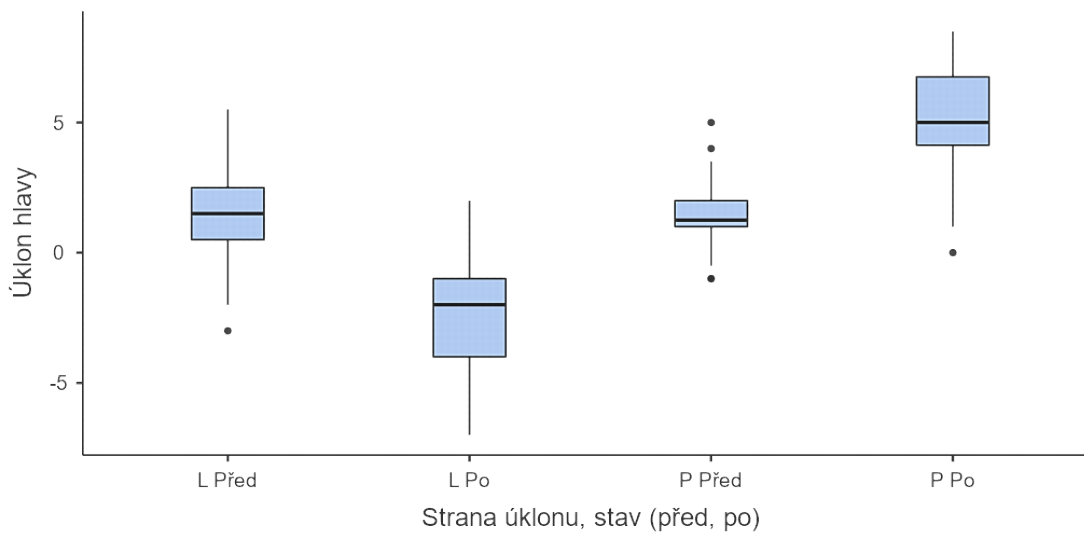
Po absolvování testovací části protokolu v úklonu, došlo k navýšení hodnot úklonu hlavy do obou směrů. Průměrná hodnota úklonu hlavy byla neměřena  $1.45^{\circ}\pm 4.28$  (medián = 1). Test normality ukázal nenormální rozložení ( $p < 0.05$ ) a na základě odpovídajícího testu nebyla prokázána statisticky významná změna ( $p=0.889$ ) (Graf 7).

Na základě logické úvahy jsme provedli oddělenou analýzu pro levou a pravou stranu (graf 8). Ta prokázala, že u všech testovaných v závislosti na volbě strany došlo ke změně přirozené pozice hlavy směrem k testované straně ( $p < 0.001$ ). Průměrný efekt úklonu na klidovou pozici hlavy byl  $3.63^{\circ}\pm 1.47$ . Pro pravou stranu se jednalo o změnu pozice z  $1.56^{\circ}\pm 1.42$  na  $5.02^{\circ}\pm 2.15$ , pro levou stranu o změnu z  $1.50^{\circ}\pm 1.96$  na  $-2.30^{\circ}\pm 2.21$  stupňů.

Nebyly nalezeny rozdíly v držení hlavy a krční páteře mezi ženami a muži jak před, tak ani po měření v úklonech.



**Graf 8 - Hodnoty úklonu hlavy v přirozeném držení při odebrání zrakových vodítek v situaci před testováním**



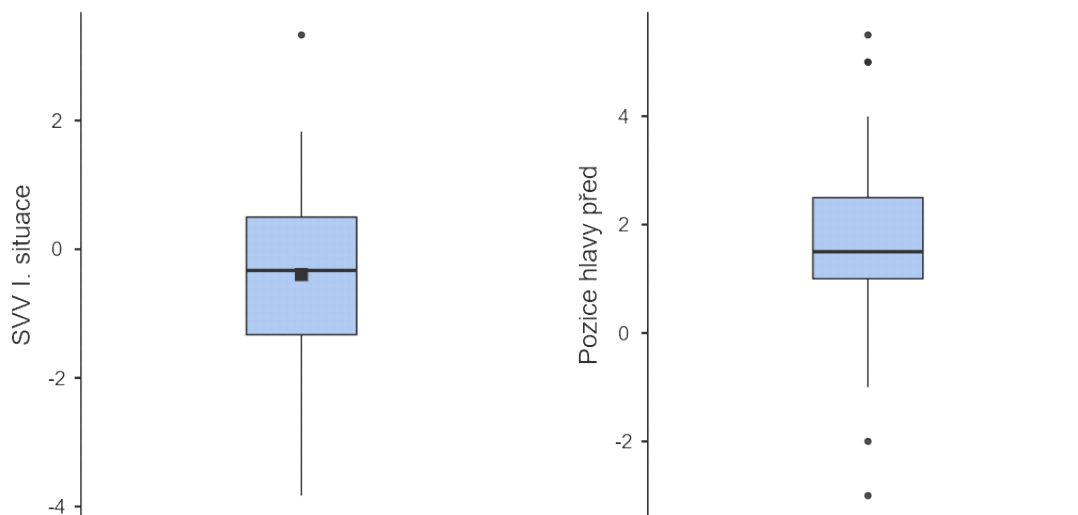
**Graf 7 - Hodnoty úklonu hlavy před a po otestování v úklonu ve vztahu k testované straně (testovací situace I. a IV.)**

### 5.3 Hodnoty SVV se zohledněním směru úklonu

Jelikož bylo zvoleno víceméně vyrovnané rozdělení do skupiny P a L úklonu, nebyl očekáván ve II., III. a IV. situaci významný trend, pouze navýšení odchylky SVV pro celý soubor.

#### 5.3.1 I. situace

Pro první situaci byla naměřena průměrná hodnota SVV  $-0.40^{\circ} \pm 1.48$  (medián = -0,33). Jedná o velmi mírný trend úklonu SVV doleva ( $0^{\circ}$  leží na 55 percentilu), avšak při jeho potvrzení na větším populačním vzorku by znamenal pohyb SVV směrem od preferovaného úklonu hlavy (E-effect) (Graf 9).



**Graf 9 – Porovnání krabicových grafů znázorňující rozdělení naměřených SVV v prvním měření (vlevo) a rozdělení úklonu hlavy v téže situaci (vpravo)**

Co se týká rozdílu mezi pohlavím, tak výsledky měření neukazují významné rozdíly mezi výsledky mužů a žen ( $p=0.686$ ).

### 5.3.2 II. situace

Průměrná odchylka směrových hodnot ve druhém měření byla  $-0.54^{\circ} \pm 2.47$  (medián = -0.66). V porovnání s předchozím měřením se nejedná o viditelnou změnu a ani statistické zpracování nepotvrdilo statistickou významnost ( $p=0.674$ ).

Mezi levou a pravou stranou, stejně jako mezi muži a ženami nebyl nalezen významný statistický rozdíl ( $p^{\text{strany}}=0.331$ ,  $p^{\text{pohlaví}}=0.689$ )

### 5.3.3 III. situace

Ve třetím měření došlo k viditelnému zvýšení průměrné odchylky SVV  $-1.84^{\circ} \pm 4.23$  (medián = -1.40), avšak statistická analýza nepotvrdila významnost změny ( $p=0.208$ ). Navzdory symetrickému počtu úklonů hlavy doleva a doprava, vidíme ve všech třech měření trend prohlubování pohybu SVV směrem doleva.

Mezi levou a pravou stranou, stejně jako mezi muži a ženami nebyl opět nalezen významný statistický rozdíl ( $p^{\text{strany}}=0.821$ ,  $p^{\text{pohlaví}}=0.476$ )

### 5.3.4 IV. situace

Po návratu hlavy do subjektivně vzpřímeného držení došlo oproti III. situaci ke zmenšení rozptylu a průměrné odchylky SVV na  $-0,849^{\circ} \pm 2.54$  (medián = -1), což je očekávaný vývoj vzhledem ke změně pozice hlavy ( $p=0.157$ ).

	SVV I. situace	SVV II. situace	SVV III. situace	SVV IV. situace
Mean	-0.395	-0.537	-1.84	-0.849
Median	-0.330	-0.660	-1.40	-1.00
Standard deviation	1.48	2.47	4.23	2.54
Variance	2.20	6.08	17.9	6.44

**Tabulka 4 – Vývoj hodnot SVV se zohledněním směru napříč měřenými situacemi**

Ačkoliv hodnoty průměrů mohou naznačovat odlišnost percepce SVV mezi I. měření (ve vzpřímené pozici) a IV. měření (opět ve vzpřímené pozici), statistická analýza vyvrátila statisticky významnou odlišnost těchto dvou souborů dat ( $p=0.327$ ). Ani analýza dat opakovaných měření z I. – III. situace nepotvrdila jednotný statisticky významný vývoj ( $p=0.343$ ) (Tabulka 4).



Tyto informace pro nás ale samotné nemají výpovědní hodnotu, jelikož nevyjadřují vývoj SVV vzhledem ke straně předchozího úklonu. Teprve při zohlednění směru úklonu hlavy již nacházíme pevnější vzor chování SVV. Při bližším zkoumání vidíme, že ve 43 případech (84,3 %) se prokázal příklon SVV ve směru úklonu hlavy v předchozím testování. Jedná se o 22 případů z 25 testovaných úklonů doleva a 21 případů z 26 úklonů vpravo. Vyhodnocení odlišnosti těchto dvou skupin před úklonem hlavy a po něm ukázala statisticky významnou odlišnost ( $p=0.001$ ).

Mezi I. a IV. měřením došlo u žen k viditelnému zvýšení odchylek SVV oproti mužům. Ačkoliv neparametrický ANOVA test neprokázal statisticky významný rozdíl mezi ženami a muži ( $p=0.254$ ), průměrná SVV u mužů mezi zmíněnými situacemi zůstala téměř stejná (-0.492 a -0.413), ale u žen došlo k viditelné změně (-0.32 a -1.18).

To je znatelné i v širším pohledu na vývoj percepce u mužů a žen. Při pohledu na tabulku vývoje SVV podle pohlaví můžeme vidět rozdílný trend chování SVV u mužů a u žen (Tabulka 5). U mužů docházelo k postupnému zvyšování odchylek s následným zlepšením ve IV. situaci. Oproti tomu u žen došlo k výraznějšímu zhoršení teprve po setrvání v úklonu bez zlepšení po návratu do vzpřímeného držení. Tento vývoj souhlasí s nálezy analýzy absolutních hodnot odchylek.

	Pohlaví	SVV I. situace	SVV II. situace	SVV III. situace	SVV IV. situace
Mean	M	-0.492	-0.810	-2.69	-0.413
	Ž	-0.320	-0.330	-1.19	-1.18
Median	M	0.165	-0.915	-1.33	-0.205
	Ž	-0.660	-0.330	-1.40	-1.50
Standard deviation	M	1.67	2.96	5.24	2.85
	Ž	1.36	2.05	3.21	2.27

**Tabulka 5 – Rozdíl vývoj hodnot SVV se zohledněním směru a pohlaví. Modře označené vidíme postupně se snižující se hodnoty odchylek u mužů. Červeně označený je přechod zpět do vzpřímené polohy bez efektu na SVV u žen.**

## 5.4 Chování vertikaly vzhledem ke straně úklonu

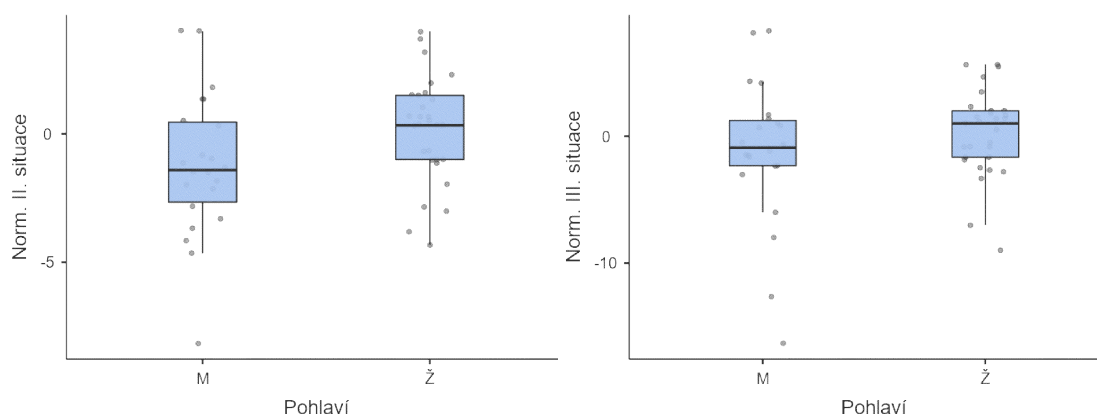
### 5.4.1 SVV

Průměrná odchylka směrových hodnot ve druhém měření byla  $-0.44^{\circ} \pm 2.49$  (medián =  $-0.66$ ). Negativní hodnota naznačuje odklon SVV od polohy hlavy, a tudíž souhlasí s dříve zaznamenaným trendem z I. měření. Statisticky se jedná ale o nevýznamné změnu odchylky ( $p=0.674$ ).

Mezi II. a III. měřením se průměrná hodnota SVV lehce přiblížila nule na  $-0.41^{\circ} \pm 4.6$  (medián =  $-0.5$ ), statistická hodnota změny ( $p=0.889$ ). Přes zvětšení rozptylu hodnot se průměr a medián drží ve III. měření víceméně stejný, ne-li mírně bližší nule, což nereflektuje proběhlou změnu. Tomu odpovídá i rozdělení změn. Při pohledu na data se změna týkala pouze poloviny probandů, druhá polovina dosáhla víceméně stejných výsledků jako v předchozím měření. Kupříkladu v rozmezí  $(-4.5, 4.5)$  se nacházelo ve II. měření 49 hodnot (96 %) oproti malé změně ve III. měření 39 hodnotám (76 %).

### 5.4.2 Pohlaví

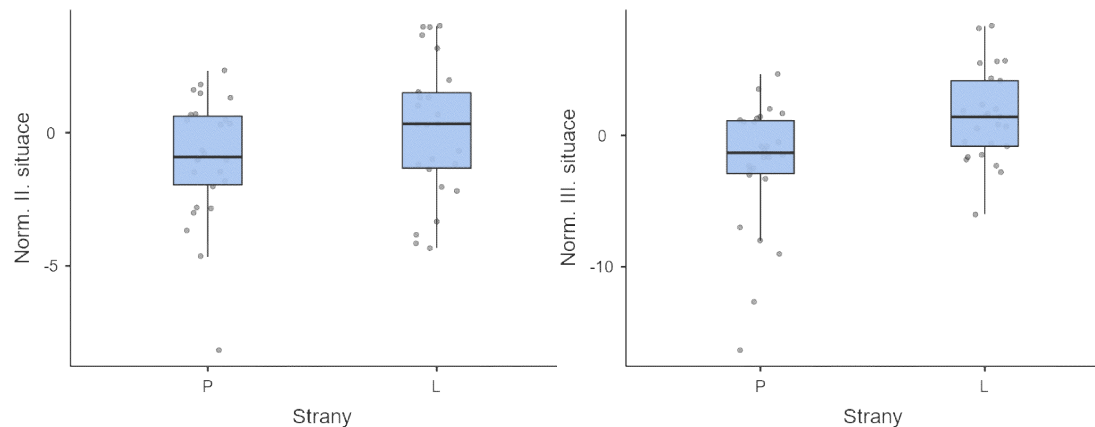
Ve II. fázi měření, tedy po úklonu do strany nacházíme statisticky významnou odlišnost mezi muži a ženami ( $p>0.037$ ). Ženy dosahují po úklonu hlavy přesnějších výsledků (průměr,  $-0.15^{\circ} \pm 2.07$ ) než muži (průměr,  $-1.22^{\circ} \pm 2.81$ ), což je trend, který se ve III. měření nepotvrdil ( $p=0.291$ ) (Graf 10).



Graf 10 – Vývoj rozdílu mezi muži a ženami ve II. a III. situaci

### 5.4.3 Porovnání stran

Porovnání odchylek SVV se zohledněním stran úklonu hlavy neprokázalo ve II. měření statisticky významný rozdíl, ale ve III. měření již ano ( $p=0.006$ ) (Graf 11).



**Graf 11 – Krabicové grafy znázorňující rozdílný vývoj skupiny P a L strany úklonu mezi II. a III. měření.**

Z tabulky 6 je patrné, že skupina L úklonu hlavy dosáhla ve II. situaci pozitivních hodnot, které se ve III. situaci dále navyšovali, zatímco výsledky skupiny P úklonu začali v záporných hodnotách a ve III. situaci se tento trend i nadále prohloubil. Tento soubor dat vyjadřuje chování SVV v upravené situaci jako by všichni účastníci byli podrobeni stejnostrannému testu. Odlišné chování skupiny L úklonu tedy v realitě značí stejnostranný trend pohybu v reálném prostoru. Jinak řečeno u obou skupin došlo jak ihned po úklonu, tak po setrvání 5 minut v úklonu k pohybu SVV směrem doleva. Při hlubším zkoumání získaných hodnot zjistíme, že v 16/26 případech (skupina P) a v 15/25 případech (skupina L) došlo k úklonu odchylky k levé straně (61 % případů).

Descriptives			
	Strany	Norm. II. situace	Norm. III. situace
Mean	P	-0.957	-2.20
	L	0.100	1.46
Median	P	-0.915	-1.33
	L	0.330	1.40
Standard deviation	P	2.33	4.87
	L	2.57	3.50

**Tabulka 6 – Statistická data normalizované SVV pro II. a III. měření. U P skupiny vidíme souhlasný vývoj po setrvání v úklonu, u L skupiny vidíme obrácení trendu.**

## 5.5 Vyhodnocení hypotéz

**H1** Průměrná odchylka SVV všech probandů v situaci I. před uvedením do úklonu bude v rozmezí 0-2°.

Výsledky měření ukazují, že 44/51 probandů se vešlo svými odchylkami SVV do daného intervalu. Zavrhuji proto hypotézu 1 na hladině významnosti 85 %.

**H2** Po uvedení hlavy do lateroflexe 20° dojde ke zvětšení odchylek SVV

Dostupná data ukazují zvětšení odchylek SVV z  $1,26^{\circ} \pm 0,901$  na  $2,09^{\circ} \pm 1,48$  při  $p < 0,001$ . Potvrzuji tedy hypotézu 2 na hladině významnosti 99 %.

**H3** Po uvedení hlavy do lateroflexe dojde k příklonu SVV směrem ke straně úklonu pozici hlavy.

Při zohlednění směru úklonu hlavy jsme naměřili průměrnou odchylku SVV  $-0,86^{\circ} \pm 2,39$ . Ačkoliv negativní hodnota znamená odklon od strany úklonu hlavy, při bližším pohledu vidíme, že v pozitivních hodnotách se pohybovaly výsledky pouze 25 probandů. Zavrhuje tedy hypotézu 3 na hladině významnosti 50 %.

**H4** Po setrvání v úklonu 5 minut dojde ke navýšení odchylek oproti předchozímu měření.

Průměrná odchylka ve III. měření dosáhla absolutních hodnot  $3,45^{\circ} \pm 3,15$ . To znamená zhoršení oproti II. situaci ( $p=0,032$ ). Na tomto základě potvrzujeme hypotézu 4 na hladině významnosti 95 %.

**H5** Ženy budou dosahovat horších výsledků než muži ve všech variantách testování.

Co do absolutních hodnot odchylek, dosáhly ženy ve všech měřeních nižších hodnot SVV než muži. Ani v jednom měření však nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi pohlavími. Vidíme tedy pouze trend. Na základě statického zpracování zamítáme hypotézu 5 na hladině významnosti ( $P=0,346$ ).

**H5** Po návratu do napřimení bude odchylka SVV větší než na začátku experimentu a směr odchylek bude změněn ve směru přechozího úklonu hlavy.

Ve IV. měření došlo k poklesu absolutních hodnot SVV oproti III. měření. Tato změna byla potvrzena na hladině významnosti 99 %. Co se týče směru SVV, ve 43 případech (84,3 %) došlo ke úklonu SVV ve směru předchozí pozice hlavy. Ačkoliv je zde patrný trend, musíme zamítnout hypotézu 5 na hladině významnosti 80 %.

## Diskuse

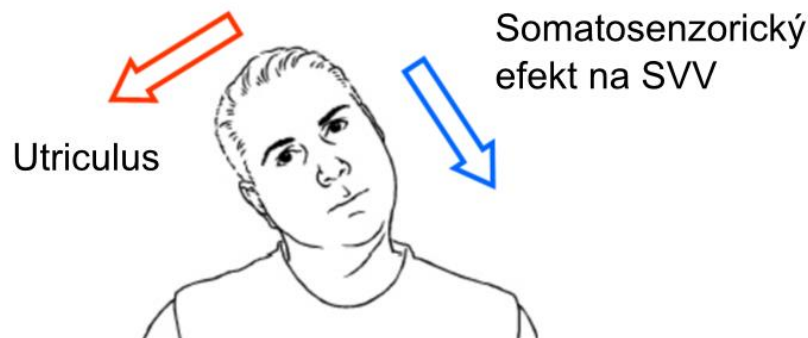
Pro svou diplomovou práci jsem si vybral téma, které zasahuje do několika zdravotních oborů dohromady a zahrnuje jak vestibulární problematiku, fyziologií vzpřímené postury, poruchy stability a percepce okolního světa. Vnímání vertikality se tak promítá do našeho každodenního života jako základní kámen, na kterém staví vyšší pohybové funkce.

Studie se účastnilo 51 zdravých jedinců, kteří se podrobili měření ve 4 sousledných situacích. Na základě sesbíraných dat se nám podařilo prokázat pouze zhoršení vnímání vertikality po úklonu do strany. Ostatní hypotézy se sice nepodařilo podpořit průkaznou statistikou, nicméně, byly zdrojem dalších hodnotných informací a trendů.

Navzdory tomu, že výsledky I. měření statisticky prokázaly naše předpoklady o rozsahu výsledků našeho vzorku populace, data ukazují, že 44 z 51 (85 %) probandů se svými odchylkami SVV vešlo do námi stanoveného intervalu. Ačkoliv tyto výsledky nedosahují na požadovanou hladinu významnosti, získaný průměr i medián zapadají do odhadu  $1,26^{\circ} \pm 0,901$  a při porovnání s naměřenými průměry jiných autorů, kde nalézáme hodnoty jako  $2^{\circ}$  nebo  $2,6^{\circ}$  od gravitační vertikály, odpovídá svými výsledky obecnému obrazu zdravé populace (KHERADMAND, 2017; FERREIRA, 2016). Je také možné, že kdybychom mírně 80 % zvýšili rozptyl, podmínka by již splněna byla.

Po uvedení hlavy do lateroflexe došlo následkem ztížených podmínek ke zvýšení odchylek SVV ( $p < 0,001$ ), což odpovídá očekáváním. Nejvyšší přesnosti detekování změn dosahujeme v napřímeném držení, kdy je pohybový aparát i utriculus a sacculus v rovnovážném postavení, a tudíž nejvíce citlivý k přicházející změnám. Co se týče směru úklonu SVV v této situaci, nepotvrdilo se námi očekávané chování. Podle dostupných studií jsme předpokládali, že dojde k příkonu SVV ve směru úklonu hlavy, ukázal se ovšem naprosto odlišný trend (JÄGER, 2020; FRASER, 2015).

V ideálním případě mozek porovnává vstupy z vnitřního ucha, očí a receptoru napětí ze svalů krku a rozhoduje, zdali se jedná pouze o úklon hlavy, nebo o lineární akceleraci (Obrázek 9). Na základě intenzity těchto vstupů pak je schopen dopočítat předpokládanou vertikálu. Trend nastavený zmíněnými autory se dá vysvětlit dominantním signálem z utriculu, který přetahuje vnitřní vertikálu ve směru úklonu.



**Obrázek 9 - Grafické znázornění efektu utriculu a somatosenzorického systému na vyhodnocování SVV v úklonu (archiv autora)**

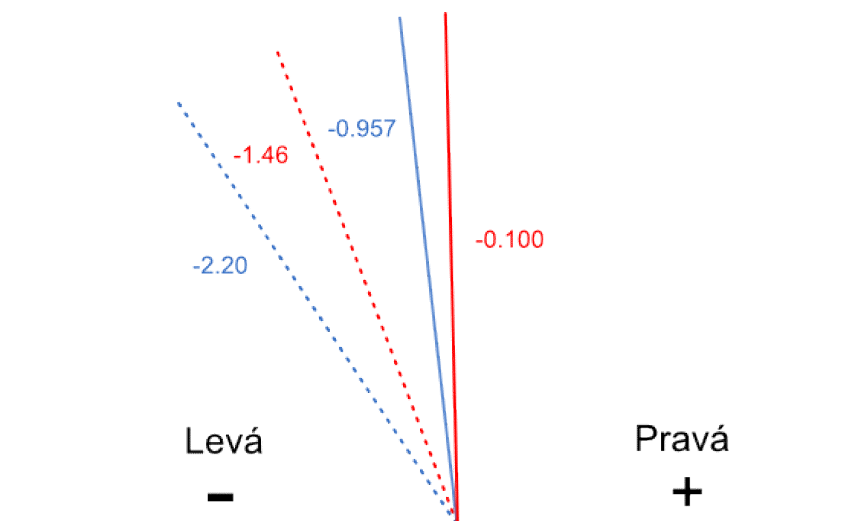
Naše měření neprokázalo žádný trend. Podíl odklonu a příklonu ke straně úklonu hlavy byl víceméně 50 % ku 50 %. Průměrná hodnota reálných hodnot SVV vyšla negativní, což značí většinový úklon SVV do levé strany. Podílově se jednalo o 29 z 51 případů měření a při rozdělení podle stran úklonu hlavy se jednalo o 15 případů odklonu u skupiny P, a 14 případů příklonu u skupiny L. To je téměř zcela symetrické rozložení.

Teprve při pohledu na data z dalšího měření je vidět, že setrvání v poloze vede k zesílení tohoto trendu. Fakticky to tedy znamenalo, že ve skupině P úklonu došlo dominantně k odklonu SVV a ve skupině L úklonu k příklonu (Tabulka 7). Z toho nám vychází, že nezávisle na straně úklonu, změna polohy hlavy a setrvání v ní vedlo k prohlubování pozice SVV do levé strany.

	Strany	SVV II. situace	SVV III. situace
Mean	P	-0.957	-2.20
	L	-0.100	-1.46
Median	P	-0.915	-1.33
	L	-0.330	-1.40

**Tabulka 7 – Vývoj hodnot SVV mezi II. a III. situací (reálné hodnoty)**

Tento výsledek průměrných hodnot ale neznamená absolutní platnost tohoto trendu. V rámci samotných skupin došlo mezi II. a III měřeními přibližně v polovině případů k příklonu a v polovině k odklonu SVV ke korespondující straně. Celkově však ve třetím měření převažoval úklon do levé strany (L=29 versus P=22), což dalo vzniknout negativní hodnotě průměru. Jak již bylo výše zmíněné, ve druhém měření tento efekt na SVV nebyl znatelný. To znamená, že delší setrvání v úklonu přitáhlo SVV více do levé strany.



**Obrázek 10** – Schéma vývoje SVV mezi II. a III. situací. Patrný je celkový posun dat do negativní části spektra. U skupiny P vidíme vývoj z průměrné hodnoty  $-0.96^\circ$  na  $-2.20^\circ$  (červeně). U skupiny L vidíme posun z  $-0.10^\circ$  na  $-1.46^\circ$  (modře)

Bohužel pro toto chování nenacházíme uspokojivé vysvětlení. Co se týče asymetricky aplikovatelných změn, ať vnitřních, nebo vnějších podmínek, očekáváme pravidelnou odezvu, která bude reprodukovatelná na obě strany s víceméně opačným trendem výsledků. V našem případě by toto chování SVV vysvětlovali 2 možné vlivy. Prvním z nich je potenciaálně asymetrická integrace vestibulárních, proprioceptivních a sensorických informací v souvislosti s převládající pravostrannou dominancí ruky a oka. To by mohlo souviset s dominantním hodnocením prostoru z pohledu pravé ruky a oka, které se prohloubilo při dlouhodobém setrvání v deprivaci sensorických vodítek.



Druhou variantou je možná souvislost s aspekty vnějšího prostředí. Je možné, že něco z prostorového uspořádání místnosti mělo skrze akustické změny vliv na vyhodnocování SVV. V současné době je předmětem studií efekt zvukové stimulace na posturální stabilitu. Zdá se, že zvukový stimul může mít pozitivní efekt na stabilitu, a to jak v případě stabilního, tak pohyblivého zvukového zdroje. V našem případě by se mohlo jednat o efekt pozice testujícího a případnou komunikaci, dávání instrukcí orientované z jedné strany, anebo akustické aspekty spojené s umístěním oken v místnosti a zdroji ruchu zvenčí. Většina studií, které potvrdili efekt auditorní stimulace byla sice prováděna ve stoje, avšak to nevyklučuje možný efekt na SVV vsedě. (LUBETZKY, 2020; GANDEMER, 2016) ě

Mezi muži a ženami možná nebyl prokázán významný rozdíl, avšak z pohledu na absolutní hodnoty průměrných odchylek si můžeme všimnout, že ve všech měřeních ženy dosahovaly viditelně lepších výsledků. Další odlišnost mezi muži a ženami lze vyčíst z proměn hodnot mezi jednotlivými situacemi. U mužů je patrný postupný trend zhoršení se znatelným zlepšením po návratu do napřímení. Naproti tomu u žen docházelo ke zhoršení, které ve znatelné míře zůstalo i po napřímení. Tento rozdíl by se dal vysvětlit jako lepší okamžitá orientace, nebo adaptace na změnu polohy u mužů. V takovém případě bychom sice očekávali stejné chování (menší změnu odchylek oproti ženám) také ihned po úklonu (II. situace). Zde se ale domnívám, že stejně jako v třetí situaci úklonu hraje roli další aspekt. U mužů vlivem většího množství svaloviny předpokládáme vyšší změnu napětí krčních svalů při úklonu hlavy a tím pozměněnou proprioceptivní percepci. Tomu také odpovídá fakt, že v prvním a čtvrtém měření byl rozdíl mezi muži a ženami zanedbatelný a projevil se více v prostředních dvou situacích. Tento závěr je ale pouze produktem obecných předpokladů a osobní zkušenosti se skupinou probandů. Měření rozsahů pohybu krční páteře ani tuhosti krčních svalů nebylo předmětem studie a jejich vliv na vnímání vertikality je tudíž ponechána eventuálnímu předmětu dalších studií.

	Pohlaví	SVV I. situace	SVV II. situace	SVV III. situace	SVV IV. situace
Mean	M	-0.603	-0.801	-2.74	-0.583
	Ž	-0.320	-0.330	-1.19	-1.18
Median	M	0.00	-0.830	-1.16	-0.250
	Ž	-0.660	-0.330	-1.40	-1.50

	Pohlaví	AH, SVV I. situace	AH, SVV II. situace	AH, SVV III. situace	AH, SVV IV. situace
Mean	M	1.36	2.48	4.17	2.49
	Ž	1.19	1.80	2.91	2.19
Median	M	0.917	1.92	2.58	2.25
	Ž	1.17	1.33	2.17	2.00

**Tabulka 8 – Srovnání vývoje reálných a absolutních hodnot SVV napříč měřenými situacemi. Patrný je zde odlišný vývoj mužů a žen.**

V situaci po návratu do vertikály došlo opět ke zmenšení odchylek z důvodu zlepšení podmínek pro vyhodnocování SVV. Ty byly v tomto případě přibližně dvojnásobných hodnot oproti I. měření zpříma, což odpovídá zhoršení držení hlavy a pozměněné subjektivní posturální rovině. Pro skupinu P úklonu byla nová subjektivně vzpřímená pozice v pozici  $5.02^\circ \pm 2.15$  a pro skupinu L úklonu  $-2.30^\circ \pm 2.21$ . Tomu odpovídají i hodnoty SVV. Pro skupinu, která strávila 5 minut v levém úklonu byla průměrná odchylka  $-2.54^\circ \pm 1.74$ , pro skupinu v pravém úklonu  $0.78^\circ \pm 2.08$  (tabulka 9).

	Pozice hlavy	SVV
<i>P strana</i>	$5.02^\circ \pm 2.15$	$0.78^\circ \pm 2.08$
<i>L strana</i>	$-2.30^\circ \pm 2.21$	$-2.54^\circ \pm 1.74$

**Tabulka 9 – Porovnání pozice hlavy a hodnot SVV po návratu z úklonu. Levý sloupec ukazuje průměrnou hodnotu úklonu hlavy pro L a P skupinu. Na pravé straně jsou korespondující hodnoty SVV ze čtvrtého měření.**

Zde již původní předpoklad chování SVV z druhé hypotézy platí. Směr SVV odpovídá směru úklonu hlavy, který přetrval jako nová kortikální reprezentace posturální vertikály. Pro potvrzení nebylo možné provést adekvátní test, tudíž nám posloužil procentuální podíl jedinců, kteří odpovídají předpokladu (84 %). Toto množství odpovídajících dat se nám zdá jako dostatečné pro stanovení jasně viditelného trendu na adekvátní hladině významnosti. Je důležité zdůraznit, že ve větších úhlech úklonu hlavy docházelo 80 % k nepravidelnému chování SVV, avšak při jeho zmenšení se SVV začala chovat podle původního očekávání.

Předpokládáme, že tato změna proběhla na základě úpravy propioceptivního tahu ze svalů na straně protažení. Ihned po návratu nedokázali původně protažené svaly dodávat dostatečně kvalitní informaci pro určování vertikality a došlo ke snížení toku informací z propioceptivních receptorů zmíněných svalů. Zároveň s tím došlo ke změně na druhé straně krku. Skupina svalů, která se nacházela ve zkrácení, byla v okamžiku protažena, což způsobilo zvýšení toku informací z anulospirálních aparátů a zvýšenému tahu na SVV.

Utriculus by v tomto případě měl mít stejný efekt na SVV jako SSS. Při lehkém reziduálním úklonu hlavy bude stále vysílat informace o úklonu, a tedy směrem ke straně původní pozice hlavy. Při dlouhodobém úklonu je možné, že došlo k adaptaci CNS na signály z kinocilií a jakémusi útlumu na tyto signály. Po návratu do vertikály by změna signálu mohla být po nějaký čas špatně interpretována. Neočekáváme, ale jinou, než původní signalizaci. Směr pohybu gelatinózní vrstvy s otolity se nezměnila.

Vysvětlení zakládající se zejména na efektu změn v SS vstupech odpovídá výsledkům Bayesianské analýzy týmu B. B. Alberts, který dokládá dominantní podíl tohoto druhu aference oproti ostatním v jiných než klidových podmínkách (ALBERTS, 2016).

Výsledky měření dále ukázaly, že většina účastníků drží preferenčně hlavu v mírném úklonu doprava. Domníváme se, že tento výsledek je dána významnou prevalencí dominance pravé ruky. V případě významnějšího používání jedné strany (což je naprosto normální) dochází k častějšímu zapojování a zatížení stabilizačních svalů pletence ramenního téže strany, nehledě na změnu pozice hlavy a krku, které směřují k používané straně. Ta se může projevat ve smyslu úklonu, nebo rotace.

Vzhledem ke způsobu záznamu a vyhodnocování úklonu hlavy je možné, že v tomto fenoménu, hrálo roli také umístění kamery zaznamenávající QR kódy na čelence. Pro účely testování SVV bylo klíčové, aby do zorného pole účastníka nezasahoval žádný předmět a ten měl tak nerušený pohled na obrazovku s testovací osou. To nás nutilo položit kameru těsně pod úroveň zorného pole, což dále vedlo k záznamu pozici hlavy pod úhlem. Tento fakt mohl způsobit, že rotace hlavy, mohla být kamerou vyhodnocena jako úklon. Tomu by se dalo přecházet zvětšením vzdálenosti mezi kamerou, která by musela mít dostatečné rozlišení pro snímání kódu, a tím snížením úhlu pod kterým pozoruje testovaného.

Mezi faktory, které mohly ovlivnit kvalitu výsledků práce patří kvalita měřících přístrojů a způsob měření a nastavování pozice hlavy, lehké nemanifestní poruchy stability. Ačkoli byly samotnými účastníky vyloučeny poruchy stability, nebo zraku narušující percepci vertikality, je možné, že jedinci trpěli mírnými postupně se zhoršujícími poruchami, o kterých sami nevěděli.

Většina získaných dat byla uniformní, avšak součást měřeného vzorku populace byli i jedinci, kteří svými extrémními výsledky narušovali skupinové trendy. Ve většině případů se jednalo ve všech případech o tytéž osoby. Tyto osoby splňovali zahrnovací kritéria, a tudíž nebylo možné je ze studie vyřadit.

Bohužel jsme nenašli jasný vzor chování SVV při úklonu hlavy, ani v jeho setrvání. V našem vzorku populace byl znatelný trend levostranné odchylky, která nezávisela na straně úklonu. Zároveň bylo prokazatelné zhoršení výsledků SVV při dlouhodobém setrvání v úklonu. Otázka je, zdali tomuto trendu odpovídají i situace s mnohem dlouhodobějším asymetrickým držením hlavy jako jsou skoliózy, tortikolis, nebo stavy se změněnou propriocepcí z oblasti krční páteře.

## ZÁVĚR

V této práci jsem se pokusil vytvořit přibližný rámec proměn percepce vertikality za různých polohových situací hlavy a krční páteře. Data jsme hodnotili jak z hlediska kvalitativního ve smyslu směru úklonu, tak kvantitativní analýzou kontextu percepce vertikality v závislosti na poloze hlavy.

Podářilo se nám prokázat, že dlouhotrvající setrvání v úklonu vede ke zhoršení schopnosti vnímat vertikality oproti okamžitému testu po úklonu. A zároveň jsme pozorovali, že po návratu do subjektivně vzpřímeného držení zůstává percepce vertikality uchýlena směrem k původnímu úklonu. To se dá principiálně připodobnit fyziologickému postrotačnímu nystagmu. Jakou dobu je přítomné zhoršení již naše měření nezahrnovalo, ale při dostatečném množství dat by mohlo sloužit jako doplňkový testem poruch stability jakožto funkce percepce vertikality, nebo bližším kvantifikátorem kvality vnímání vertikality u zdravé populace jako nástroj selekce sportovních talentů. Dále byl nalezen rozdílný trend chování SVV mezi muži a ženami. Zároveň se nám podařilo popsat trendy, které neumíme zcela uspokojivě vysvětlit.

V diskusi jsem se pokusili zamyslet nad vysvětlením popsaných jevů jako výsledek změn ve SS a vestibulární aferenci při multisenzorické integraci a skládání finální představě o vertikalitě. Jak moc je ovlivněna schopnost percepce vertikality setrváváním ve vynucených polohách hlavy, nebo trupu a zdali dochází v tomto směru k nějaké adaptaci může pomoci k lepšímu pochopení interakcí vestibulárního aparátu a podílu SS aference v percepci vertikality a držení těla.

V budoucnu bude potřeba ještě mnoha dalších klinických studií, a to nejen na zdravých osobách, které pomohou blíže porozumět roli SS systému v percepci vertikality.

## REFERENČNÍ SEZNAM

A. KOGLER, J. LINDFORS, L. M. ÖDKVI. Postural Stability Using Different Neck Positions in Normal Subjects and Patients with Neck Trauma. *Acta Otolaryngologica [online]*. 2009, 120(2), 151-155 [cit. 2020-10-28]. ISSN 0001-6489. Dostupné z: doi:10.1080/000164800750000801

RAZZAK Abdul, Rima, Jeff BAGUST a Sharon DOCHERTY. Young and Older Adults Differ in Integration of Sensory Cues for Vertical Perception. *Journal of Aging Research [online]*. 2020, 2020, 1-11 [cit. 2021-02-10]. ISSN 2090-2204. Dostupné z: doi:10.1155/2020/8284504

AGRAWAL, Yuri, Maria Geraldine ZUNIGA, Marcela DAVALOS-BICHARA, Michael C. SCHUBERT, Jeremy D. WALSTON, Jennifer HUGHES a John P. CAREY. Decline in Semicircular Canal and Otolith Function With Age. *Otology & Neurotology [online]*. 2012, 33(5), 832-839 [cit. 2021-4-29]. ISSN 1531-7129. Dostupné z: doi:10.1097/MAO.0b013e3182545061

ALBERTS, Bart B. G. T., Luc P. J. SELEN, Giovanni BERTOLINI, Dominik STRAUMANN, W. Pieter MEDENDORP a Alexander A. TARNUTZER. Dissociating vestibular and somatosensory contributions to spatial orientation. *Journal of Neurophysiology [online]*. 2016, 116(1), 30-40 [cit. 2021-5-7]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.00056.2016

ANTONIADOU, Nikoleta, Vassilia HATZITAKI, Stavros I STAVRIDIS a Eythimios SAMOLADAS. Verticality perception reveals a vestibular deficit in adolescents with idiopathic scoliosis. *Experimental Brain Research [online]*. 2018, 236(6), 1725-1734 [cit. 2021-02-28]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi:10.1007/s00221-018-5256-9

ASHISH, Gaurav, AnnMary AUGUSTINE, AmitKumar TYAGI, Anjali LEPCHA a Achamma BALRAJ. Subjective visual vertical and horizontal: Normative values using a software-based test in the Indian population. *Indian Journal of Otolaryngology [online]*. 2016, 22(3) [cit. 2021-02-22]. ISSN 0971-7749. Dostupné z: doi:10.4103/0971-7749.187972.

BOLANDI Shirejini, M., Farahani, A. and Nazeri, A. 2017. The application of subjective visual vertical in balance system disorders. *Auditory and Vestibular Research*. 27, 1 (Dec. 2017), 1-11.

BRODSKY, Jacob R., Brandon A. CUSICK, Kosuke KAWAI, Margaret KENNA a Guangwei ZHOU. Peripheral vestibular loss detected in pediatric patients using a smartphone-based test of the subjective visual vertical. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology [online]*. 2015, 79(12), 2094-2098 [cit. 2021-03-05]. ISSN 01655876. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijporl.2015.09.020

BRODSKY, Jacob R., Brandon A. CUSICK, Margaret A. KENNA a Guangwei ZHOU. Subjective visual vertical testing in children and adolescents. *The Laryngoscope [online]*. 2016, 126(3), 727-731 [cit. 2021-03-08]. ISSN 0023852X. Dostupné z: doi:10.1002/lary.25389

CATANZARITI, J.-F., O. AGNANI, M.-A. GUYOT, S. WLODYKA-DEMAILLE, H. KHENIOUI a C. DONZE. Does adolescent idiopathic scoliosis relate to vestibular disorders? A systematic review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine [online]*. 2014, 57(6-7), 465-479 [cit. 2021-02-28]. ISSN 18770657. Dostupné z: doi:10.1016/j.rehab.2014.04.003

CLENDANIEL, Richard a Susan HERDMAN. *Vestibular rehabilitation*. 4ed. Philadelphia: F.A. Davis Company, 2013. ISBN 0803639708.

CUTURI, Luigi F. a Monica GORI. Biases in the Visual and Haptic Subjective Vertical Reveal the Role of Proprioceptive/Vestibular Priors in Child Development. *Frontiers in Neurology [online]*. 2019, 9 [cit. 2020-12-27]. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2018.01151

CUTURI, Luigi F. a Monica GORI. The Effect of Visual Experience on Perceived Haptic Verticality When Tilted in the Roll Plane. *Frontiers in Neuroscience [online]*. 2017, 11 [cit. 2021-03-07]. ISSN 1662-453X. Dostupné z: doi:10.3389/fnins.2017.00687

ČAKRT, Ondřej, Kryštof SLABÝ, Jan KMET', Pavel KOLÁŘ a Jaroslav JEŘÁBEK. Subjective visual and haptic vertical in young and elderly. *Journal of Vestibular Research [online]*. 2016, 25(5-6), 195-199 [cit. 2020-12-27]. ISSN 09574271. Dostupné z: doi:10.3233/VES-150562

ČAKRT, Ondřej, Kryštof SLABÝ, Lucie VIKTORINOVÁ, Pavel KOLÁŘ a Jaroslav JEŘÁBEK. Subjective visual vertical in patients with idiopathic scoliosis. *Journal of Vestibular Research [online]*. 2011, 21(3), 161-165 [cit. 2021-02-28]. ISSN 09574271. Dostupné z: doi:10.3233/VES-2011-0414

DAI, Tianyang, George KURIEN a Vincent YW LIN. Mobile phone app Vs bucket test as a subjective visual vertical test: a validation study. *Journal of Otolaryngology - Head & Neck Surgery [online]*. 2020, 49(1) [cit. 2021-03-05]. ISSN 1916-0216. Dostupné z: doi:10.1186/s40463-020-0402-3

DAKIN, Christopher J. a Ari ROSENBERG. Gravity estimation and verticality perception. Balance, Gait, and Falls [online]. Elsevier, 2018, 2018, s. 43-59 [cit. 2021-03-05]. *Handbook of Clinical Neurology*. ISBN 9780444639165. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-63916-5.00003-3

DIETERICH, Marianne a Thomas BRANDT. Ocular torsion and tilt of subjective visual vertical are sensitive brainstem signs. *Annals of Neurology [online]*. 1993, 33(3), 292-299 [cit. 2020-12-14]. ISSN 03645134. Dostupné z: doi:10.1002/ana.410330311

DIETERICH, Marianne a Thomas BRANDT. Perception of Verticality and Vestibular Disorders of Balance and Falls. *Frontiers in Neurology [online]*. 2019, 10 [cit. 2020-10-28]. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2019.00172



DIETERICH, Marianne, Sandra BENSE, Thomas STEPHAN, Thomas BRANDT, Markus SCHWAIGER a Peter BARTENSTEIN. Medial Vestibular Nucleus Lesions in Wallenberg's Syndrome Cause Decreased Activity of the Contralateral Vestibular Cortex. *Annals of the New York Academy of Sciences [online]*. 2005, 1039(1), 368-383 [cit. 2020-12-07]. ISSN 00778923. Dostupné z: doi:10.1196/annals.1325.035

FERREIRA, Maristela Mian, Fabiana CUNHA, Cristina Freitas GANANÇA, Maurício Malavasi GANANÇA a Heloisa Helena CAOVILO. Subjective visual vertical with the bucket method in Brazilian healthy individuals. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology [online]*. 2016, 82(4), 442-446 [cit. 2021-02-22]. ISSN 18088694. Dostupné z: doi:10.1016/j.bjorl.2015.08.027

FRASER, Lindsey E., Bobbak MAKOOIE, Laurence R. HARRIS a Michiel VAN ELK. The Subjective Visual Vertical and the Subjective Haptic Vertical Access Different Gravity Estimates. *PLOS ONE [online]*. 2015, 10(12) [cit. 2020-10-28]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0145528

FUNABASHI, M, TE SANTOS-PONTELLI, JF COLAFEMINA, TZ PAVAN, AA CARNEIRO a OM TAKAYANAGUI. A new method to analyze the subjective visual vertical in patients with bilateral vestibular dysfunction. *Clinics [online]*. 2012, 67(10), 1127-1131 [cit. 2020-10-28]. ISSN 19805322. Dostupné z: doi:10.6061/clinics/2012(10)02

GANDEMER, Lennie, Gaëtan Parseihian, Christophe Bourdin, Richard Kronland-Martinet. Sound and Posture: an Overview of Recent Findings. *Computer Music and Multidisciplinary Research (CMMR)* 2016, Jul 2016, São Paulo, Brazil. (hal-01311011)

HAWASLI, Ammar H., Timothy E. HULLAR a Ian G. DORWARD. Idiopathic scoliosis and the vestibular system. *European Spine Journal [online]*. 2015, 24(2), 227-233 [cit. 2021-02-28]. ISSN 0940-6719. Dostupné z: doi:10.1007/s00586-014-3701-4

HONG, Seok Ha, Sun IM a Geun-Young PARK. The Effects of Visual and Haptic Vertical Stimulation on Standing Balance in Stroke Patients. *Annals of Rehabilitation Medicine [online]*. 2013, 37(6) [cit. 2020-12-14]. ISSN 2234-0645. Dostupné z: doi:10.5535/arm.2013.37.6.862

HOW TO USE THE VISUAL VERTICAL APP [online], poslední aktualizace neznáma [cit. 10.3.2021], © 2017 CHM Solutions Pty Ltd T/A Clear Health Media. Dostupné z: <https://www.clearhealthmedia.com/how-to-use-the-visual-vertical-app/>

CHEN, Wei, Jian-Gang CHAO, Jin-Kun WANG, Xue-Wen CHEN a Cheng TAN. Subjective Vertical Conflict Theory and Space Motion Sickness. *Aerospace Medicine and Human Performance [online]*. 2016, 87(2), 128-136 [cit. 2020-12-09]. ISSN 2375-6314. Dostupné z: doi:10.3357/AMHP.4327.2016

CHETANA, Naik a Rane JAYESH. Subjective Visual Vertical in Various Vestibular Disorders by Using a Simple Bucket Test. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery [online]*. 2015, 67(2), 180-184 [cit. 2021-03-09]. ISSN 2231-3796. Dostupné z: doi:10.1007/s12070-014-0760-0

IGARASHI, Makoto, Ryusuke SAITO, Kanemasa MIZUKOSHI a Bobby R. ALFORD. Otoconia in Young and Elderly Persons: A Temporal Bone Study. *Acta Otolaryngologica [online]*. 2009, 113(sup504), 26-29 [cit. 2021-02-22]. ISSN 0001-6489. Dostupné z: doi:10.3109/00016489309128117

JÄGER, Fiona I., Kirsten PLATHO-ELWISCHGER a Gerald WIEST. Assessment of Static Graviceptive Perception in the Roll-Plane using the Subjective Visual Vertical Paradigm. *Journal of Visualized Experiments [online]*. 2020, (158) [cit. 2021-03-09]. ISSN 1940-087X. Dostupné z: doi:10.3791/60418

FIELD DEPENDENCE [online], poslední aktualizace 17.2.2021 13:01 (UTC) [cit. 5.3.2021], Wikipedie. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Field\\_dependence#Embedded\\_Figures\\_Test\\_\(EFT\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Field_dependence#Embedded_Figures_Test_(EFT))

JOASSIN, R., V. BONNIAUD, J. BARRA, A. MARQUER a D. PÉRENNOU. Somaesthetic perception of the vertical in spinal cord injured patients: A clinical study. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine [online]*. 2010, 53(9), 568-574 [cit. 2021-02-28]. ISSN 18770657. Dostupné z: doi:10.1016/j.rehab.2010.07.005

KHALID, Hassan, Osman TURAN a Jelte E. BOS. Theory of a subjective vertical–horizontal conflict physiological motion sickness model for contemporary ships. *Journal of Marine Science and Technology [online]*. 2011, 16(2), 214-225 [cit. 2020-10-28]. ISSN 0948-4280. Dostupné z: doi:10.1007/s00773-010-0113-y

KHERADMAND, Amir a Ariel WINNICK. Perception of Upright: Multisensory Convergence and the Role of Temporo-Parietal Cortex. *Frontiers in Neurology [online]*. 2017, 8 [cit. 2020-11-29]. ISSN 16642295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2017.00552

KIM, Chang-Hee, Bo Ra NA, Hong Ju PARK a Jung Eun SHIN. Impairment of Static Vestibular Function Is Limited in Patients with Sudden Sensorineural Hearing Loss with Vertigo. *Audiology and Neurotology [online]*. 2013, 18(4), 208-213 [cit. 2021-03-08]. ISSN 1421-9700. Dostupné z: doi:10.1159/000351298

KLATT, Brooke N., Patrick J. SPARTO, Lauren TERHORST, Stanley WINSER, Rock HEYMAN a Susan L. WHITNEY. Relationship between subjective visual vertical and balance in individuals with multiple sclerosis. *Physiotherapy Research International [online]*. 2019, 24(1) [cit. 2020-12-07]. ISSN 13582267. Dostupné z: doi:10.1002/pri.1757

LAYMAN, Andrew J., Carol LI, Eleanor SIMONSICK, Luigi FERRUCCI, John P. CAREY a Yuri AGRAWAL. Association Between Saccular Function and Gait Speed. *Otology & Neurotology [online]*. 2015, 36(2), 260-266 [cit. 2021-02-22]. ISSN 1531-7129. Dostupné z: doi:10.1097/MAO.0000000000000544

LUBETZKY, Anat V., Marta GOSPODAREK, Liraz ARIE, Jennifer KELLY, Agnieszka ROGINSKA a Maura COSETTI. Auditory Input and Postural Control in Adults. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery [online]*. 2020, 146(5) [cit. 2021-5-8]. ISSN 2168-6181. Dostupné z: doi:10.1001/jamaoto.2020.0032

MAZIBRADA, G., S. TARIQ, D. PÉRENNOU, M. GRESTDY, R. GREENWOOD a A.M. BRONSTEIN. The peripheral nervous system and the perception of verticality. *Gait & Posture [online]*. 2008, 27(2), 202-208 [cit. 2021-02-28]. ISSN 09666362. Dostupné z: doi:10.1016/j.gaitpost.2007.03.006

MORI, Laura, Martina PUTZOLU, Gaia BONASSI, et al. Haptic perception of verticality correlates with postural and balance deficits in patients with Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders [online]*. 2019, 66, 45-50 [cit. 2021-03-07]. ISSN 13538020. Dostupné z: doi:10.1016/j.parkreldis.2019.06.026

NAKAMURA, Junji, Tomoyuki SHIOZAKI, Naohide TSUJIMOTO, Koki IKUNO, Yohei OKADA a Koji SHOMOTO. Role of somatosensory and/or vestibular sensory information in subjective postural vertical in healthy adults. *Neuroscience Letters [online]*. 2020, 714 [cit. 2020-10-28]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi:10.1016/j.neulet.2019.134598

OBRERO-GAITÁN, Esteban, Francisco MOLINA, Rafael DEL-PINO-CASADO, Alfonso Javier IBÁÑEZ-VERA, Daniel RODRÍGUEZ-ALMAGRO a Rafael LOMAS-VEGA. Visual Verticality Perception in Spinal Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Medicine [online]*. 2020, 9(6) [cit. 2021-02-28]. ISSN 2077-0383. Dostupné z: doi:10.3390/jcm9061725

OGAWA, Yasuo, Koji OTSUKA, Shigetaka SHIMIZU, Taro INAGAKI, Takahito KONDO a Mamoru SUZUKI. Subjective visual vertical perception in patients with vestibular neuritis and sudden sensorineural hearing loss. *Journal of Vestibular Research [online]*. 2012, 22(4), 205-211 [cit. 2021-03-08]. ISSN 09574271. Dostupné z: doi:10.3233/VES-2012-0447

PERENNOU, D. A., G. MAZIBRADA, V. CHAUVINEAU, R. GREENWOOD, J. ROTHWELL, M. A. GRESTDY a signa. M. BRONSTEIN. Lateropulsion, pushing and verticality perception in hemisphere stroke: a causal relationship? *Brain [online]*. 2008, 131(9), 2401-2413 [cit. 2020-12-14]. ISSN 0006-8950. Dostupné z: doi:10.1093/brain/awn170

ROUSSEAU, Marc, Bérenger BRAEM, Jacques HONORÉ a Arnaud SAJ. An anatomical and psychophysical comparison of subjective verticals in patients with right brain damage. *Cortex [online]*. 2015, 69, 60-67 [cit. 2020-11-29]. ISSN 00109452. Dostupné z: doi:10.1016/j.cortex.2015.04.004

SAADAT, Maryam, Reza SALEHI, Hossein NEGAHBAN, Mohammad Jafar SHATERZADEH, Mohammad MEHRAVAR a Masumeh HESSAM. Postural stability in patients with non-specific chronic neck pain: A comparative study with healthy people. *Medical Journal of The Islamic Republic of Iran [online]*. 2018, 32(1), 196-200 [cit. 2021-02-28]. ISSN 10161430. Dostupné z: doi:10.14196/mjiri.32.33

SALMAN, Michael S. a Peter TSAI. The Role of the Pediatric Cerebellum in Motor Functions, Cognition, and Behavior. *Neuroimaging Clinics of North America [online]*. 2016, 26(3), 317-329 [cit. 2021-03-08]. ISSN 10525149. Dostupné z: doi:10.1016/j.nic.2016.03.003

SCHULER, Jeanine R, Christopher J BOCKISCH, Dominik STRAUMANN a Alexander A TARNUTZER. Precision and accuracy of the subjective haptic vertical in the roll plane. *BMC Neuroscience [online]*. 2010, 11(1) [cit. 2020-10-28]. ISSN 1471-2202. Dostupné z: doi:10.1186/1471-2202-11-83

SILVA, Anabela G. a Mark I. JOHNSON. Does forward head posture affect postural control in human healthy volunteers? *Gait & Posture [online]*. 2013, 38(2), 352-353 [cit. 2020-10-28]. ISSN 09666362. Dostupné z: doi:10.1016/j.gaitpost.2012.11.014

SUBJECTIVE VISUAL VERTICAL - SVV (SYSTEM OR VNG OPTION) [online], poslední aktualizace neznámá, [cit. 20.12.2020], Copyright © 2021 Synapsys. Dostupné z: [Subjective Visual Vertical - SVV \(system or VNG option\) - Synapsys](#)

TOUPET, Michel, Christian VAN NECHEL a Alexis Bozorg GRAYELI. Maturation of Subjective Visual Vertical in Children. *Otology & Neurotology [online]*. 2016, 37(6), 761-766 [cit. 2021-03-08]. ISSN 1531-7129. Dostupné z: doi:10.1097/MAO.0000000000001044

WADA, Yoshiro, Toshiaki YAMANAKA, Tadashi KITAHARA a Junichi KURATA. Effect of head roll-tilt on the subjective visual vertical in healthy participants: Towards better clinical measurement of gravity perception. *Laryngoscope Investigative Otolaryngology [online]*. 2020, 5(5), 941-949 [cit. 2021-02-22]. ISSN 2378-8038. Dostupné z: doi:10.1002/lio2.461

WRIGHT, W. G. a S. GLASAUER. Subjective somatosensory vertical during dynamic tilt is dependent on task, inertial condition, and multisensory concordance. *Experimental Brain Research [online]*. 2006, 172(3), 310-321 [cit. 2021-03-05]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi:10.1007/s00221-006-0347-4

ZAKARIA, Mohd Normani, Rosdan SALIM, Adnan TAHIR, Zuraida ZAINUN a Nurul Syarida MOHD SAKERI. The influences of age, gender and geometric pattern of visual image on the verticality perception: A subjective visual vertical (SVV) study among Malaysian adults. *Clinical Otolaryngology [online]*. 2019, 44(2), 166-171 [cit. 2021-02-10]. ISSN 17494478. Dostupné z: doi:10.1111/coa.13255

ZWERGAL, A., N. RETTINGER, C. FRENZEL, M. DIETERICH, T. BRANDT a M. STRUPP. A bucket of static vestibular function. *Neurology [online]*. 2009, 72(19), 1689-1692 [cit. 2021-02-22]. ISSN 0028-3878. Dostupné z: doi:10.1212/WNL.0b013e3181a55ecf

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Schéma principu vyšetřování SPV (subjektivní posturální vertikály).....	15
Obrázek 2 - – Grafické znázornění způsobu testování jednotlivých modalit percepce vertikality .....	18
Obrázek 3 – Ukázka technického zpracování kbelíku a samotného procesu testování SVV.....	20
Obrázek 4 – Schéma výpočtu HTP (head tilt perception), který se vypočítává jako rozdíl SVV (subjective visual vertical) a HTA (head tilt angle).....	29
Obrázek 5 - Schéma graviceptivních drah se znázorněním hodnoty SVV odchylek při jednostranné lézi v závislosti na její úrovni .....	31
Obrázek 6 - Zjednodušený diagram Clementova modelu (CLEMENT, 2011) vzájemného propojení percepčních rámců SHV a SVV a dále pak pro určování bimodální subjektivní vertikály .....	35
Obrázek 7 - Přístroj Subjective Visual Vertical od výrobce Synapsys, který byl použit ve studii.....	43
Obrázek 8 – Fotografie účastníka měření s ukázkou nastavení brýlí a čelenky s QR kódy pro měření úklonu hlavy .....	44
Obrázek 9 - Grafické znázornění efektu utriculu a somatosenzorického systému na vyhodnocování SVV v úklonu.....	60
Obrázek 10 – Schéma vývoje SVV mezi II. a III. situací. Patrný je celkový posun dat do negativní části spektra. U skupiny P vidíme vývoj z průměrné hodnoty $-0.96^\circ$ na $-2.20^\circ$ (červeně). U skupiny L vidíme posun z $-0.10^\circ$ na $-1.46^\circ$ (modře) .....	61

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Základní údaje o účastnících studie. Genderové a věkové rozložení, dominance ruky a oka (Pravá, Levá, X – Nelze určit, oboustrannost) .....	41
Tabulka 2 – Porovnání absolutních hodnot výsledků SVV ve všech čtyřech situacích s doplňujícími deskriptivními informacemi.....	48
Tabulka 3 – Srovnání výsledků mužů a žen ve všech měřených situacích .....	49
Tabulka 4 – Vývoj hodnot SVV se zohledněním směru napříč měřenými situacemi ....	53
Tabulka 5 – Rozdíl vývoj hodnot SVV se zohledněním směru a pohlaví .....	54
Tabulka 6 – Statistická data normalizované SVV pro II. a III. měření. ....	56
Tabulka 7 – Vývoj hodnot SVV mezi II. a III. situací (reálné hodnoty) .....	60
Tabulka 8 – Srovnání vývoje reálných a absolutních hodnot SVV napříč měřenými situacemi. Patrný je zde odlišný vývoj mužů a žen. ....	63
Tabulka 9 – Porovnání pozice hlavy a hodnot SVV po návratu z úklonu. Levý sloupec ukazuje průměrnou hodnotu úklonu hlavy pro L a P skupinu. Na pravé straně jsou korespondující hodnoty SVV ze čtvrtého měření. ....	63



## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 – Výsledky měření Cuturi. Na levé straně vidíme spojitý graf průměrných odchylek SVV a SHV rozdělených podle věkových skupin. Napravo je spojitý graf výsledků vertikál určených za pomoci obou smyslů .....	26
Graf 2 - HTPG (head tilt perception gain) - změna odchylky SVV při variantě úklonu hlavy v sedě, oproti variantě ve stoje.....	29
Graf 3 - Diagram testovacího protokolu prováděné E. Fraser. Experiment 1 - výsledky SHV a SVV při úklonu celého těla do 0°, 30° a 45°. Experiment 2 - SHV a SVV při izolovaném úklonu hlavy, nebo trupu do 45°.....	34
Graf 4 - Porovnání absolutních hodnot odchylek SVV ve vzpřímeném držení (I. situace) a po úklonu 20° (II. situace).....	46
Graf 5 - Porovnání absolutních hodnot odchylek SVV po uvedení do úklonu 20° (II. situace) a po setrvání v úklonu po dobu 5 minut (III. situace) .....	47
Graf 6 - Grafické znázornění vývoje SVV ve všech testovaných situacích .....	48
Graf 7 - Hodnoty úklonu hlavy v přirozeném držení při odebrání zrakových vodítek v situaci před testováním .....	51
Graf 8 - Hodnoty úklonu hlavy před a po otestování v úklonu ve vztahu k testované straně (testovací situace I. a IV.).....	51
Graf 9 – Porovnání krabicových grafů znázorňující rozdělení naměřených SVV v prvním měření (vlevo) a rozdělení úklonu hlavy v téže situaci (vpravo) .....	52
Graf 10 – Vývoj rozdílu mezi muži a ženami ve II. a III. situaci .....	55
Graf 11 – Krabicové grafy znázorňující rozdílný vývoj skupiny P a L strany úklonu mezi II. a III. měřením. ....	56