

**UNIVERZITA KARLOVA**

**2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

**Bc. Tomáš Kvasnička**

**Vliv vestibulárního systému na tonus  
posturálního svalstva**

**Diplomová práce**

Praha 2021

Autor práce: **Tomáš Kvasnička**

Vedoucí práce: **PhDr. Petr Bitnar**

Oponent práce: **Mgr. Klára Kučerová**

Datum obhajoby: **2021**

## **Bibliografický záznam**

KVASNIČKA, Tomáš. Vliv vestibulárního systému na tonus posturálního svalstva. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2021. 73 s., přílohy. Vedoucí bakalářské práce PhDr. Petr Bitnar.

## **Abstrakt**

Tato diplomové práce se zabývá vestibulárním systémem a jeho vlivu na posturální svalstvo. V teoretické části se nachází shrnutí moderních poznatků v oblasti vestibulárního systému a jeho vliv na další části organismu. Kromě anatomických a fyziologických poznatků je v teoretické části i rešeršní část se studii o vestibulárním systému, postuře, strečinku a jejich vzájemné ovlivnění. Hlavním cílem praktické části je dokázání vlivu vestibulárního systému na svalstvo a to hlavně proximální extenzory a flexory dolních končetin. Ovlivněním vestibulárního systému dochází k prodloužení ischiokrurálních svalů a ke zkrácení flexorů kyčle (*musculus rectus femoris*). V rámci cíle této práce jsme otestovali 39 probandů a měřili jejich výsledky po vestibulární rotační stimulaci. Měření probíhalo goniometricky v kyčelním a kolenním kloubu. Dále se měřili i dynamické parametry páteře a Thomayerova vzdálenost pomocí metrických hodnot. Výsledky byly statisticky a graficky vyhodnoceny. Bylo dokázáno, že vestibulární systém má statisticky velký vliv na ischiokrurální svaly a také na svaly přední strany steh. Nebyl ovšem dokázán vliv vestibulárního systému na paravertebrální svalstvo. V diskuzi byly shrnuty a popsány výsledky všech měření. Dále proběhl návrh využití v terapii a další možné směry pro zkoumání této problematiky.

## **Klíčová slova**

Vestibulární systém, postura, posturální svalstvo

## **Bibliographic identification**

KVASNIČKA, Tomáš. Influence of the vestibular system on the tone of postural muscles. Prague: Charles University, 2nd Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation and Sports Medicine, 2021. 73 p., attachments. Supervisor of the bachelor's theses PhDr. Petr Bitnar.

## **Abstract**

This diploma thesis is focused on the vestibular system and its influence on postural musculature. The theoretical section contains an overview of modern findings concerning the vestibular system and its impact on other parts of the organism. Besides anatomical and physiological findings, the theoretical section also contains a research section which includes studies on the vestibular system, posture, stretching and their mutual effects. The main focus of the practical section is to prove the influence of the vestibular system on musculature, mainly the extensors and flexors of the lower limbs. Affecting the vestibular system causes lengthening of the ischiocrural muscles and shortening of the hip flexors (*musculus rectus femoris*). In this study, we tested 39 probands and measured their results after rotational vestibular stimulation. The measurements were taken goniometrically in the hip and knee joints. Dynamic parameters of the spine were also measured, along with Thomayers distance in metric values. The results have been statistically and graphically evaluated. It was proven that the vestibular system has a large statistical impact on the ischiocrural muscles as well as the frontal thigh muscles. An influence of the vestibular system on the paravertebral muscles was however not proven. In the discussion, the results of all measurements were summarised and described. A suggestion of practical application in therapy was also offered, along with further possible options for research into this issue.

## **Keywords**

Vestibular system, posture, postural muscles

## **Prohlášení**

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

V Praze 13. 6. 2021

Tomáš Kvasnička

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce PhDr. Petru Bitnarovi za odborné vedení, podnětné připomínky, rady, trpělivost a vstřícnost při konzultacích, které pomohly k vyhotovení této práce.

Mé poděkování také patří všem, kteří mně umožnili na této škole studovat a rodině i přátelům za grafickou i stylistickou pomoc a podporu, kterou mi po celou dobu poskytovali.

# OBSAH

<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>8</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1 TEORETICKÁ ČÁST .....</b>	<b>10</b>
1.1 PERIFERNÍ VESTIBULÁRNÍ SYSTÉM .....	10
1.1.1 Vestibulární vláskové buňky .....	12
1.1.2 Otolitový orgán (utríkula a makula) .....	13
1.1.3 Polokruhové kanálky .....	14
1.2 CENTRÁLNÍ VESTIBULÁRNÍ SYSTÉM .....	17
1.2.1 Mozeček.....	20
1.2.2 Thalamus a cortex.....	21
1.2.3 Prostorová orientace a multisenzorická integrace.....	22
<b>2 REŠERŠE.....</b>	<b>23</b>
2.1 POSTURÁLNÍ FUNKCE .....	25
2.2 NERVOVÉ ŘÍZENÍ PROTAŽENÍ .....	28
<b>3 METODIKA .....</b>	<b>31</b>
<b>4 CÍLE A HYPOTÉZY .....</b>	<b>37</b>
<b>5 VÝSLEDKY.....</b>	<b>38</b>
5.1 POPISNÁ STATISTIKA .....	40
5.1.1 Thomayerova zkouška .....	40
5.1.2 Stiborova a Schoberova zkouška .....	46
5.2 GONIOMETRIE .....	48
5.2.1 Kyčelní kloub .....	48
5.2.2 Kolenní kloub .....	50
5.3 VÝSLEDKY HYPOTÉZ.....	53
<b>6 DISKUZE .....</b>	<b>54</b>
<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERENČNÍ SEZNAM .....</b>	<b>61</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>69</b>
<b>SEZNAM GRAFŮ .....</b>	<b>70</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>71</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>72</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>73</b>

## SEZNAM ZKRATEK

- CNS – centrální nervový systém  
GVS - galvanické vestibulární stimulace  
m. - musculus  
MET - mechanoelektrická transdukce  
MIP - mediální intraparietální oblasti  
MVST - Mediální vestibulospinální trakt  
PIR - postizometrická relaxace  
PIVC - parietoinsulární vestibulární kortex  
RHI – iluze gumové ruky (rubber hand illusion)  
ROM - range of motion  
VCR - vestibulocervikální reflexe  
VOR - Vestibulookulární reflex  
VSR - vestibulospinální reflex



## ÚVOD

Vestibulární systém je velice důležitou strukturou k udržování rovnováhy a registraci těla v prostoru. Jako takový systém má i více propojení nejen s různými etážemi CNS, ale i s periferií díky proprioceptorům. Jeho funkce ovlivňování napětí svalů, a díky tomu i vyrovnávání postury v různých balančních situacích, je markantní. Samotný vestibulární aparát samozřejmě také spolupracuje se zrakem a proprioceptory ze svalů.

Myšlenka této práce byla, zda může ovlivnit narušení vestibulárního systému svalstvo a v jakém měřítku. Nápad vznikl velice náhodně při dětských hrách a následně jejich poznatcích ovlivňujících flexibilitu. Při obyčejné rotaci celého těla bylo subjektivně zjištěno snížené napětí v oblasti hamstringů. Uvedený poznatek sloužil k vytvoření této práce a k následnému vědeckému zpracování. Pro testování bylo vybráno zdravých 39 probandů ve věku 20 až 30 let. Testoval se kvantifikantní efekt pomocí měření dynamických testů na páteř a goniometrie v oblastech kyčelního a kolenního kloubu. Testování zahrnovalo i zjišťování délky tohoto efektu.

Práce se skládá z teoretické části důležité pro objasnění neurofyziologických procesů ve vestibulárním systému a jeho vliv na posturu. Dále se skládá z části rešeršní, kde jsou shromážděny poznatky z vlivu vestibulárního systému na svalstvo a strečink a zároveň vliv porušení vestibulárního systému na zrak a propriocepci. Poslední část se zabývá samotným testováním a zpracováním údajů naměřených při vyšetřování.

Cílem práce je zjistit, zda může ovlivnit vestibulární systém napětí nejen posturálního svalstva, ale i zjistit, v jaké míře a jak dlouho může dojít k efektu prodloužení a zda se tento efekt týká jen některých svalů. Podle předpokladů by mělo docházet hlavně k ovlivnění ischiokrurálního svalstva a flexorové skupiny dolních končetin.

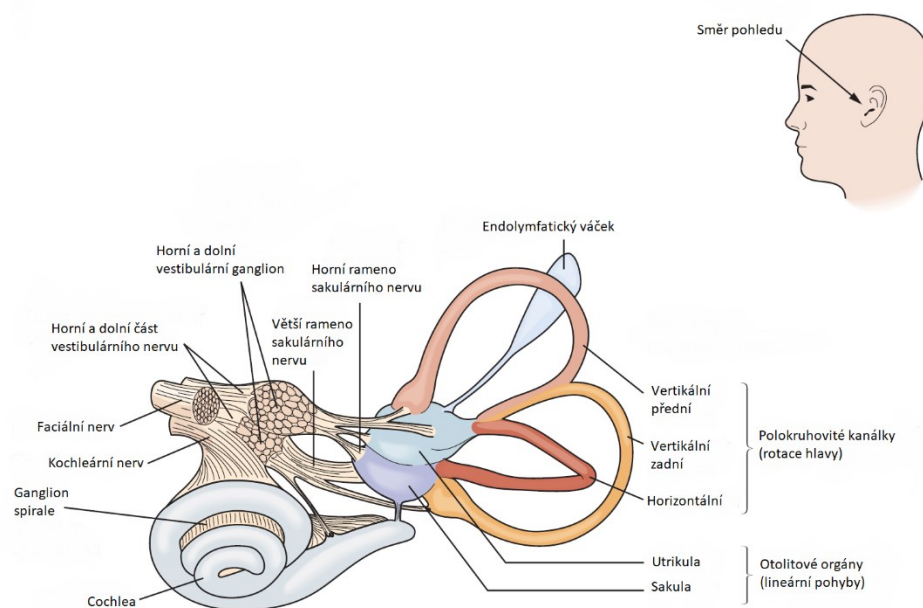
# 1 TEORETICKÁ ČÁST

Vestibulární systém má důležitou funkci pro senzoriku, k vnímání vlastního těla v prostoru a gravitaci. Mimo tyto funkce pomáhá i s motorikou, fixací zraku, hlavy a udržování postury. Vestibulární systém hraje také roli v posturálních reflexech a pohybech očí. Dělí se na periferní a centrální. (Purves et al., 2018)

## 1.1 Periferní vestibulární systém

Periferní vestibulární aparát je párový orgán, tudíž se nachází u obou vnitřních uší. Do periferní části vestibulárního systému řadíme vnitřní ucho a dráhy vedoucí do mozkového kmene (vestibulární nerv). Vnitřní ucho se skládá z membránového labyrintu, sérií trubic a váček nacházejících se v podobně tvarovaných kanálcích, jejichž stěny jsou kostěný labyrint temporální kosti. (Waxman, 2020)

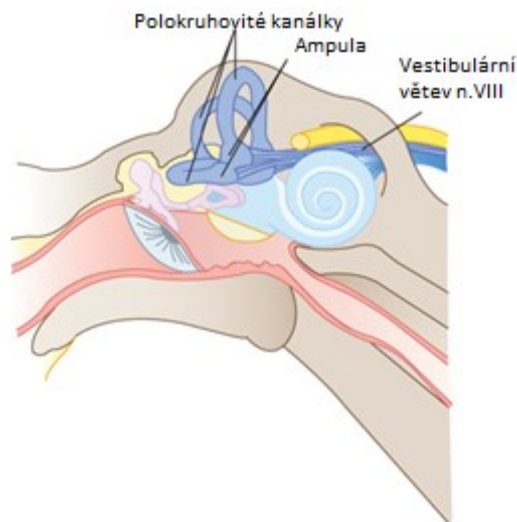
Do vestibulární části membránového labyrintu patří utrikula, sakula a tři polokruhovitě (semicirkulární) kanálky. Každý z těchto kanálků je zahnutý do kruhovitěho tvaru a ústí do utrikuly. (Goldberg et al, 2020). Utrikula a sakula jsou odpovědné za lineární zrychlení hlavy (translační pohyb hlavy) a udržování její pozice vůči působení gravitace. Polokruhovitě kanálky se zaměřují na úhlové zrychlení hlavy (rotace). (Purves et al., 2018)



Obrázek 1 – Periferní vestibulární systém, pohled z boku (Waxman, 2020)

Ve většině směrů se membránový labyrint skládá z jednoduchého a drsného epitelu obaleného ve vláknitém obalu, který je připojen ke kostěnému labyrintu pomocí pojivových trabekul. Každá část epitelu je rozdělena na sensorický epitel nebo neuroepitel, který obsahuje vláskové buňky a nervová vlákna. (Goldberg et al, 2020)

Neuroepitelum se skládá z matrixu vláskových buněk a podpůrných buněk, přiléhající na pojivové stroma, kterým proudí krevní cévy a nervová vlákna. Nervové vlákna jsou tří typů: aferentní neboli sensorická vlákna pocházející z bipolárních buněk ve vestibulárním nebo Scarpa ganglionu, eferentní vlákna nesoucí vzruchy z mozkového kmene a automatické vlákna přicházející z ipsilaterálního superiorního cervikálního ganglia (Densert, 1975; Hozawa and Kimura, 1989). V každém polokruhovitěm kanálku se nachází samotný vestibulární orgán, který se nazývá ampula. Rozšíření výstupu kanálku je těsně spojeno s utrikulou. Podle jejich sedlovitého tvaru se někdy nazývají jako ampulární krysty. Zbylé dvě neuroepitelie zde jsou spojeny, jedna je spojena s utrikulou a druhá s makulou. Dohromady jsou zploštělé a vytváří tvarovanou stromu, která se nazývá utrikulární a sekulární makula. (Goldberg et al, 2020)



**Obrázek 2 – Polokruhovitě kanálky (Waxman, 2020)**

Labyrint je spojen s kochleou a iontové prostředí koncového vestibulárního orgánu je jí velice podobné. Membránový labyrint se nachází v kostěném labyrintu a prostor mezi těmito labyrinty je vyplněn perilymfou. Tato perilymfa je extracelulární kapalina, jejíž složení je podobné mozkomíšnímu moku. Membránový labyrint je vyplněn endolymfou, což je extracelulární kapalina neobvyklého složení, podobného jako intracelulární kapalina. (Goldberg et al, 2020)

Rotace hlavy v prostoru registruje každý výstup kanálků v posunu endolymfy a kupuly. Díky jejich tuhosti větší než endolymfy je otokinální membrána každého otolitového orgánu drážděna lineárním pohybem v makulárním prostoru. Pohyb v kupule nebo otokinální membráně ohýbá vláskové buňky, které posílají signály k vyplavení neurotransmiteru ze synaptické membrány vláskových buněk a vyvolávají aferentní vzruchy. (Goldberg et al, 2020)

### ***1.1.1 Vestibulární vláskové buňky***

Vláskové buňky se nacházejí v utrikule, sakule a v ampule, která je lokalizována u báze každého semicirkulárního kanálku vedle utrikuly. V každé ampule jsou vláskové buňky, které svými svazky vystupují do endolymfy membránového labyrintu. Díky těsným spojům dochází k tomu, že bazální část vláskových buněk se nachází v perilymfě a samotné tělo vláskové buňky je lokalizováno v endolymfě. (Goldberg et al, 2020)

Tyto vláskové buňky jsou především důležité snímající elementy. Buňky vycházející z apikální části se nazývají vláskový svazek a skládají se z postupně uspořádaných stereocilií a jedné kinocilie. Svazky vláskových buněk jsou zapuštěny v gelatinozní struktuře, překrývající cristy nazývající se cupula. Struktury každé makuly se nazývají otocinální (ušní krystal) nebo otolitická (ušní kámen) membrána a odráží přítomnost uhlikových krystalů vestavěných na jejich povrchu. Celý tento orgán se označuje otolitový orgán. (Purves et al., 2018)

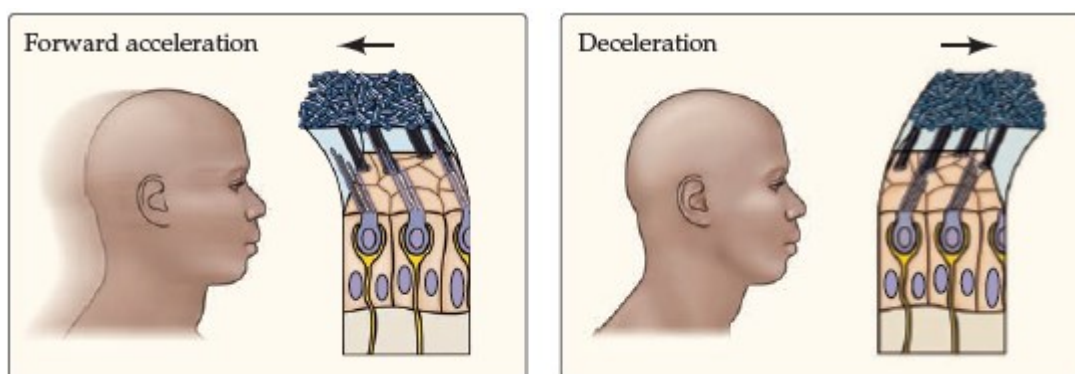
Vláskové buňky přenáší nepatrné posuny na membránový potenciál receptorů, díky čemuž vytváří základ vestibulární funkce. Vláskové buňky vestibulárního systému jsou velice podobné vláskovým buňkám sluchového systému. Pohyb stereocilie ke kinocilii ve vestibulárním orgánu otevírá mechanicky řízené kanálky nacházející se na vrcholu stereocilií, díky čemuž dochází k depolarizaci vláskových buněk a vypuštění neurotransmiteru (excitaci) na vestibulární nerv. Pohyb stereocilie od kinocilie způsobuje zavření kanálků a hyperpolarizaci vláskových buněk a snížení synaptického přenosu (inhibici) na vestibulární nerv. (Purves et al., 2018)

Dvoufázová povaha receptorového potenciálu znamená, že některé transdukční kanály jsou otevřené při absenci stimulace, takže vláskové buňky tonicky uvolňují vysílač, čímž generují značnou spontánní aktivitu ve vestibulárních nervových vláknech. Jedním z důsledků těchto spontánních akčních potenciálů je to, že rychlost vedení vestibulárních vláken se může zvyšovat nebo snižovat způsobem, který věrně napodobuje potenciály receptorů produkované vlasovými buňkami. (Purves et al., 2018)

Adaptace ve vestibulárních vlasových buňkách, zprostředkovaná vstupem vápníku mechanoelektrickou transdukcí (MET) a napětově řízenými kanály vápníku, je pro vestibulární funkci obzvláště důležitá, protože umožňuje vlasovým buňkám i nadále signalizovat malé změny v poloze hlavy i přes mnohem větší tonické síly gravitace. (Purves et al., 2018)

### 1.1.2 Otolitový orgán (*utrikula a makula*)

Dva otolitové orgány, utrikula a sakula, detekují naklání a translační (lineární) pohyb hlavy. Oba tyto orgány obsahují senzorický epitel, makulu, která se skládá z vláskových buněk a přidružených podpůrných buněk. Vláskové buňky a jejich svazky jsou kryty želatinovou vrstvou. Nad touto vrstvou je vláknitá struktura a otolitická membrána, ve které jsou vloženy krystaly uhličitanu vápenatého zvané otoconia. Otoconia činí otolitickou membránu těžší než struktury a tekutiny, které ji obklopují; tedy když se hlava nakloní, gravitace způsobí posun membrány vzhledem k makule. Výsledný stříhový pohyb mezi otolitickou membránou a makulou ohýbá vláskové svazky, které jsou zapuštěny do spodního želatinového povrchu membrány. Toto ohýbání vláskových svazků generuje receptorový potenciál ve vlasových buňkách. Ke smykovému pohybu mezi makulou a otolitickou membránou dochází také tehdy, když hlava podstoupí translační pohyby (viz Obrázek 3). (Purves et al., 2018)



**Obrázek 3 – Pohyb vláskových buněk při translačních pohybech hlavy (Purves et al., 2018)**

Orientace svazků vlasových buněk je organizována vzhledem ke striole, což ohraničuje překrývající vrstvu otoconie. Striola tvoří osu zrcadlové symetrie, takže vlasové buňky na opačných stranách strioly mají protichůdné morfologické polarizace. Naklonění hlavy podél osy strioly tedy vzruší vlasové buňky na jedné straně a inhibuje vlasové buňky na druhé straně. Sakulární makula je orientována vertikálně a utrikulární makula horizontálně s kontinuální variací morfologické polarizace vlasových buněk umístěných v každé makule. Kontrola excitačních orientací v makulech naznačuje, že utrikula reaguje na translační pohyby hlavy v horizontální rovině a na boční náklony hlavy, zatímco váček reaguje na vertikální translační pohyby hlavy a na naklonění hlavy nahoru nebo dolů. (Purves et al., 2018)

### **1.1.3 Polokruhové kanálky**

Semicirkulární kanálky jsou zahnuté do tvaru kruhu a na každém svém konci ústí do utrikuly. Každý ze tří kanálků se nachází v jiné rovině a jsou na sebe kolmé. Jeden kanálek je v horizontální a dva vertikální, z čehož jeden jako anteriorní a druhý jako posteriorní. (Goldberg et al, 2020)

Oba vertikální kanálky se při jejich ústí spojují a vytváří tzv. *crus commune*.

To, že každý kanálek se nachází v jiné rovině, má své důvody. Jednotlivé kanálky totiž zpracovávají úhlové zrychlení ležící v jejich dimenzi. Díky tomu tedy vnímáme úhlové zrychlení naší hlavy ve 3D. (Goldberg et al, 2020)

Zatímco otolitové orgány se zabývají především snímáním translačních pohybů a statického naklání hlavy, půlkruhové kanály snímají rotaci hlavy vyplývající z úhlového zrychlení. (Purves et al., 2018)

Každý ze tří půlkruhových kanálů má u své báze ampulu, v níž je umístěn smyslový epitel nebo crista, která obsahuje vláskové buňky. Struktura těchto kanálků odpovídá mechanismu, jak detekují úhlové zrychlení při rotaci hlavy. Vlásokové svazky prostupují kristu do želatinové struktury, kupuly, která překlenuje ampulu, vytvářející bariéru bránící cirkulaci endolymfy. (Purves et al., 2018)

Struktura kanálků je přizpůsobena tak, aby mohla detekovat úhlové zrychlení při rotaci hlavy. Vlásokové buňky vyčnívající z kristy do želatinové vrstvy, přemostující příčně ampulu, vytváří viskózní bariéru, přes kterou nemůže endolymfa cirkulovat. Výsledkem cirkulující endolymfy je deformace kupuly. (Purves et al., 2018)

Při otáčení hlavy v kanálku příslušného směru působí endolymfa silou na vláskové buňky, které ohýbá. Polokruhovité kanálky mohou být drážděny zakláněním i rotací hlavy aktivně i pasivně. (Purves et al., 2018)

Translační pohyby hlavy produkují stejnou sílu pouze ve dvou směrech kupuly, takže vláskové buňky v ampule nejsou drážděny. Na rozdíl od sakuly a utrikuly, všechny vláskové buňky v kristě v polokruhovitých kanálkách jsou organizovány s jejich kinociliemi ukazující stejným směrem. Tím pádem, když se kupula hýbe ve směru orientace vláskových buněk, tak všechny vláskové buňky jsou depolarizovány a aktivita v axonech stoupá. Kdežto když se kupula hýbe v opačném směru, dochází k hyperpolarizaci a nervová aktivity klesá. Směry kolmé od excitačního nebo inhibičního směru produkují minimální nebo žádnou nervovou aktivitu. (Purves et al., 2018)

Každý polokruhovitý kanálek pracuje ve shodě s kanálkem na druhé straně hlavy, který má vláskové buňky orientovány opačným směrem. Existují tři páry kanálků, které pracují spolu: horizontální (pravá a levá) a anteriorní spolupracující na opačné straně s posteriorním kanálkem. (Purves et al., 2018)

Při rotaci hlavy tedy dochází na jedné straně k depolarizaci a na opačné k hyperpolarizaci. Například, když se hlava rotuje doleva, kupula je tlačena směrem ke kinociliím v levém horizontálním kanálku a nervová aktivita levého vestibulárního nervu je zvětšena, dochází k excitaci. Naopak na pravé straně je kupula tlačena od směru kinocilií a dochází k inhibici. Tento princip funguje pro všechny tři páry kanálků. Čistým výsledkem je systém, který poskytuje informace o rotaci hlavy v libovolném směru. (Purves et al., 2018)

Stejně jako axony inervující otolitové orgány i vestibulární vlákna, která inervují polokruhové kanály, vykazují vysokou úroveň spontánní aktivity. V důsledku toho mohou přenášet informace buď zvýšením nebo snížením jejich rychlosti přenášení vzruchů, což efektivněji zaznamenává pohyby hlavy. (Purves et al., 2018)

Obousměrné reakce vláken inervující vláskové buňky polokruhovitých kanálků byly studovány a zaznamenávány u vestibulárních nervů opic. Samotný výzkum spočíval v posazení lidoopa na židli a otáčení židle jedním směrem. Zaznamenávány byly nervové výboje během počátečního období zrychlení, poté období několika sekund při konstantní rychlosti a nakonec období náhlého zpomalení až do zastavení. (Purves et al., 2018)

Nejvíce výbojů bylo pozorováno při období zrychlení, kdy je kupula vychýlena. Nejméně výbojů naopak u období zpomalení, kdy je kupula vychýlena opačným směrem. V průběhu konstantní rychlosti se nervové výboje vracejí na základní úroveň i s kupulou, která se vrací ze své vychýlené pozice v průběhu času, který odpovídá kupulární elasticitě a viskozitě endolymfy (přibližně 15 sekund). V případě, že se hlava otáčí stále stejnou rychlostí, dochází k návratu kupuly (a vláskových buněk) do základní polohy. Takové konstantní síly se nachází v přírodě jen zřídka, avšak můžeme je najít na palubách lodí, letadel a vesmírných lodí. (Purves et al., 2018)

Zajímavý aspekt dynamického systému kupula s endolymfou je, že „vyladuje“ přenos zrychlení hlavy na neurální signály. Například, když je úhlové zrychlení hlavy na konstantní rychlost poměrně rychlé (odpovídá vysokofrekvenčním rotačním pohybům hlavy), vestibulární jednotky spojené se stimulovaným kanálem generují rychlostní signál. Rychlost vzruchu axonem stoupá lineárně během fáze zrychlení. Když se však hlava pohybuje v konstantním úhlovém zrychlení (tj. nízkofrekvenční rotační pohyb), rychlost je zpracována jako spontánní úroveň (odpovídá nulovému zrychlení). Výsledkem těchto zrychlení je, že při vysokých frekvencích úhlové zrychlení a při nízkých frekvencích lze jasně vidět reakci v širokém frekvenčním rozsahu. (Purves et al., 2018)

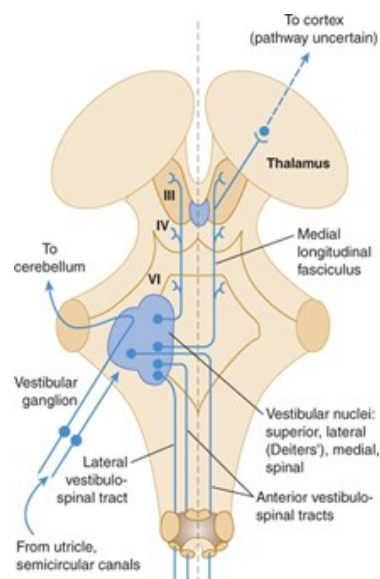


## 1.2 Centrální vestibulární systém

Vestibulární systém přispívá k automatickému chování, jako jsou reflexní pohyby očí, které stabilizují zrak a rychlé posturální úpravy pro udržení rovnováhy. Jeho funkce se promítají i do procesů na vyšší nervové úrovni, které jsou důležité pro prostorovou orientaci a vlastní pohyb. (Purves et al., 2018)

Organizace vedení centrálních vestibulárních drah odpovídá jejich multifunkční roli. Tyto cesty také zobrazují dvě funkce, které je odlišují od cest sdělující informace důležité pro zrak, sluch a hmat. Zaprvé, centrální vestibulární zpracování je ze své podstaty multisenzorické, protože mnoho neuronů ve vestibulárních jádrech – nejstarší bod v centrálním vestibulárním zpracování - přijímají vizuální vstupy. Zadruhé, mnoho neuronů ve vestibulárních jádrech funguje jako premotorické neurony, kde kromě přivádění sensorických informací, poskytují senzomotorický oblouk s velmi krátkou latencí, díky kterým mohou řídit extrémně rychlé (~10 ms) kompenzační okohybné pohyby a pohyby hlavy v reakci na vestibulární stimulaci. (Purves et al., 2018)

Vestibulární koncové orgány komunikují prostřednictvím vestibulární větve VIII. hlavového nervu s mozkovým kmenem (*truncus cerebri*) a mozečkem (*cerebellum*), který zpracovává většinu informací nezbytných k výpočtu polohy a pohybu hlavy. Jako u sluchové větve nervu i vestibulární nervy jsou bipolární neurony, jejichž tělo se nachází ve vestibulárním gangliu, taktéž nazývaném jako Scarpa. Distální výběžky těchto buněk inervují půlkruhové kanály a otolitové orgány, zatímco centrální výběžky se promítají přes vestibulární část vestibulocochleárního nervu do vestibulárních jader (a také přímo do mozečku) (viz Obrázek 4). (Purves et al., 2018)



Obrázek 4 – Centrální vestibulární systém, mozkový kmen (Waxman, 2020)

Ačkoli kanálky a otolitové aferenty jsou na periférii z velké části odděleny, ve vestibulárních jádrech se nachází velké množství konvergence „kanálek-otolit“. Tato vlastnost nakonec umožňuje jednoznačné rozpoznání orientace a pohybu hlavy prostřednictvím prostředí. I když se hlava nakloní a translační pohyby hlavy excitují otolitové orgány, půlkruhové kanály jsou excitovány pouze rotacemi, které doprovázejí náklony hlavy, a nikoli čistě translační pohyby. Proto informace z otolitových orgánů a polokruhovitých kanálků ve vestibulárních jádrech a mozečku mohou rozlišovat naklání hlavy a translační pohyby. (Purves et al., 2018)

Vestibulární jádra také zpracovávají velkou řadu vestibulárních i nevestibulárních informací. Přijímají vstupy z vestibulárních jader na opačné straně i vstupy z mozečku, zrakového a somatosenzorického systému. (Purves et al., 2018)

Centrální projekce vestibulárního systému se účastní dvou hlavních tříd reflexů. První zodpovědné za udržování rovnováhy a stability zraku během pohybu, druhé zodpovědné za udržování postury. První pomáhá koordinovat hlavu a pohyby očí k udržení fixace zraku při pohybu. Vestibulookulární reflex je mechanismus, který umožňuje pohyb očí proti pohybu hlavy při potřebě fixovat pohledem určitý objekt. (Purves et al., 2018)

Sestupné projekce z vestibulárních jader jsou nezbytné, jak pro posturální úpravy hlavy, zprostředkované vestibulocervikálním reflexem (VCR), tak pro tělo pomocí vestibulospinálního reflexu (VSR). Stejně jako u Vestibulookulárních reflexů (VOR) jsou oba tyto reflexy velice rychlé díky malým synapsím mezi vestibulárními orgány a příslušnými motorickými neurony. (Purves et al., 2018)

Anatomický podklad pro VCR zahrnuje mediální vestibulární jádra. Axony z těchto jader sestupují ve *fasciculus longitudinalis medialis* k horní krční úrovni míchy. Tyto dráhy regulují pozici hlavy pomocí reflexní aktivity krčních svalů v odpovědi na stimulaci polokruhovitých kanálků rotací hlavy. Například při zakopnutí jsou aktivovány horní kanálky a svaly reflexně zvedají hlavu. (Purves et al., 2018)

VSR je zprostředkován kombinací drah, včetně bočního a středního vestibulospinálního traktu a retikulospinálního traktu. Vstupy z otolitových orgánů se promítají hlavně do laterálního vestibulárního jádra, které posílá axony do laterálního vestibulospinálního traktu vedoucí do ipsilaterálního předního rohu míchy. Tyto axony končí monosynapticky na extensorových motorneuronch a disynapticky inhibují některé motorneuronny flexorů; výsledkem je silný excitační vliv na extensorové (antigravitační) svaly. Když se vláskové buňky v otolitových orgánech aktivují, signály dosáhnou mediální části předního rohu. Aktivací ipsilaterální části motoneuronů inervující extensorové svaly v trupu a končetinách, tato cesta zprostředkovává rovnováhu a udržování vzpřímeného držení těla. (McCall et al., 2017; Purves et al., 2018)

Neurony z otolitů a semicirkulárních kanálků vedou cestou *nervus vestibulocochlearis* až do vestibulárního ganglionu. Axony těchto neuronů vstupují do mozku přes Valerův most a většina z nich jde do prodloužené míchy, kde se nachází těla vestibulárních jader. Zde se nachází 4 jádra: laterální vestibulární jádra (Deitersova), mediální vestibulární jádra, horní (superior) vestibulární jádra a spodní (inferior) nebo descendentní vestibulární jádra. Centrální část vestibulárního systému se tedy skládá ze čtyř vestibulárních jader společně s ascendentními a descendentními drahami a sedmi menších jader. (Shumway, 2016)

Určitá část z vestibulárních receptorů jde přímo do mozečku, retikulární formace, thalamu a cerebrálního kortexu. (Shumway, 2016)

Laterální vestibulární jádra dostávají informace z utrikuly, polokruhovitých kanálků, mozečku a z míchy. Výstupy z těchto jader přispívají k vestibulookulárnímu a laterálnímu vestibulospinálnímu traktu, kteří aktivují antigravitační svaly krku, trupu (paravertebrální svaly) a proximální extenzory končetin. (Khan et al., 2013; Shumway, 2016)

Informace přicházející do mediálních a horních vestibulárních jader jdou z polokruhovitých kanálků. Výstupy z mediálních jader jdou do mediálního vestibulospinálního traktu. Se spoji z krční míchy kontrolují napětí krčních svalů. Mediální vestibulospinální trakt (MVST) hraje též důležitou roli v koordinaci mezi hlavou a očními pohyby. Kromě toho neurony z mediálních a horních jader vstupují do motorických jader okohybných svalů a stabilizují zrak při pohybech hlavy. (Shumway, 2016)

Vstupy do dolních vestibulárních jader zahrnují neurony z polokruhovitých kanálků, utrikuly, sakuly a cerebelárního vermis. Výstupy jsou součástí vestibulospinálního a vestibuloretikulárního traktu. Informace přicházející z vestibulárního systému jdoucí do okulomotorického komplexu jsou zodpovědné za vestibulookulární reflex, které způsobuje pohyb očí na opačnou stranu než je pohyb hlavy. Tento reflex zajišťuje zachování stabilního pohledu na jeden bod při pohybech hlavy. (Shumway, 2016)

Vestibulární aparát má jak funkci statickou, tak i dynamickou. Jeho dynamická funkce je kontrolována hlavně pomocí polokruhových kanálků, sloužící k registrování rotace hlavy, úhlového zrychlení a kontroly pohybů očí pomocí vestibulookulárního reflexu. Statická funkce je zajišťována utrikulou a sakulou umožňující sledování pozice hlavy v prostoru a uplatňující se i u udržování postury. Utrikula i sakula detekují lineární zrychlení hlavy. (Shumway, 2016)

### **1.2.1 Mozeček**

Mozeček je hlavním cílem dostředivých vestibulárních drah a také poskytuje informace descendentně do vestibulárních jader, což vede k nervovému oblouku, důležitému pro modulaci vestibulární aktivity. Tyto vestibulocerebelární okruhy hrají důležitou roli při integraci a modulaci vestibulárních signálů pro adaptivní změny u VOR. Tyto okruhy pomáhají odlišit náklony hlavy od translačních pohybů hlavy a pasivních pohybů hlavy a těla od těch, které se samy generují. Mezi hlavní vestibulární cíle v mozečku patří *flocculus*, *paraflocculus*, *nodulus*, uvula a rostrální část *nucleus fastigii*, z nichž všechny hrají odlišné role ve vestibulární plasticitě a multimodální integraci. (Purves et al., 2018)

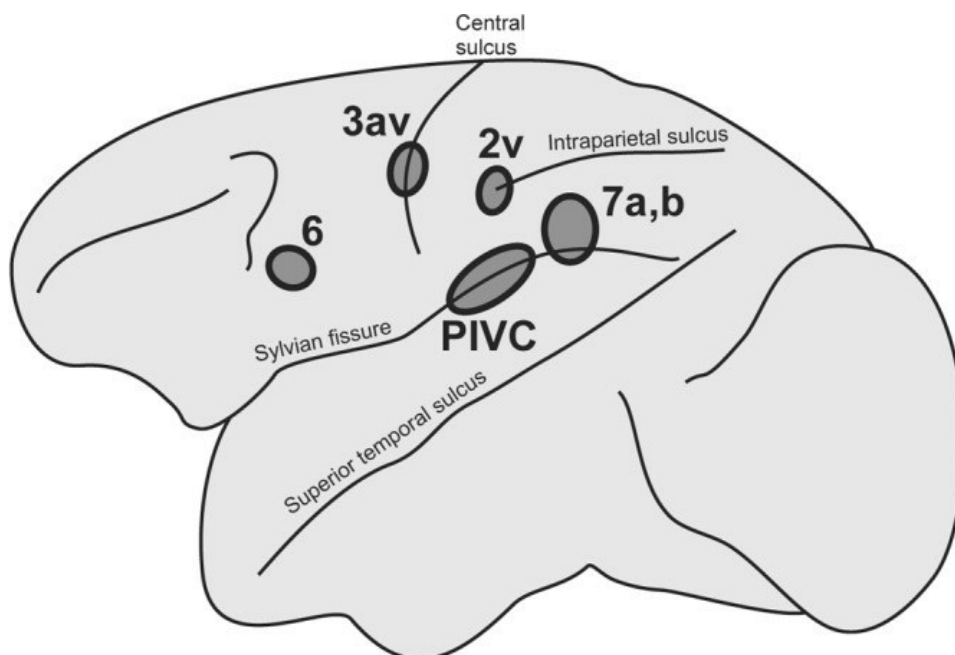
Flocculus a paraflocculus obsahují Purkyňovi buňky, které přenáší inhibiční signály do vestibulárních jader a tyto neurony mění jejich vlastnosti a odpověď VOR.

Integrace signálů z otolitových orgánů a polokruhových kanálků je potřeba k rozlišení naklání hlavy od translačních pohybů. Záznamy pořízené v nodulu a uvule ukazují, že jednotlivé Purkyňovy buňky integrují signály z těchto dvou vestibulárních zdrojů a jasně rozeznávají, zda jde o naklání hlavy nebo translační pohyby. Z toho vyplývá, že nodulus a uvula jsou kritickými místy k výpočtu pro provedení tohoto rozlišení. (Purves et al., 2018)

Další hlavní funkcí vestibulárních cerebelárních obvodů je pomoci rozlišit vestibulární signály, které vznikají ze samogenerovaného pohybu od těch, kteří jsou spouštěny vnějšími silami. Zajímavou vlastností neuronů v rostrální části *nucleus fastigus* je, že na nereagují na vlastní generované pohyby hlavy nebo těla, navzdory přijímání vestibulárních i proprioceptivních signálů z celého těla. Může to tedy znamenat, že prediktivní signály generované v mozečku ruší vestibulární systém a proprioceptivní signály v rostrálních fastigiálních neuronech generovaných z vlastního pohybu, které pomáhají odlišit aktivní od pasivní pohyby hlavy. (Purves et al., 2018)

### 1.2.2 *Thalamus a cortex*

Kromě již zmíněných projekcí vestibulárních jader do mozečku, posílají horní a laterální vestibulární jádra signály i do thalamu (přední spodní komplex jader). Tyto spoje se promítají do různých kortikálních oblastí souvisejících s percepcí vyplývajícím ze zpracování vestibulárních informací. Do těchto oblastí patří Brodmannova oblast 2v - posteriorní část, stojící za reprezentací obličeje v somatosenzorické kůře. Další dvě oblasti v Brodmannově oblasti 3a ve fundu v centrální části *sulcus* a parietoinsulární vestibulární kortex (PIVC) (Obrázek 5). Toto promítání může být obzvláště důležité pro cit k pohybu a orientaci v prostoru. Mnoho z těchto kortikálních neuronů se aktivuje pohybem vizuálních podnětů i při rotaci těla (se zavřenýma očima), což naznačuje, že tyto kortikální oblasti jsou zapojeny do vnímání orientace těla v prostoru. (Purves et al., 2018)



**Obrázek 5 - Parietoinzulární vestibulární kůra (PIVC) (Eickhoff et al., 2006)**

### ***1.2.3 Prostorová orientace a multisenzorická integrace***

Přestože vestibulární systém přispívá k mnoha automatickým reflexům, a většina z nás si není vědoma jeho fungování, dokud není poškozena, hraje také důležitou roli v našem vnímání prostorové orientace a vlastního pohybu. Ve skutečnosti je vestibulární systém základem naší schopnosti detekovat směr a velikost samo generovaného pohybu a odlišit tento pohyb od pohybu předmětů kolem nás. Ve spolupráci s vizuálním systémem poskytuje vestibulární systém kritické informace pro prostorovou orientaci a navigaci. Na základě podnětů, na které působí vestibulární koncové orgány, přispívá vestibulární systém k našemu vnímání rotace hlavy, translačním pohybům a náklonům hlavy. Stejně jako u jiných vjemů, i vestibulární vjemy neodráží jenom fyzické vlastnosti souvisejícího podnětu. (Purves et al., 2018)

Jak již bylo zmíněno, vestibulární a vizuální systémy obvykle fungují ve shodě, aby poskytly odhad vlastního pohybu. Příspěvky vizuálního toku k vlastnímu pohybu může být velmi přesvědčivý, o čemž svědčí jezdci čekající na odjezd vlaku ze stanice. Pokud se vlak na sousední trati začne pohybovat, výslednice vizuálního toku generuje silný pocit vlastního pohybu, percepční proces známý jako vekce. Systematičtější testy vestibulárních-vizuálních interakcí pomocí řízeného vizuálního stimulu naznačuje, že normální funkcí vestibulárního systému je potlačit pocit vlastní tvorby pohyb, který může vzniknout z vizuálních podnětů. V souladu s touto myšlenkou lidé s vestibulárním poškozením hlásí zvýšenou vektivitu v reakci k informacím o vizuálním toku - stejně jako astronauti pracující ve vesmíru, kterým chybí gravitační nárazky otolitové orgány. (Purves et al., 2018)

## 2 REŠERŠE

Na udržování postury se podílí několik systémů a je zajišťována vnitřními orgány, strategiemi a reflexy (Massion, 1992; Horak a MacPherson, 1996). Mezi tyto systémy patří zrak, vstupy z kontaktu s plochou (proprioceptory a taktilní receptory) a vestibulární orgány (Nashner et al. 1982). I vestibulární vstupy sdílejí kortikální projekce dalších smyslových drah, jako je zrak a propriocepce. Anatomické vazby mezi vestibulárním vstupem a dalšími smyslovými modalitami jsou tedy hojné (Ferrè et al. 2015). Na přesnější zaměření jednotlivých systémů je potřeba některé eliminovat. (Goldberg et al, 2020)

Několik studií se zabývalo funkcí vestibulo-vizuálního spojení, ale vestibulo-somatosenzorický systém zůstával relativně dlouho neprobádán. Dokonce existence a funkční význam třícestné (vestibulár, vizuál, somatosenzorika) interakce dříve málo kdo zvažoval. Bimodální neurony reagující na vestibulární a somatosenzorickou stimulaci byly nalezeny v zadní parietální kůře primátů (oblast 2v) bezprostředně přiléhající k primárním somatosenzorickým oblastem ruky a úst. (Grüsser et al., 1990; Guldin, 1998)

Multisenzorické neurony kódující vestibulární a somatosenzorické signály byly také popsány v inzulárním kortexu a tyto neurony reagovaly na vestibulární stimulaci polokruhovitých kanálků a otolitových orgánů, stejně jako dotek aplikovaný na paže, ramena, krk a nohy. Podobně byly neurony reagující na vizuální a vestibulární stimulaci zaznamenány ve fundu intraparietálního sulku, ve ventrální a mediální intraparietální oblasti (MIP). (Büttner, 1978; Klam, 2003; Schlack, 2005; Klam, 2006; Eulenburg, 2012)

Existence specializovaných neuronů integrujících vestibulární a další vstupy dokazuje, že vestibulární, vizuální a somatosenzorické systémy interagují. Zejména vestibulární-vizuální-somatosenzorická konvergence byla popsána téměř u všech vestibulárních spojů, včetně vestibulárních jader, thalamu a několik oblastí v mozkové kůře. (Brown, 2010; Ferrè et al., 2015)

Podle studie Ferré z roku 2011 dochází při stimulaci vestibulárního systému ke zvýšení taktilní senzitivity (Ferré et al., 2011). Ferré se domnívá, že k jejich vzájemnému ovlivňování dochází na úrovni inzulárního kortexu, konkrétně v parietoinsulární vestibulární kůře (PIVC) (Ferré, 2012).

Studie Nashnera z roku 1982 dokázali, že pokud má pacient neporušený vestibulární orgán, tak při vyřazení zraku i propiocepce (pomocí nakloněné plochy) je stále schopný udržovat rovnováhu. V případě, že dojde k porušení vestibulárního orgánu a pacient má funkční propioceptivní orgány, tak je schopen udržet rovnováhu. Dojde-li však k porušení nebo špatné aferentaci z propioceptivních orgánů, dochází ke zhoršení rovnováhy. Rovnováha se zhoršuje i při změnách vizuálních vstupů. (Nashner et al. 1982)

Studie z roku 2018 poukazuje, že na udržování tělesné orientace při změnách těžiště se podílí primární motorická oblast minimálně až zanedbatelně. Ovšem nevylučuje se, že se na ní podílejí jiné části kortikální oblasti. (Bestmann a Krakauer, 2015; Zhang et al., 2018)



## 2.1 Posturální funkce

Pokusy na zvířatech potvrdily důležitost vestibulárního systému a somatosenzorických vstupů na udržování posturální stability (Money a Scott, 1963; Inglis a Macpherson, 1995; Beloozerova et al. 2003; Stapley et al. 2006; Macpherson et al., 2007). Při testování galvanické vestibulární stimulace se potvrdila i role vestibulárních vstupů při udržování rovnováhy. (Fitzpatrick a Day, 2004)

I když byly tyto testy potvrzeny, nikde nebylo popsáno, jak je dosaženo posturální kontroly. K udržení této kontroly dochází pomocí strategií kotníkové, pánevní nebo strategie kroku. (Horak a Nashner 1986). Dojde-li k poruše senzorických vstupů z kotníku, pacient použije strategii pánevní, i když stimul byl dost slabý na to, aby využil pouze kotníkovou (Horak et al. 1990). Tyto strategie slouží k udržení statické postury.

Při udržování postury v pohybu (dynamické postury) tělo využívá posun těžiště tak, aby tělo zvládlo udržet rovnováhu a nedošlo k pádu. Této strategie využívá i při chůzi, kdy stále přenáší těžiště a udržuje rovnováhu i pomocí zapojování jednotlivých svalů. Dochází ke svalové synergii. I zvířata využívají tuto svalovou synergii zapojováním malých svalů (Ting a Macpherson, 2005; Torres-Oviedo et al., 2006). Využívání těchto strategií záleží na biomechanice a také předchozích zkušenostech jedince. Díky trénování posturálních strategií může docházet ke zrychlení reakce až o 100 ms.

Závislost jednotlivých systémů při udržování postury závisí na úrovni, v jaké došlo k jejich porušení. (Nashner et al. 1982, 1989; Allum a Pfaltz, 1985; Allum a Adkin, 2003) Proto tento systém musí být schopen se velice dobře přizpůsobit, aby nedocházelo ke zraněním způsobeným pády. Ať už jde o stoj (Nashner et al. 1982), chůzi a běh (Pozzo et al., 1990. 1991; Imai et al. 2001), lezení a skákání (Jones a Watt 1971) nebo i pády z výšek (Jones a Watt, 1971; Watt 1976).

Jak už bylo zmíněno na udržování postury se podílí i reflexy, které hrají důležitou roli při nečekaných a nepředvídatelných situacích. Tyto reflexy jsou také mnohem lépe prozkoumány než strategie. Vestibulo-okulární, vestibulo-kolický a vestibulo-spinální reflexy plní svojí funkci při udržování ostrého zraku a stabilní hlavy. (Goldberg et al, 2020)

Pomocí galvanické vestibulární stimulace (GVS) se vyšetřuje udržování rovnováhy s umělým stimulováním porušení periferního vestibulárního systému. Zde se rozcházejí názory odborníků. Lopéz (Lopez et al., 2010) tvrdí, že při GVS dochází ke snížení propiocepce na úkor zvýšení vizuální informace. Na druhou stranu Ferre (Ferre et al. 2015) tvrdí přesný opak. Pokus GVS se často provádí s rubber hand illusion (RHI). Při testu RHI se autoři shodují, že dochází ke zvýšení excitace z propioceptorů.

Změna v excitabilitě vestibulárních nervů stimuluje vestibulární síť pravé hemisféry, když je anoda na levém *processus mastoideus* a katoda na pravém (LGVB). V případě opačné pozice (RGVS) dochází k bilaterální aktivaci (Fink et al., 2003, Utz et al., 2010). Většina studií na vnímání vlastního těla se zaměřuje na roli LGVS vzhledem k předpokládané pravostranné aktivaci, kterou způsobuje (u pravorukých subjektů) (Dieterich et al., 2003; Eulenburg et al., 2012), a jeho propojení s poruchami vnímání těla (Bisiach et al., 1991; Baier and Karnath, 2008; Zeller et al., 2011; Moro et al., 2016).

Lopez a kolegové (Lopez, 2010) zjistili, že LGVS (levá galvanická vestibulární stimulace – anoda je přiložena na levý *processus mastoideus* a katoda na pravý) zlepšuje vnímání těla při RHI a ovlivňuje multisenzorickou integraci zvyšováním vizuálních vstupů nad propiocepci. Doktorka Ferré (Ferré et al., 2015) pozorovala pokles propioceptivního driftu u LGVS naznačující, že LGVS snižuje propiocepci nad vizuální informací. Obě studie tedy zjistily, že stimulace pravé vestibulární sítě ovlivňuje rovnováhu mezi propioceptivní a vizuální tvorbou hemisféricky specifickým způsobem (Dieterich et al., 2003). Tyto výsledky společně poskytují informace o úloze vestibulárních signálů a různých vjemů během multisenzorické integrace, a tedy k vnímání vlastního těla.

Bylo zjištěno, že hemisférické interakce podporují nejen emoční zpracování (Davidson, 1995), ale také vestibulo-kortikální kontrolu (Arshad, 2017; Bednarczuk et al., 2017). Pokud jde o vestibulární zpracování, ukázalo se, že u pravorukých jedinců dochází k dominantnímu zpracování vestibulárních signálů v pravé hemisféře, zatímco u leváků je dominantní levá hemisféra (Dieterich et al., 2003; Arshad et al., 2013; Nigmatullina et al., 2016). Dále bylo prokázáno, že stupeň dominance pravé hemisféry ve vestibulárním systému ovlivňuje jak kortikální část (tj. časnou excitabilitu zrakové kůry), tak mozkový kmen (tj. Modulační vestibulo-okulární reflexu). (Arshad et al., 2015).

Průběhu RHI konfliktu mezi vizuální informací a propiocepcí je většinou vyřešen dominancí vizuálních vstupů (Zeller et al., 2011; Zeller et al., 2015). Zjednodušeně řečeno, co vidíme je lépe zpracováváno, než co cítíme (podle výsledků RHI) (Folegatti et al., 2009). Pokud jsou tedy k dispozici vizuální informace (otevřené oči) a je zhoršená situace pro vnímání, je stimulace pro vestibulární systém posunuta více ve prospěch vizuálních informací (Lopez et al., 2010) než propiocepci (Ferrè et al., 2015).

V posledních letech se zjišťuje, že na udržování postury se kromě vestibulárního, vizuálního a propioceptivního vstupu podílí i sluchový vstup. Několik studií dokonce ukazuje zhoršení postury v závislosti na zhoršené sluchové funkci (částečné nebo úplné). (Rumalla et al., 2015; Gandemer et al., 2016; Lubetzky et al., 2020)

## 2.2 Nervové řízení protažení

Sval se skládá ze tří mechanických komponent: paralelní elastické, sériové elastické a kontraktilní (Alter, 1988; Latash, 2008; Hamill & Knutzen, 2009). Všechny tyto komponenty se podílejí na odolnosti v napětí a společně podmiňují kvantitu i kvalitu rozsahu samotného pohybu (ROM). Klíčovou strukturou z hlediska pohyblivosti je (jakožto největší v organismu) vazivová tkáň obalující svaly na všech úrovních vnitřního uspořádání (*endomysium*, *perimysium* a *epimysium*) (Alter, 1999)

Strečink však neovlivňuje pouze svalové napětí působením na jeho statické komponenty, ale též na neurální reflexní aktivitu, tedy dynamickou složku svalového tonu (Micheo et al., 2012). Další autoři přisuzují kromě viskoelastických vlastností agonistů a antagonistů značný podíl na flexibilitě i úrovni inervace protahovaného svalu. V rozsahu pohybu při protažení svalu hrají tím pádem značnou roli i neurofyziologické mechanismy strečinku. Statický strečink totiž snižuje odpověď Ia sensorických neuronů (Hamill & Knutzen, 2009).

Naopak při dynamickém strečinku dochází k postaktivační potenciaci motorických jednotek, snížení reciproční inhibice (Jaggers et al., 2008) a celkové stimulaci nervového systému. Tyto vypsané efekty svojí činností facilitují práci nervových vláken typu alfa i gama, ale také dochází ke zvýšení spojů mezi aktinem a myozinem (Behm et al., 2011). Každý můstek mezi aktinem a myozinem vytváří ve svalovém vlákénku určitou míru napětí a tímto strečinkem facilitovaná tvorba spojů následně zvyšuje sílu kontrakce svalu (Fontana, 2014).

Existují tři reflexy, které primárně ovládají nervové řízení protažení. Jedná se o napínavý (monosynaptický) reflex, proprioreceptivní (ochranný útlum) reflex a kontrola bolesti Paciniho tělísky. V případě statického protahování se jedná o reflexní děje na úrovni míšního řízení.

Při protahování svalošlachové jednotky se první aktivuje napínací reflex. Původ tohoto reflexu se nachází v intrafuzálních vlákních svalového vřetenka (Beaulieu 1981; Etnyre & Abraham 1986; Norris 1993; Vujnovich & Dawson 1994). Napínací reflex slouží jako ochrana, aby nedošlo k „přetažení“ muskulotendinózní jednotky. Jedná se o svalovou reakci na náhlé neočekávané protažení. Nervový impuls se dostává do zadních rohů míchy. Odpověď je nervový podnět v předních rozích míchy, který se dostává dráhou motorických nervů zpět do svalů a vyvolává jeho kontrakci. Protahovaný sval se tedy stáhne a zkrátí dříve, než dosáhne fyziologické hranice protažení (Dostálová & Mikláňková, 2005). Velikost a rychlost kontrakce vyvolaná napínacím reflexem ve svalošlachové jednotce jsou úměrné velikost a rychlost aplikovaného úseku k této svalošlachové jednotce (Beaulieu 1981; Matthews 1993). Jak statický, tak balistický strečink vyvolává odezvu ve svalových vřeteních, když je dosaženo koncového bodu ROM (Beaulieu 1981).

Pohotovost svalů reagovat napínacím reflexem se zvyšuje, pokud byly alfa motoneurony podrážděny množstvím vzruchů. To se děje při prudkých hmitových a švihových pohybech, které se využívají při balistickém strečinku. (Šebej, 2001)

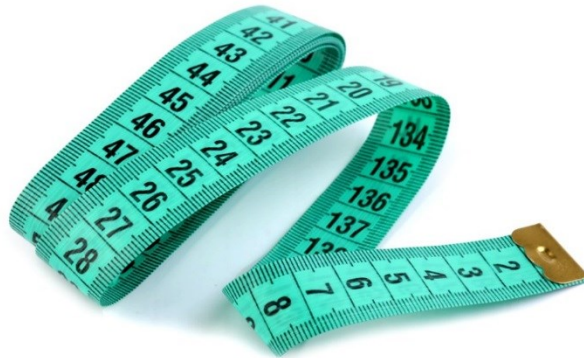
Ochranný útlum je protektivním mechanismem, který brání poranění šlach a svalů (Dostálová & Mikláňková, 2005). Aktivuje se jak při protažení, tak i kontrakci svalošlachové jednotky (Beaulieu 1981; Anderson & Burke 1991). Tento reflex je zodpovědný za prevenci dlouhodobého zvýšeného namáhání svalošlachové jednotky, způsobenou buď silnou aktivní kontrakcí nebo „přetažením“ svalošlachové jednotky (Beaulieu 1981; Etnyre & Abraham 1986; Anderson a Burke 1991). Centrum tohoto reflexu se nachází v Golgiho šlachovém tělisku, které obsahuje receptory umístěných ve spojení svalů a šlach. Golgiho šlachové tělisko působí tlumícím účinkem na výboje motorického nervu, čímž uvolní svalošlachovou jednotku změnou její odpočinkové délky (Beaulieu 1981; Norris 1993; Vujnovich & Dawson 1994). Z napínaného svalu svalová vřetenka vysílají signály k motorickým alfa motoneuronům zkracujícího svalu. Zároveň vysílají signály ke Golgiho interneuronům, které jsou připojeny na alfa motoneurony antagonistických svalů. Interneurony vyloučí inhibiční přenašeč (mediátor) a antagonistista se uvolní (Šebej, 2001). K tomu obvykle dochází 6–20 s po zahájení úseku (Norris 1993).

Třetí reflex svalošlachové jednotky pochází z Paciniho tělísek, které jsou umístěné v celé svalošlachové jednotce. Paciniho tělíska slouží jako tlakové senzory a pomáhají s regulací tolerance bolesti v svalošlachové jednotce (Beaulieu 1981; Vujnovich & Dawson 1994).

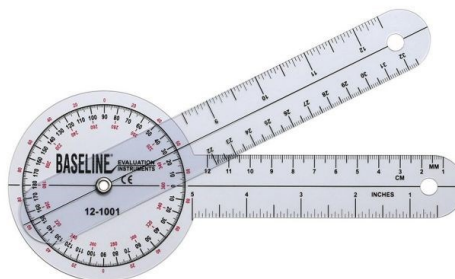
Tyto tři reflexy jsou společně zodpovědné za nervové řízení, které regulují svalošlachovou pružnost jednotky a jsou aktivní během protahování svalošlachové jednotky. Rychlým protažením je šlachookosticový reflex aktivován, způsobující reflexní kontrakci svalošlachové jednotky a aktivaci Paciniho tělísek, vedoucí ke vnímání bolesti. Odpovědí na tuto bolest je inhibice Golgiho šlachových tělísek a úpravou Paciniho tělísek. Tato reakce umožní relaxaci napětí svalošlachové jednotky a snížené vnímání bolesti. (Beaulieu 1981; Vujnovich a Dawson, 1994)

### 3 METODIKA

Pro výzkum bylo vybráno 39 probandů ve věku 20-30 let mužského i ženského pohlaví (14 mužů, 25 žen). Měření probíhalo pomocí goniometru, krejčovského metru pro fyzioterapeuty a dřevěné stoličky s protiskluzovou úpravou. Stolička byla sestavena a zkorigována proti kymácení i překlopení, aby nedošlo k pádu.



Obrázek 6 – Krejčovský metr pro fyzioterapeuty



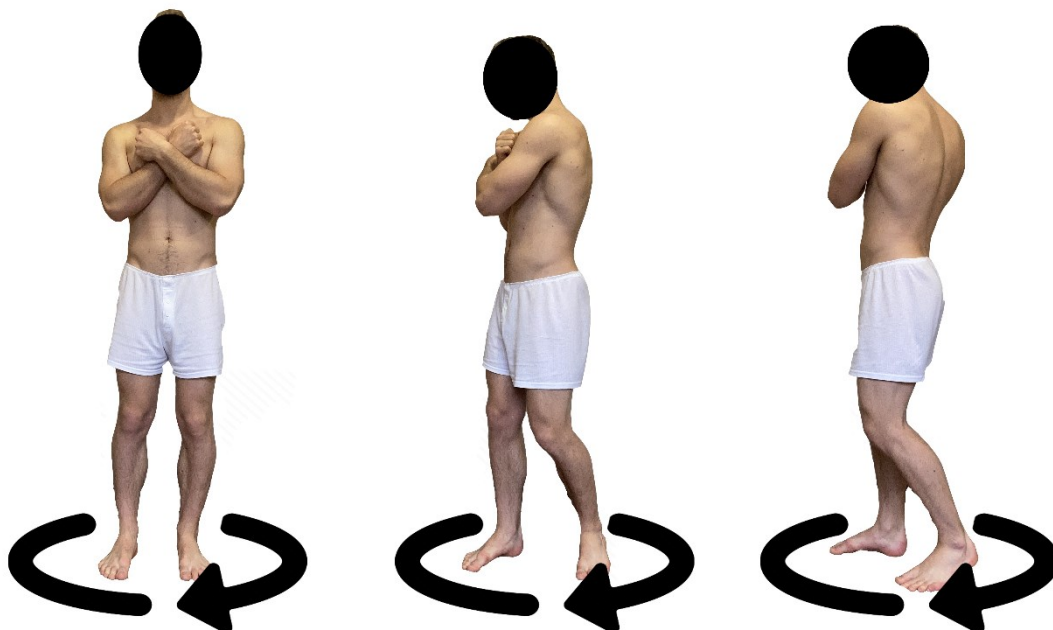
Obrázek 7 – Plastický goniometr



**Obrázek 8 – Dřevěná stolička pro měření Thomayerovy vzdálenosti**

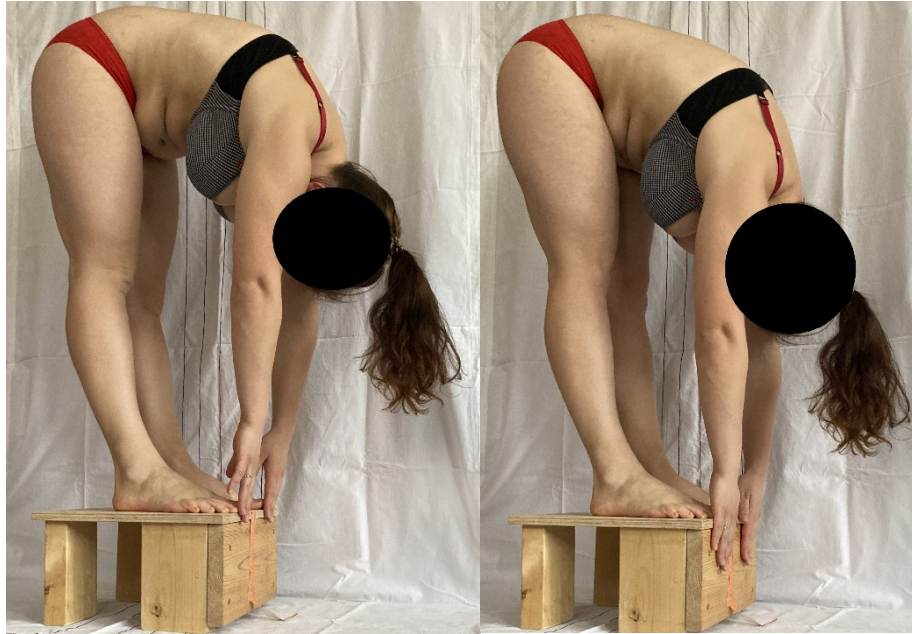
Samotné měření poté probíhalo změřením Thomayerovy vzdálenosti a vzdáleností pro dynamiku páteře (Stiborova vzdálenost, Schoberova vzdálenost). Toto měření se opět opakovalo po jedné minutě pro kontrolu, zda nedošlo ke změně hodnot.

Následně se proband zatočil desetkrát na jednu stranu se zavřenýma očima s přibližnou frekvencí 1 Hz (1 otočka za jednu sekundu) (viz Obrázek 9). Po dotočení se opět změřila Thomayerova vzdálenost i Stiborova a Schoberova. Po naměření údajů se čekalo, dokud neodezní příznaky rotačního vertiga. Pro ověření ukončení příznaků bylo použito Hautantovy zkoušky.



**Obrázek 9 – Rotační stimulace vestibulárního systému**

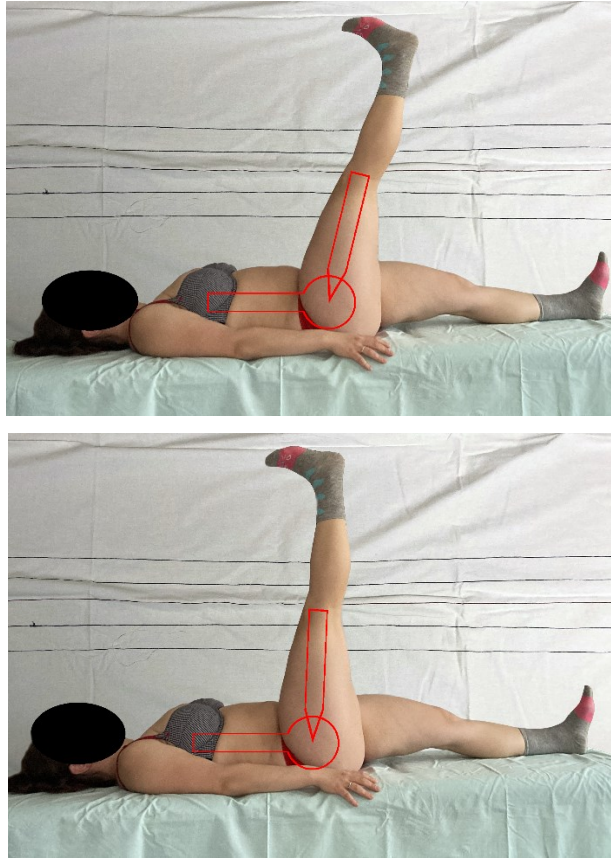




**Obrázek 10 – Měření vzdálenosti od země v Thomayerově zkoušce (před a po stimulaci vestibulárního systému)**

Proband se opět zatočil desetkrát na jednu stranu se zavřenýma očima a frekvencí 1 Hz. Po dotočení proběhlo měření Thomayerovi, Stiborovy a Schoberovy vzdálenosti hned, po 30 sekundách po jedné minutě a po dvou minutách. Po naměření, se opět čekalo, než skončí příznaky rotačního vertiga (ověření Hautantovou zkouškou).

Další měření probíhalo v horizontální poloze. Proband si lehnul na záda a flektoval jednu dolní končetinu v kyčli s maximální extenzí v kolenním kloubu a dorzální flexí v hleznu (jde tedy o aktivní rozsah pohybu). Proběhlo naměření úhlu flexe v kyčelním kloubu.

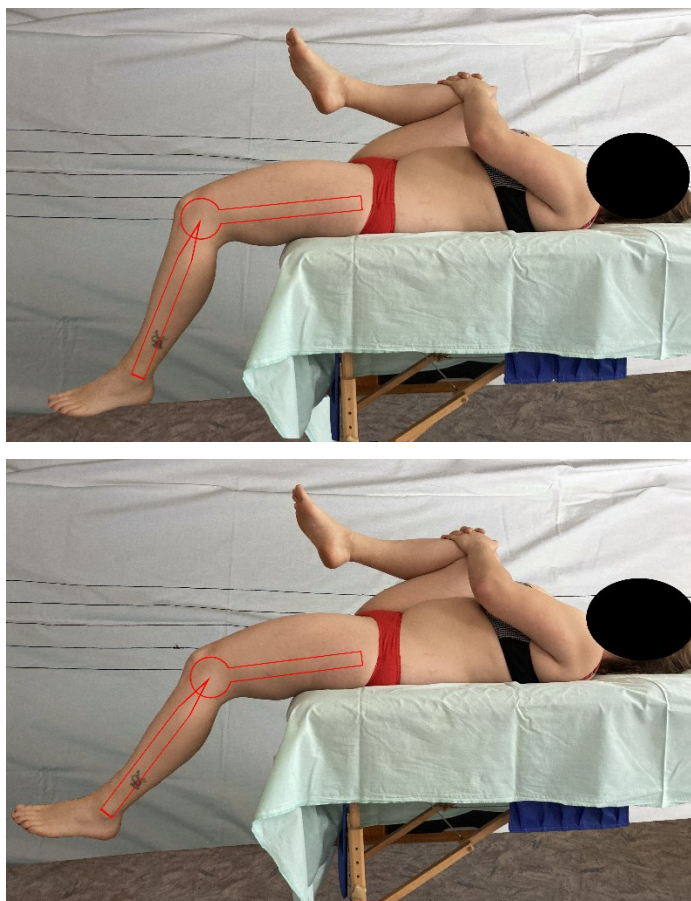


**Obrázek 11 – Měření úhlu v kyčelním kloubu (před a po stimulaci vestibulárního systému)**

Poté se přesunul na okraj lehátka a s maximální flexí pravé dolní končetiny v kyčelním a kolenním kloubu a měřil rozsah extenze v kyčelním kloubu levné dolní končetiny, která nebyla flektovaná (viz Obrázek 12). V této poloze se také naměřil úhel v kyčelním kloubu pro zjištění rozsahu extenze.

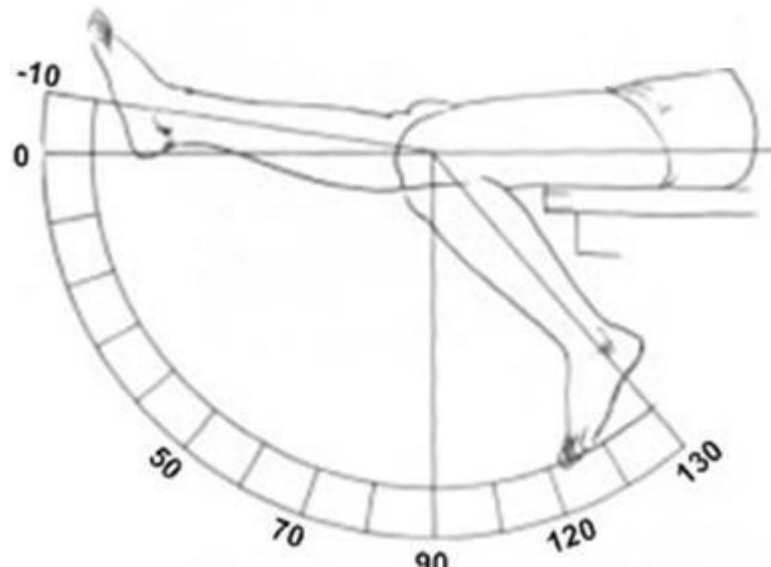


Obrázek 12 – Model měření úhlu v kyčelním a kolenním kloubu ([www.chiro.org](http://www.chiro.org))



Obrázek 13 – Měření úhlu v kyčelním a kolenním kloubu (před a po stimulaci vestibulárního systému)

Jako poslední se měřil úhel, který svírá pomyslně prodloužení femur s tibií. Měřil se v oblasti kolenního kloubu, kdy při maximální extenzi by udával  $0^\circ$  (viz Obrázek 14). Tento úhel udává klidové napětí *musculus quadriceps femoris* (*musculus rectus femoris*). Šlo tedy o měření rozsahu při nulové aktivitě (měření klidového tonu). Všechny tyto údaje byly měřeny goniometricky.



Obrázek 14 – Měření rozsahu v kolenním kloubu ([www.unmfm.pbworks.com](http://www.unmfm.pbworks.com))

Po naměření těchto údajů se proband zatočil desetkrát na jednu stranu se zavřenýma očima a proběhlo opětovné změření goniometrických údajů.

Výsledky byly zaznamenány do tabulek spolu s doprovodnými vegetativními příznaky, které probandi subjektivně popisovali.

## 4 CÍLE A HYPOTÉZY

- H1) Thomayerova vzdálenost se po rotačním dráždění vestibulárního systému zmenší.
- H2) Thomayerova vzdálenost se více zkrátí po rotačním dráždění vestibulárního systému u probanda s vyšší základní Thomayerovou vzdáleností.
- H3) Efekt po rotačním dráždění vestibulárního systému vydrží 30 sekund.
- H4) Rozsah flexe v kyčelním kloubu se zvětší při natažené dolní končetině po stimulaci vestibulárního systému.
- H5) Úhel v kolenním kloubu se zmenší po stimulaci vestibulárního systému.
- H6) Je závislost zvětšení úhlu v kyčelním kloubu na zmenšení úhlu v kolenním kloubu.

## 5 VÝSLEDKY

Samotné měření probíhalo na 39 zdravých probandech, kteří neměli žádné akutní ani chronické obtíže. Zúčastnilo se ho 25 žen a 14 mužů. Probandi měli doporučeno před měřením naspat minimálně 7 hodin a jakákoliv pohybová aktivita předchozích dní nebyla zakázána. Průměrný věk probandů byl 25,6 let. Všechny měření probíhali v dopoledních hodinách.

	N	Průměr	Medián	Směr. Odch.	Minimum	Maximum
<b>Thomayer</b>	<b>39</b>	<b>3,17</b>	<b>3</b>	<b>1,46</b>	<b>1</b>	<b>7</b>
Muži	14	3,32	3	1,51	1	5,5
Ženy	25	3,08	3	1,45	1,5	7
<b>Stibor</b>	<b>39</b>	<b>0,103</b>	<b>0</b>	<b>0,502</b>	<b>0</b>	<b>3</b>
Muži	14	0,07	0	0,27	0	1
Ženy	25	0,12	0	0,6	0	3
<b>Schoberg</b>	<b>39</b>	<b>0,051</b>	<b>0</b>	<b>0,223</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
Muži	14	0	0	0	0	0
Ženy	25	0,08	0	0,28	0	1
<b>Hamstring</b>	<b>39</b>	<b>9,74</b>	<b>10</b>	<b>5,5</b>	<b>0</b>	<b>25</b>
Muži	14	9,64	10	4,99	5	20
Ženy	25	9,8	10	5,86	0	25
<b>Iliopsoas</b>	<b>39</b>	<b>0,128</b>	<b>0</b>	<b>0,8</b>	<b>0</b>	<b>5</b>
Muži	14	0	0	0	0	0
Ženy	25	0,2	0	1	0	5
<b>rectus femoris</b>	<b>39</b>	<b>-3,21</b>	<b>-5</b>	<b>5,68</b>	<b>-15</b>	<b>10</b>
Muži	14	-4,64	-5	4,14	-10	0
Ženy	25	-2,4	-5	6,31	-15	10

Tabulka 1 – Popisná statistika u jednotlivých oblastí testování

Jak můžeme vidět v tabulce (Tabulka 1), největších výsledků v průměrném zvětšování dosahovali probandi při testování zvětšení rozsahu v kyčelním kloubu („Hamstringy“ v Tabulce 1). Samotný průměr byl  $9,74^\circ$  se směrodatnou odchylkou  $5,5^\circ$  ( $SD \pm 5,5$ ) a mediánem  $10^\circ$ .

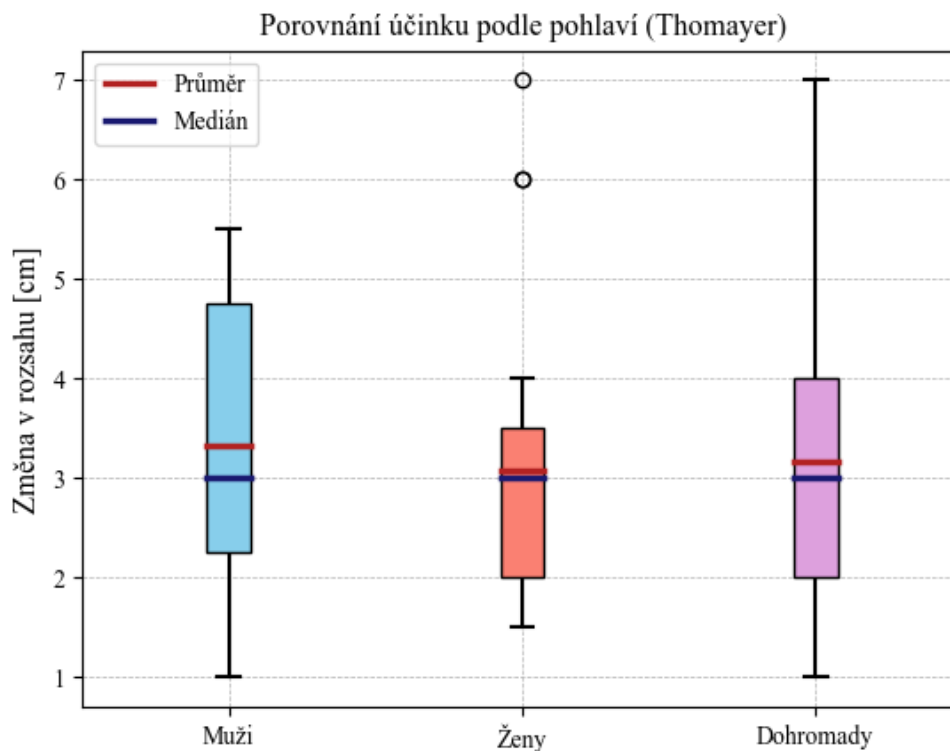
Naopak nejmenších hodnot dosahovali probandi při testování Stiborovy vzdálenosti, Schoberovy vzdálenosti a rozsahu v kyčelním úhlu v závislosti na napětí *m. iliopsoas*. Průměry u těchto testů nepřesahovaly 0,2 a ke změně po vestibulární stimulaci docházelo u minima probandů.

## 5.1 Popisná statistika

### 5.1.1 Thomayerova zkouška

Při měření Thomayerovy vzdálenosti bylo prováděno měření dvakrát s odstupem jedné minuty a následným testováním po ovlivnění vestibulárního systému rotace (dále již vestibulární dráždění nebo zmatení). U každého probanda došlo ke změně (prodloužení) Thomayerovy vzdálenosti. Tato vzdálenost se pohybovala od 1 do 7 cm. Průměrné prodloužení této vzdálenosti bylo 3,17 cm (u mužů 3,32 cm; u žen 3,08 cm), směrodatná odchylka byla 1,46 cm ( $SD \pm 1,46$ ) a medián 3 cm u obou pohlaví (viz Tabulka 1).

V grafu (Graf 1) je znázorněno, že je znatelný rozdíl u prodloužení Thomayerovy vzdálenosti v závislosti na pohlaví. Z grafu lze vyčíst, že u žen se Thomayerova vzdálenost neprodlužovala o tolik centimetrů jako u mužského pohlaví. Medián je sice u obou pohlaví stejný (tedy 3), ale průměry jsou rozdílné. Průměrné prodloužení Thomayerovy vzdálenosti u žen je 3,08 cm a u mužů 3,32 cm, jak lze vyčíst z tabulky (Tabulka 1).



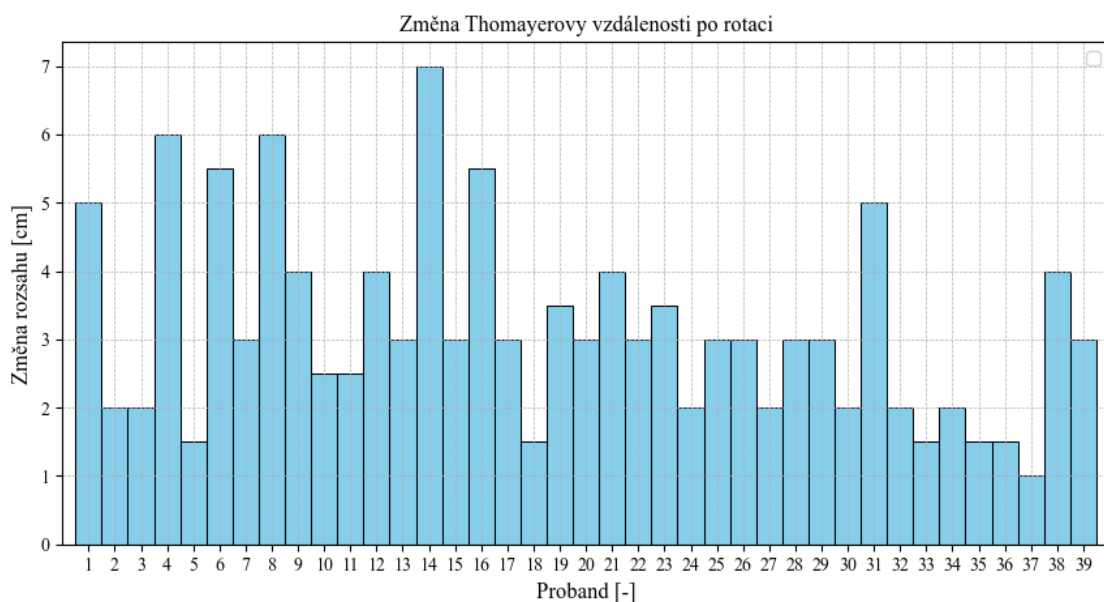
**Graf 1** - V grafu je vidět průměrné zvětšení rozsahu při měření Thomayerovy zkoušky, včetně průměru, mediánu a směrodatné odchylky.



<b>Thomayer</b>	
p	<0,001***
rozdíl průměru	2,71
±95% CI	2,17 - 3,24
Směrodatná odch.	6,84

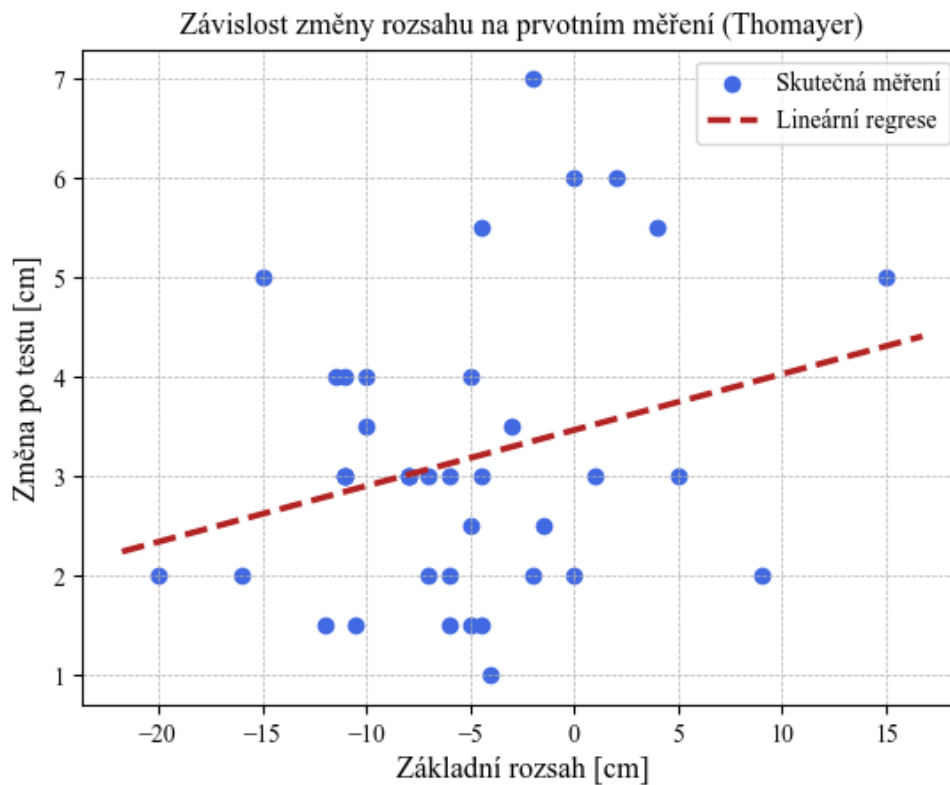
**Tabulka 2 - Změna po rotačním vestibulárním dráždění u Thomayerovy zkoušky (Pozn. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001)**

Tabulka 2 zobrazuje hodnotu rozdílu průměrů v centimetrech, interval spolehlivosti (95% CI) a jeho rozhraní (±95% CI) a směrodatnou odchylku (SD) při měření Thomayerovy vzdálenosti před a po vestibulární stimulaci. Dále zobrazuje p-hodnotu, která je nižší než 0,05 ( $p < 0,001$ ). Z toho vyplývá, že údaje jsou vysoce statisticky významné.



**Graf 2 – Změny Thomayerovy vzdálenosti po rotačním vestibulárním dráždění. Hodnoty udávají, o kolik se zmenšila Thomayerova vzdálenost v absolutní hodnotě**

Zda se zkrátí Thomayerova vzdálenost více u probandů, kteří dosahují kratší Thomayerovy vzdálenosti (větší zkrácení), bylo předmětem dalšího vyhodnocení. Test prokázal, že určitá závislost nastává a probíhá v trendu lineární regrese (viz Graf 3). Znamená to tedy, že pokud je proband více zkrácený, tak po dráždění vestibulárního systému nastává větší prodloužení než u probandů více flexibilnějších.



**Graf 3 - Graf popisuje závislost zvětšení rozsahu Thomayerovy vzdálenosti u probandů, kteří mají základní vzdálenost větší (respektive větší), tudíž mají svaly více zkráceny**

Tento údaj byl i statisticky ověřen (viz Tabulka 3), kde Pearsonův korelační koeficient udával hodnotu 0,335 a p-hodnota = 0,037 ( $p < 0,05$ ). Jedná se o slabou kladnou korelaci, ale statisticky významnou hodnotu (díky  $p < 0,05$ ).

		Thomayer - základ	Thomayer – změna po rotaci
Thomayer - základ	Pearsonovo r	—	
	p-hodnota	—	
Thomayer – změna po rotaci	Pearsonovo r	0.335	—
	p-hodnota	0.037 *	—

Pozn. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

**Tabulka 3 – V grafu je vyznačen Pearsonův korelační koeficient, který dosahuje hodnot  $r = 0,335$  a p-hodnota udává 0,037. Podle hodnoty  $r (0,335)$  je trend stoupající s p-hodnotou 0,037, která udává statistickou významnost (statisticky významná hodnota).**

Při porovnávání, zda efekt rotační dráždění vestibulárního systému vydrží po určitý časový úsek, jsme zaznamenali tyto údaje. Z tabulky (Tabulka 4) lze vyčíst díky hodnotě p, že efekt vestibulární stimulace při měření pomocí Thomayerovy zkoušky byl statisticky vysoce významný hned po dotočení ( $p < 0,001$ ), po 30 sekundách ( $p < 0,001$ ) a po 60 sekundách byl statisticky významný, díky hodnotě p, která byla nižší než 0,05 ( $p = 0,033$ ).

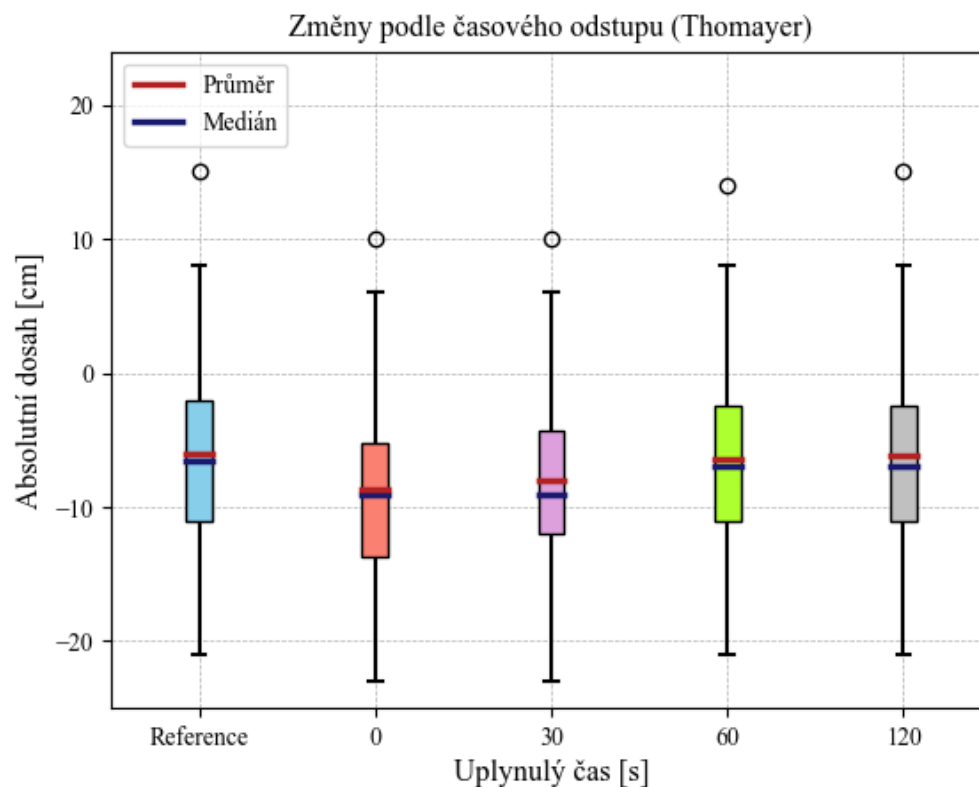
Rozdíl průměrů byl hned po dotočení 2,71 cm. Po 30 sekundách byl rozdíl průměrů 2,04 cm a po 60 sekundách byl 0,46 cm. Po 120 sekundách nabýval hodnot pouze 0,18 cm. I z těchto hodnot je vidět největších změn hned po dotočení (0 v Grafu 4) a po 30 sekundách.

Thomayer	0s	30s	60s	120s
p	<0,001***	<0,001***	0,033*	0,324
rozdíl průměrů	2,71	2,04	0,46	0,18
95% CI	2,17 - 3,24	1,54 - 2,54	0,04 - 0,88	-0,72
Směrodatná odch.	6,84	6,71	6,96	6,91

**Tabulka 4 - Efekt prodloužení po 0, 30, 60 a 120 sekundách u Thomayerovy zkoušky (Pozn. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ )**

Efekt vestibulární stimulace se tedy manifestuje hned po dotočení u každého probanda (100%), u 33 probandů (84,6%) vydrží po dobu 30 sekund (12,8%), po dobu 60 sekund již vydrží jen u 5 probandů ( $p=0,033$ ) a po dobu 120 sekund vydržel jen u jednoho probanda (2,6%).

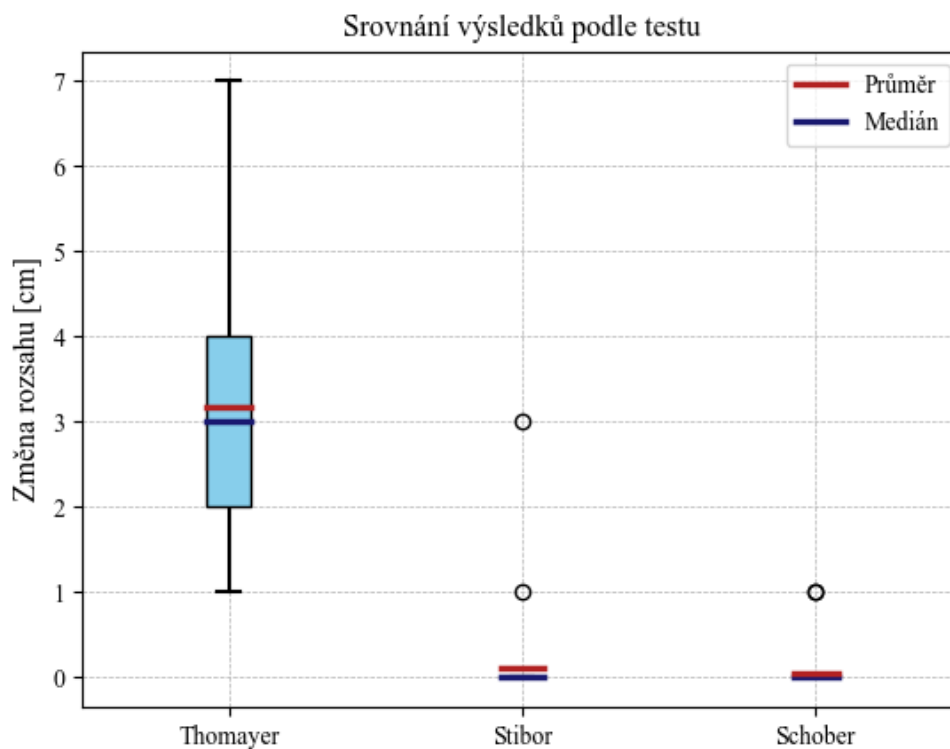
Tento efekt můžeme vyčíst i z grafu (Graf 4), kde jsou graficky zobrazeny i změny mediánu a průměru u jednotlivých částí. Lze pozorovat znatelné zmenšení u hodnot 0 a 30. U hodnoty 60 již nedochází k tak znatelně velké změně a hodnota 120 je téměř totožná s hodnotou 0.



**Graf 4 - Graf znázorňující efekt protažení při Thomayerově zkoušce v závislosti na čase, včetně směrodatných odchylek**

### 5.1.2 Stiborova a Schoberova zkouška

Měření Stiborovy a Schoberovy vzdálenosti nemělo takové parametry a jejich zvětšení se vyskytlo u mnohem méně probandů. Zvětšení Stiborovy vzdálenosti se vyskytlo u dvou probandů (5,2%) a Schoberova vzdálenost se zvětšila také jen u dvou probandů (5,2%). Rozdíl průměrů u Stiborovy vzdálenosti byl 0,1 a směrodatná odchylka 1,65 cm. U Schoberovy vzdálenosti byl rozdíl průměru 0,05 a směrodatná odchylka 0,88 cm.



**Graf 5 - Graf znázorňující porovnání vlivu rotačního vestibulárního dráždění u jednotlivých zkoušek. V grafu jsou zaneseny i průměry a mediány**

Na grafu (Graf 5) je vidět rozdíl mezi Thomayerovou zkouškou a ostatními (Stibor, Schober). I z grafického hlediska pozorujeme minimální změny u Stiborovy a Schoberovy zkoušky.

<b>Stiborova vzdálenost</b>		<b>Schoberova vzdálenost</b>	
p-hodnota	0,21	p-hodnota	0,16
rozdíl průměrů	0,1	rozdíl průměrů	0,05
±95% CI	0,06 - 0,27	±95% CI	0,12 - 0,2
Směrodatná odch.	1,65	Směrodatná odch.	0,88

**Tabulka 5 - Změna po rotačním vestibulárním dráždění u Stiborovy vzdálenosti (Pozn. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001)**

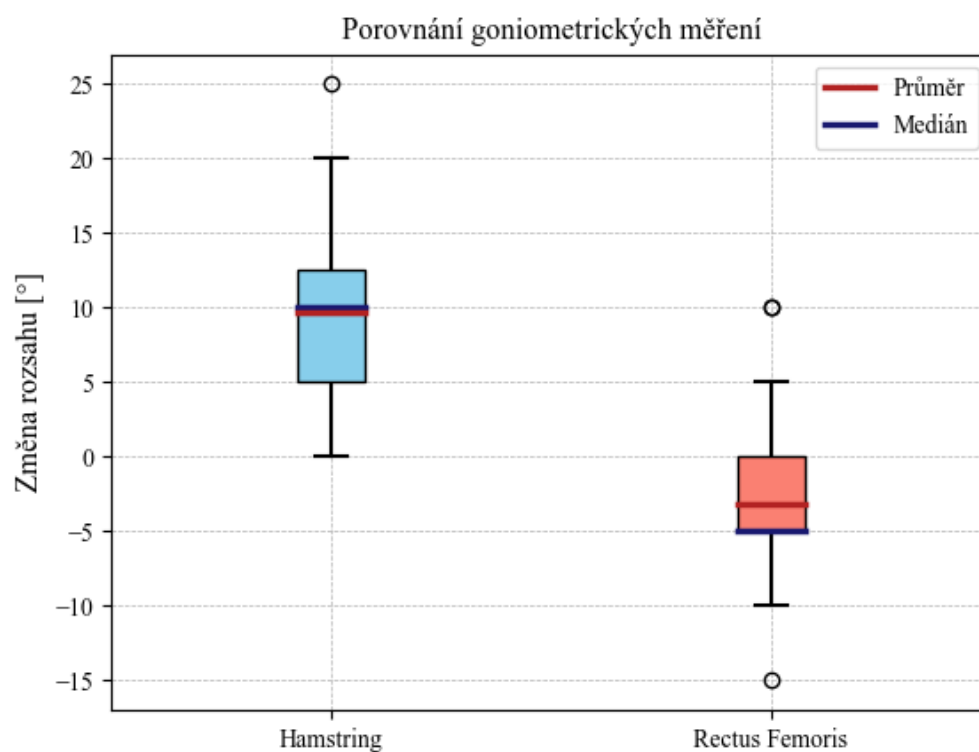
**Tabulka 6 - Změna po rotačním vestibulárním dráždění u Schoberovy vzdálenosti (Pozn. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001)**

Ze statistického hlediska je vidět, že p-hodnota je vyšší než 0,05 (viz Tabulka 5, Tabulka 6). I hodnoty „rozdíl průměrů“ jsou nízké a interval spolehlivosti (±95% CI) se pohybuje v minimálních hodnotách. Tyto údaje tedy nejsou statisticky významné.

## 5.2 Goniometrie

### 5.2.1 Kyčelní kloub

Při měření rozsahu v kyčelním kloubu v závislosti na protažení ischiokrurálního svalstva (hamstringy) bylo zjištěno, že rozsah se téměř vždy zvětšil po dráždění vestibulárního systému. Průměrně se zvětšil rozsah o  $9,74^\circ$  (viz Graf 6). Medián je  $10^\circ$  a modus  $5^\circ$ . Pouze u jednoho probanda se nezměnil rozsah v kyčelním kloubu, ale prodloužila se Stiborova a Schoberova vzdálenost. Směrodatná odchylka byla  $12,55^\circ$  a p-hodnota  $<0,001$  (Tabulka 7). Jedná se o vysoce významný statistický údaj.



**Graf 6 - Graf znázorňující zvětšení úhlu v kyčelním kloubu (Hamstring) a zmenšení úhlu v kolenním kloubu (Rectus Femoris)**



**Kyčelní kloub**

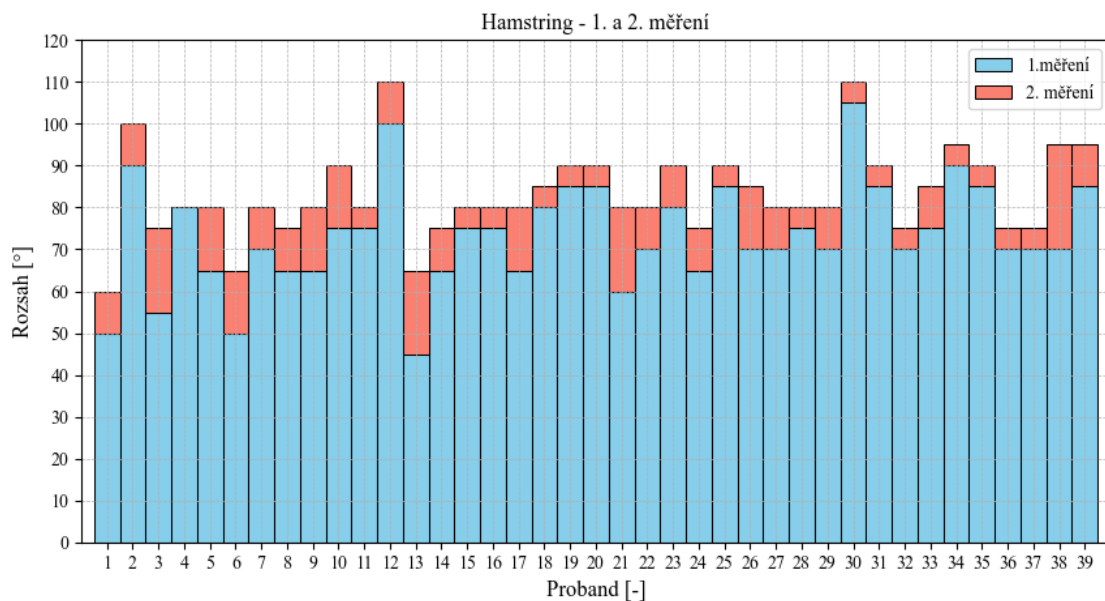
p-hodnota &lt;0,001\*\*\*

rozdíl průměrů 9,74

±95% CI 7,96 -11,52

Směrodatná odch. 12,55

**Tabulka 7 – Změna úhlu v kyčelním kloubu po rotačním vestibulárním dráždění (Pozn. \* p < .05, \*\* p < .01, \*\*\* p < .001)**

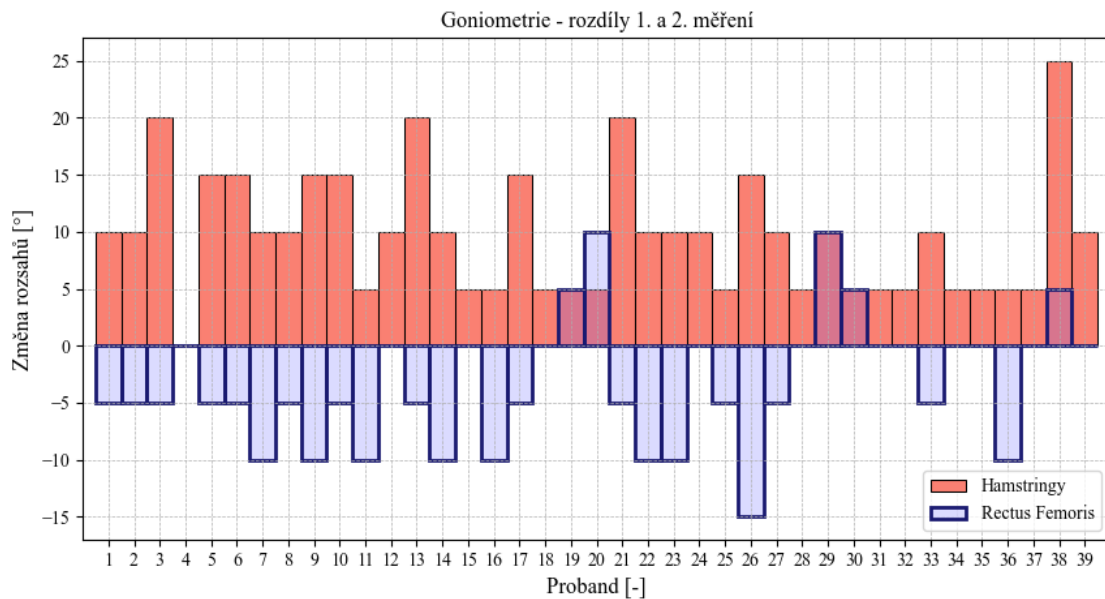


**Graf 7 – Základní úhel v kyčelním kloubu a změna úhlu v kyčelním kloubu po rotačním vestibulárním dráždění**

V grafu (Graf 7) můžeme graficky vidět, že téměř u každého probanda (až na probanda 4) se úhel v kyčelním kloubu zvětšil. Červenou barvou (2. měření) jsou zvýrazněny hodnoty přírůstku rozsahu v kyčelním kloubu po rotačním vestibulárním dráždění. To, že u jednoho probanda se úhel nezměnil, je statisticky nevýznamné a mohlo jít i o chybu v měření.

### 5.2.2 Kolenní kloub

Při měření *m. rectus femoris* v jeho klidovém tonu se údaje pohybovali v rozmezí od 10° do -15°. *Musculus rectus femoris* se tedy v jeho klidovém tonu zkracoval nebo prodlužoval po stimulaci vestibulárního systému. Sval se zkracoval u 22 probandů (56,4%), prodlužoval se u 5 probandů (12,8%) a jeho stav se neměnil u 12 probandů (30,8%). Interval spolehlivosti ( $\pm 95\text{CI}$ ) byl od 1,37 do 5,05° a směrodatná odchylka 8,79° (Tabulka 8). Hodnota *p* byla vysoce statisticky významná ( $p=0,001$ ).

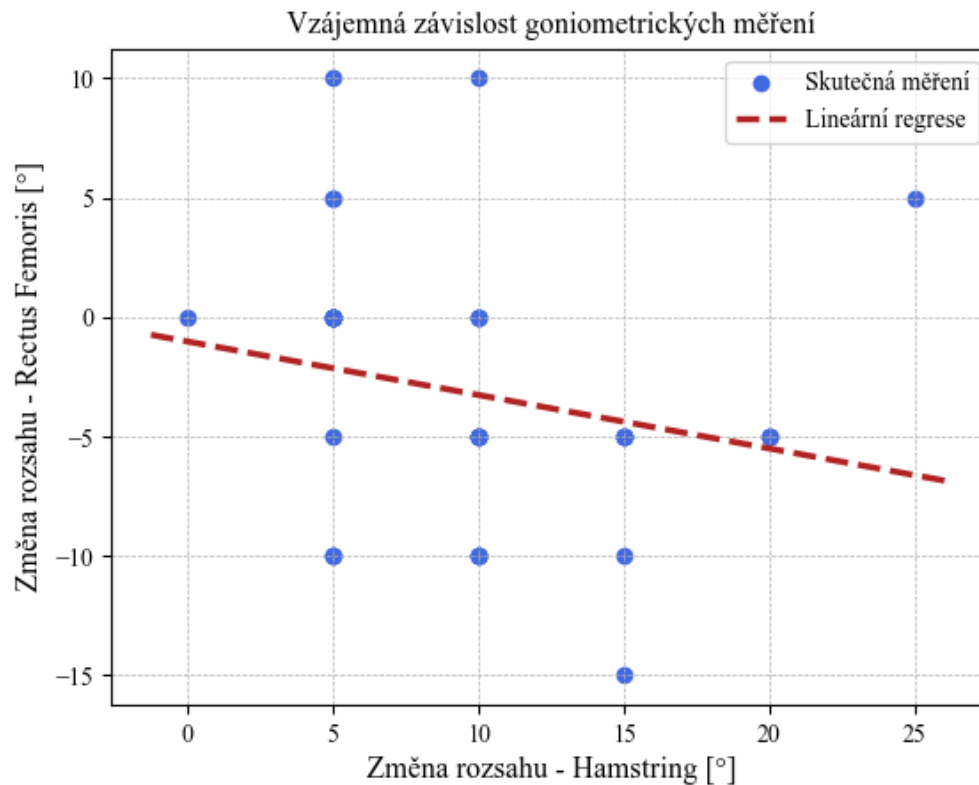


**Graf 8 – Změny v rozsazích v kyčelním (Hamstringy) a kolenním (Rectus Femoris) kloubu po rotačním vestibulárním dráždění**

Kolenní kloub	
<i>p</i>	0,001***
rozdíl průměrů	3,21
95% CI	1,37 - 5,05
Směrodatná odch.	8,79

**Tabulka 8 – Změna kolenním kloubu po rotačním vestibulárním dráždění (Pozn. \*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$ )**

Na grafu (Graf 8) lze graficky vidět, že u více probandů docházelo spíše ke zmenšení úhlu v kolenním kloubu (do extenze). Zda je závislost zkrácení *m. rectus femoris* na protažení ischiokrurálních svalů (hamstringů) bylo zaznamenáno do tabulky a vyhodnoceno na následujícím grafu (Graf 9). Z toho lze vyčíst, že určitá závislost zde nastává a tudíž hamstringy ovlivňují své antagonisty (a naopak). Jedná se tedy o nepřímou úměru.



**Graf 9 - Graf zobrazující závislost zvětšení rozsahu v kyčelním kloubu a zmenšení úhlu v kolenním kloubu. Při zvětšení rozsahu v kyčelním kloubu (Změna rozsahu - Hamstring) klesá rozsah v kolenním kloub (Změna rozsahu - Rectus femoris)**

		Hamstring	Rectus femoris
Hamstring	Pearsonovo r	—	
	p-hodnota	—	
Rectus femoris	Pearsonovo r	-0.217	—
	p-hodnota	0.185	—

Pozn.  $H_0 \neq H_6$

\*  $p < .05$ , \*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

**Tabulka 9 – Závislost zkrácení svalů předního stehna na protažení ischiokrurálního svalstva**

Z tabulky (Tabulka 9) můžeme vyčíst, že sice se jedná o slabou zápornou korelaci, ale její hodnota není statisticky významná  $p=0,185$  ( $p>0,05$ ). Znamená to tedy, že jde o závislost, ale statisticky nevýznamnou a tudíž nelze potvrdit hypotézu. Z grafu (Graf 9) lze sice vyčíst klesající tendenci, ale díky hodnotě-p je nevýznamná.

### 5.3 Výsledky hypotéz

*H1) Thomayerova vzdálenost se po rotačním dráždění vestibulárního systému zmenší.*

U všech probandů se zmenšila Thomayerova vzdálenost ( $p < 0,001$ ).

Tímto se potvrzuje hypotéza 1 na hladině 95% hladině statistické významnosti.

*H2) Thomayerova vzdálenost se více zkrátí po rotačním dráždění vestibulárního systému u probanda s vyšší základní Thomayerovou vzdáleností.*

Došlo u probandů s vyšší základní Thomayerovou vzdáleností k většímu zkrácení  $p=0,037$  ( $p < 0,05$ ). Tímto se potvrzuje hypotéza 2 na 95% hladině významnosti.

*H3) Efekt po rotačním dráždění vestibulárního systému vydrží 30 sekund.*

U většiny probandů došlo k udržení efektu 30 sekund ( $p < 0,001$ ). Tímto se potvrzuje hypotéza 3 na 95% hladině významnosti.

*H4) Rozsah flexe v kyčelním kloubu se zvětší při natažené dolní končetině po stimulaci vestibulárního systému.*

U téměř všech probandů došlo ke zvětšení úhlu v kyčelním kloubu ( $p < 0,001$ ). Potvrzena hypotéza 4 na 95% hladině významnosti.

*H5) Úhel v kolenním kloubu se zmenší po stimulaci vestibulárního systému.*

Úhel v kolenním kloubu se zmenšil u probandů ( $p=0,001$ ). Údaj je statisticky významný. Hypotéza 5 je potvrzena na 95% hladině významnosti.

*H6) Je závislost zvětšení úhlu v kyčelním kloubu na zmenšení úhlu v kolenním kloubu.*

Úhel v kyčelním kloubu se zvětšoval, ale nebyla statisticky prokázána závislost na zmenšení úhlu v kolenním kloubu. Hodnota  $p=0,185$  ( $p > 0,05$ ) není statisticky významná. Tímto se vyvrací hypotéza 6 na 95% hladině významnosti.

## 6 DISKUZE

Již z teoretické části je jasně vidět, že vestibulární systém má svými mnohými vazbami a neurofyziologickými spoji dosti složitou strukturu. Mimo propojení s vizuálními a propioceptivními vstupy má i své spoje s mozečkem, thalamem, ale i například kortexem (Purves et al., 2018). Proto je potřeba dívat se na samotný vliv vestibulárního systému z větší perspektivy a počítat i se spoji a efekty, o kterých zatím nemusíme mít ponětí.

Vzájemná spolupráce vestibulárního, zrakového a propioceptivního systému při udržování postury byla dokázána již v několika studiích (Ferrè et al., 2015). Je tedy jasné, že když nějak poškodíme vestibulární systém, tak ostatní systémy budou reagovat tak, aby vyrovnaly tuto nerovnováhu a kompenzovaly tento výpadek. Někteří autoři tvrdí, že při poškození vestibulárního systému dochází k zesílení vizuální aference, díky které dochází ke kompenzaci vypadlého systému (Lopez, 2010). Z klinického hlediska můžeme u pacientů s poškozeným vestibulárním systémem pozorovat větší aktivitu a pozornost věnovanou zrakovým orgánům více než u pacientů s nepoškozeným.

Pro samotné měření bylo potřeba vymyslet způsob měření a měřící pomůcky, aby šlo o nejvíce objektivní a zároveň reliabilní testování. Pro „zmatení“ vestibulárního systému se použila rotace celého těla i s vyřazením zrakové kontroly, aby nedošlo k zrakové fixaci a tudíž eliminaci ovlivnění vestibulárního systému. Pro každého probanda se zvolila rychlost jedné otočky o 360° za jednu sekundu ve stoje. Okolo probanda se zajistil volný prostor o minimální ploše 5 m<sup>2</sup>, aby nedošlo ke zranění nebo kolizi s jiným předmětem. Pro lepší objektivizaci by se příště dalo využít i nějakého rotačního přístroje nebo otočné židle, u které by si rychlost rotace mohl určovat měřitel podle jeho schopností. Tyto pomůcky nebyly k dispozici, a proto se zvolila metoda rotace ve stoje.

Pro měření délek na určení dynamiky páteře se za pomoci truhláře vyrobila stolička o výšce 25 centimetrů. Tato stolička musela být dostatečně široká a stabilní, aby byl proband po rotaci se zhoršeným vestibulárním systémem schopen na ní vylézt, a aby ze stoličky nespádnul. Došlo tedy k její kalibraci. Proto uvedené měření raději probíhalo u stěny, aby se při možných pádech mohl proband zachytit. Na jedné straně stoličky byl přilepen krejčovský metr pro jednodušší a rychlejší měření Thomayerovy vzdálenosti. Dále byly na stoličce z vrchu nakresleny vodící čáry, které ukazovaly, na jak širokou bázi si má proband stoupnout.

Jako každá práce se i ta naše potýkala s určitými limity. V případě dostatku pacientů s poškozeným vestibulárním systémem by šlo porovnávat zdravé probandy a probandy s poškozením. Počet probandů byl také ovlivněn pandemickou situací, která v době měření probíhala na celém území České republiky. Určitým limitem byla i náročnost měření pro každého probanda. Určitá část probandů při třetím měření již snášela rotaci hůře a dostavovali se u nich vegetativní projevy (nauzea). Tento problém by se dal vyřešit naměřením všech parametrů pouze po jednom rotačním vestibulárním dráždění. Bohužel by se tak nestihly změřit všechny parametry, které jsme si na začátku práce stanovili.

Podle výsledků této diplomové práce má vestibulární systém značný vliv na antigravitační svaly, v našem případě hlavně ischiokrurální. V případě, že u zdravého jedince dojde k dočasnému podráždění vestibulárního systému (v našem případě opakovanou rotací na jednu stranu), tak tyto svaly reagují jejich prodloužením. Docházelo tedy k zmenšení (prodloužení) Thomayerovy vzdálenosti. Tento údaj je statisticky významný a zobrazen i v grafu (viz Graf 1, Tabulka 2). Zmíněného efektu prodloužení dosahoval každý proband.

Z grafu (Graf 1) a tabulky (Tabulka 1) lze dokonce vyčíst celkové menší prodloužení u žen, než u mužů. Podle studie Blackburna (2009) mají ženy z biomechanického hlediska menší ztuhlost hamstringů než muži. Existuje i určitá rozdílnost v poměru svalové a tukové hmoty u mužů a žen. Je totiž celkově známo, že ženy mají méně svalové hmoty než muži (Bredella, 2017). V tomto případě by rozdílnost určitě hrála svojí roli. Hrají zde tedy i určité biomechanické a pohlavní rozdíly, které určují tuto divergenci.

Na druhou stranu u testování na dynamiku hrudní a bederní páteře Stiborovou a Schoberovou zkouškou došlo k prodloužení jen u dvou probandů. Statisticky se tedy jedná o nevýznamný údaj (viz Tabulka 5 a 6). Očekávali bychom, že bude docházet k prodloužení v oblasti bederní a hrudní páteře. Toto očekávání se však nenaplnilo a u testování na dynamiku páteře docházelo k prodloužení jen u velice malého vzorku probandů. Z tohoto pohledu se zdá, že vestibulární dysfunkce nemusí tolik ovlivňovat paravertebrální svaly, jako antigravitační svaly na dolních končetinách.

Otázka, jak dlouho vydrží tento efekt, byla jedna z dalších, které nás zajímali. Při samotném testování vydržel efekt prodloužení po 30 sekundách u 33 probandů (84,6%). Znamená to tedy, že uvedený efekt nemá jen krátkého trvání, ale u dosti probandů se vyskytuje i po půl minutě a jedná se o statisticky významný jev (Graf 4, Tabulka 4). Po jedné minutě od provedení rotace se efekt ukázal už jen u 5 probandů a po dvou minutách byl ovlivněn pouze jeden proband. Při subjektivním hodnocení probandů, u kterých tento efekt trval jednu minutu a více, většina zmiňovala rotační vertigo a někteří i nauzeu. Naopak u probandů, kterým efekt nevydržel ani 30 sekund, si na rotační vertigo nestěžoval vůbec nikdo a po 30 sekundách byla i Hautantova zkouška negativní. Může to znamenat, že každý člověk má jinak adaptivní vestibulární systém a jinak mu zvládne reagovat na rotační podráždění. U probandů, kteří měli dříve diagnostikovaný nízký tlak, docházelo k nepříjemné adaptaci a dokonce došlo i na přerušování testování, dokud neodezní vertigo a vegetativní projevy. Zda na to má efekt i úroveň krevního tlaku by tedy bylo zajímavou teorií, ale toto téma již nebylo součástí této diplomové práce.

Jaký může mít efekt zmiňované podráždění vestibulárního systému u člověka, který má zkrácené ischiokrurální svaly, se zdá být jako dobrá otázka. Ta byla rozpracována v další části práce, tedy zda existuje opravdu vzájemná souvislost mezi zkrácenými svaly a prodloužením Thomayerovy vzdálenosti po vestibulárním vyřazení. Toto tvrzení jsme si dali za úkol prozkoumat. Podle Grafu (Graf 3) a tabulky (Tabulka 3) je vidět, že jde o slabou kladnou korelaci, a tudíž se určitá souvislost projevuje. Klidové napětí hamstringů tedy hraje určitou roli při prodloužení po rotačním vestibulárním podráždění. Toto tvrzení by dokazovalo, že na ovlivnění ischiokrurálních svalů má kromě nervového systému vliv i biomechanická část svalu. Samozřejmě zde můžeme vzít v potaz i pohlavní rozdílnost. Víme, že ženy mají celkově menší svalovou ztuhlost (Blackburn et al, 2009) a menší poměr svalové hmoty (Bredella, 2017). V tomto případě by tedy docházelo k většímu prodloužení u mužů než u žen. K tomuto fenoménu skutečně dochází, jak ukazuje tabulka (Tabulka 1).



Součástí práce bylo zjistit, zda opravdu toto vestibulární zmatení systému ovlivní ischiokrurální svaly. Měřením úhlu v kyčelním kloubu s nataženou dolní končetinou před a po točení se zjistilo, že opravdu dochází k ovlivnění těchto svalů. Údaj byl statisticky významný a hrál důležitou roli v našem testování. Pouze u jednoho probanda nedocházelo k prodloužení v oblasti hamstringů. U zmíněného probanda ovšem došlo k prodloužení ve Stiborově a Schoberově zkoušce, což znamená, že u toho probanda nedošlo k ovlivnění těchto antigravitačních svalů na dolních končetinách, ale došlo k ovlivnění paravertebrálních svalů. Tím, že zmíněný efekt nastal pouze u jednoho probanda, je uvedená teorie spíše hypotetická a na hlubší probádání tohoto fenoménu by mohla být vypracována další práce.

V průběhu testování se měřilo napětí *m. iliopsoas* pomocí goniometrie v kyčelním kloubu (viz Obrázek 5). U tohoto měření nedocházelo k žádným změnám (až na jednoho probanda), ale při podrobném sledování docházelo po rotačním dráždění vestibulárního systému ke změnám v kolenním kloubu. Změnil se tedy goniometrický parametr a měřil se úhel v kolenním kloubu před a po rotačním dráždění. Tento údaj byl velice proměnný. U někoho se úhel zmenšoval a jindy zase zvětšoval. Celkově po vyhodnocování dat se však zjistilo, že docházelo spíše ke zmenšování úhlu. Můžeme tedy říci, že drážděním vestibulárního systému docházelo spíše k facilitaci extenzorů kolenního kloubu.

Vzájemné ovlivnění zmenšení úhlu v kolenním kloubu v závislosti na zvětšení úhlu v kyčelním úhlu jsme se snažili prokázat pomocí Pearsonova korelačního koeficientu. I když z grafu (Graf 9) byla viditelná určitá závislost, tak statistické údaje vyhodnotili tuto závislost jinak. Podle p-hodnoty, která byla vyšší než 0,05, bylo dokázáno, že je tento údaj statisticky nevýznamný. Ovšem pro hlubší probádání zmíněné problematiky by určitě bylo zajímavé zkusit měřit kromě hamstringů a *m. rectus femoris* i jiné antigravitační svaly nejen dolních končetin.

Je pravděpodobné, že k inhibici hamstringů a facilitaci *m. rectus femoris* dochází na úrovni vestibulárních jader. Podle Purvese se vstupy z otolitových orgánů promítají hlavně do laterálních vestibulárních jader, které posílají axony do laterálního vestibulospinálního traktu vedoucí do ipsilaterálního předního rohu míchy. Tyto axony končí monosynapticky na extenzorových motoneuronech (v našem případě ischiokrurální svaly) a disynapticky inhibují motoneurony flexorů; výsledkem je silný excitační vliv na extenzorové (antigravitační) svaly (Purves et al., 2018).

Podobný efekt bychom očekávali u Stiborovy a Schoberovy vzdálenosti. Podle Shumway (2018) a Khan (2013) jsou z laterálních jader vestibulárního systému inervovány i extenzory trupu. Při rotačním vestibulárním dráždění ovšem k jejich inhibici (a tudíž prodloužení) došlo pouze u dvou probandů. To by mohlo znamenat, že zmatení vestibulárního systému má vliv jen na určité části. Může to být i způsobeno kratšími nervovými dráhami, které vedou do paravertebrálních svalů než do extenzorů dolních končetin. V rámci studie by bylo zajímavé zjistit, zda má rotační vestibulární dráždění vliv i na extenzory na horních končetinách. Podle Khan (2013) totiž laterální vestibulární jádra ovlivňují proximální extenzory horních i dolních končetin.

U všech probandů docházelo po rotačním dráždění vestibulárního systému k subjektivnímu vjemu rotačního vertiga. Velká část probandů zmiňovala pocit většího prodloužení jedné končetiny (při Thomayerově zkoušce) v závislosti na jakou stranu se točili. V případě, že se točili na pravou stranu, tak jejich subjektivní vjem byl, že pravá dolní končetina má menší napětí a více se protahuje. Při měření hloubky při Thomayerově vzdálenosti bylo vidět rozdílných hodnot v rozsahu 0,5 centimetru. V případě, že se tedy proband točil napravo a poté provedl Thomayerovu zkoušku, tak jeho pravá horní končetina se dostala o přibližně 0,5cm níže než levá. Je tam tedy určitý vliv a stranová diferenciacce.

Studie z roku 2009 (Hamill & Knutzen, 2009) zmiňuje, že statický strečink snižuje odpověď Ia senzoričkových neuronů. U našeho testování mohlo tedy dojít ke snížení senzitivity a utlumení reflexů nervově řídicích protažení. Vestibulární systém má tedy mnohem větší význam na svalový tonus, než se mohlo na první pohled zdát.

Vestibulární systém má mnoho spojů nejen s mozečkem a thalamem, ale jeho dráhy vedou až do inzulární oblasti (PIVC), kde podle Ferré (2012) dochází k vzájemnému ovlivnění vestibulárního systému a taktilního cití. Purves (2018) potvrzuje, že vliv parietoinsulárního vestibulárního kortexu (PIVC) může být obzvláště důležitý pro cit k pohybu a orientaci těla v prostoru. Dále ve své studii sděluje, že dochází k aktivaci těchto kortikálních neuronů pohybem vizuálních podnětů i při rotaci těla se zavřenými očima. Prozkoumat tuto problematiku hlouběji by mohlo odpovědět na otázky mnohem přesněji. Na uvedenou studii by ovšem bylo potřeba mnohem složitější testování a vyšetřovací i zobrazovací metody.

Na testování by mohl mít vliv i zvuk respektive hluk při samotném měření. Díky studiím Lubetzkyho (2020) a dalších autorů (Rumalla et al., 2015) (Gandemer et al., 2016) má nezanedbatelný vliv sluch na celkové vnímání a udržování postury. Tento vstup nebyl součástí práce, ale určitě by bylo zajímavé více prozkoumat zmíněnou problematiku a jejich vzájemné propojení. Mohlo by například i docházet k ovlivnění propriocepce pomocí zvukových signálů a jejich vzájemné využití v praxi.

Zda se tyto poznatky dají využít k nějaké terapii, je opravdu záludná otázka. Určitě by se daly využít jako nástroj ke strečinku hamstringů. Na druhou stranu dochází i k nepříjemným pocitům rotačního vertiga s vegetativními příznaky (nauzea). Volba terapie touto cestou by byla proto na uvážení terapeuta, zda pacient dokáže snést podráždění vestibulárního systému, popřípadě, zda nemá nízký tlak. Máme i jiné techniky protažení svalů, které nejsou takto náročné na provedení a dráždění vestibulárního systému (např. PIR, postfacilitační inhibice).

Samotné měření a testování probíhalo na zdravých a mladých jedincích, tudíž nevíme, jak by reagovali jiní probandi s určitými neurologickými nebo jinými poruchami. Předpoklad, že všichni testovaní jedinci jsou plně zdraví, byl součástí této studie. Samozřejmě před každým měřením byl proband dotazován, zda se cítí zdravě a netrápí ho nějaké somatické problémy nebo poruchy, které by mohly zkreslovat měření a i celou studii.

Ve vědeckém prostředí by ovšem bylo zajímavé zjistit, zda u lidí s poškozeným vestibulárním systémem dochází ke snížení svalového tonu v antigravitačních svalech a následné zkoumání dalších fenoménů. Tato studie je pouze zlomkem toho, co všechno by se dalo vyzkoumat ze zmíněného poznatku a věřím, že i někteří kolegové se dále pustí do uvedené problematiky a prozkoumají dále její taje. Přeci jenom CNS je velice složitý systém, který ještě není zcela prozkoumán a stále se může přicházet na nové poznatky, které by moji i další jinou práci mohly rozšířit.

## 7 ZÁVĚR

Diplomová práce se zaměřila na vliv vestibulárního systému na posturální svalstvo, konkrétně na ischiokrurální svaly, svaly přední strany stehna a paravertebrální svalstvo. Toto propojení jsme se snažili dokázat na zdravých lidech pomocí jednoduchého testu, při kterém došlo ke zmatení vestibulárního systému.

V teoretické části byly popsány anatomické a fyziologické poznatky periferního i centrálního vestibulárního systému. V části rešeršní došlo ke shromáždění poznatků zabývajících se vestibulárním systémem a jeho vlivu na propioceptivní a vizuální systém. Rešeršní část byla věnovaná i posturální kontrole pomocí těchto tří systémů a nakonec i nervovému a biomechanickému řízení svalu.

V další části byli popsány metodické postupy, jak zkrátit vestibulární systém, aby se prokázalo protažení antigravitačních svalů a následné jejich měření. Tato část obsahovala i popsání měřících pomůcek a postupů.

Proběhlo otestování a vyhodnocení výsledků, kde po otestování 39 zdravých probandů jsme došli k výsledku, že vestibulární systém má nemalý vliv na antigravitační svaly a to hlavně na hamstringy. Zjistili jsme, že má i vliv na jiné svaly, nejen antigravitační. Probandi dosahovali v Thomayerově zkoušce i jiných testech statisticky významných výsledků a dalo se tedy bezpečně potvrdit vzájemné ovlivnění vestibulárního a propioceptivního systému. Pouze jedinou hypotézu se nepodařilo potvrdit. Došlo se k závěru, že na prodloužení hamstringů má vliv i jejich klidový tonus, respektive zkrácení.

Využití těchto poznatků lze dále rozšiřovat toto téma a může se využít i na určité terapeutické postupy.

## REFERENČNÍ SEZNAM

1. ANDERSON B., BURKE E. R., Scientific, medical, and practical aspects of stretching. *Clin Sports Med.* 1991 Jan;10(1):63-86. PMID: 2015647.
2. ALLUM J.H.J., PFALTZC R., Visual and vestibular contributions to pitch sway stabilization in the ankle muscles of normals and patients with bilateral peripheral vestibular deficits. *Experimental Brain Research* [online]. 1985, 58(1) [cit. 2021-03-15]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi:10.1007/BF00238956
3. ALLUM J. H. J., ADKIN A. L., Improvements in Trunk Sway Observed for Stance and Gait Tasks during Recovery from an Acute Unilateral Peripheral Vestibular Deficit. *Audiology and Neuro-Otology* [online]. 2003, 8(5), 286-302 [cit. 2021-03-15]. ISSN 1421-9700. Dostupné z: doi:10.1159/000071999
4. ALTER M. J., Science of stretching. Champaign, Ill.: *Human Kinetics Books*, c1988, xi, 243 p. ISBN 08-732-2090-0.
5. ALTER M. J., *Strečink: 311 protahovacích cviků pro 41 sportů*. 1. vyd. Praha: Grada, 1999, 228 s. ISBN 80-716-9763-X.
6. ARSHAD Q., NIGMATULLINA Y., BRONSTEIN A M., Handedness-Related Cortical Modulation of the Vestibular-Ocular Reflex. *Journal of Neuroscience* [online]. 2013, 33(7), 3221-3227 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.2054-12.2013
7. ARSHAD Q., SIDDIQUI S., RAMACHANDRAN S. et al., Right hemisphere dominance directly predicts both baseline V1 cortical excitability and the degree of top-down modulation exerted over low-level brain structures. *Neuroscience* [online]. 2015, 311, 484-489 [cit. 2021-03-15]. ISSN 03064522. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroscience.2015.10.045
8. ARSHAD Q., Dynamic interhemispheric competition and vestibulo-cortical control in humans; A theoretical proposition. *Neuroscience* [online]. 2017, 353, 26-41 [cit. 2021-03-15]. ISSN 03064522. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroscience.2017.04.013
9. BAIER B., KARNATH H. O., Tight Link Between Our Sense of Limb Ownership and Self-Awareness of Actions. *Stroke* [online]. 2008, 39(2), 486-488 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0039-2499. Dostupné z: doi:10.1161/STROKEAHA.107.495606
10. BEAULIEU J. E., Developing a Stretching Program. *The Physician and Sportsmedicine* [online]. 2016, 9(11), 59-69 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0091-3847. Dostupné z: doi:10.1080/00913847.1981.11711207

11. BEDNARCZUK G., MOLIK B., MORGULEC-ADAMOWICZ N., KOSMOL A., WISZOMIRSKA I., RUTKOWSKA I., PERKOWSKI K., Static balance of visually impaired paralympic goalball players. *International Journal of Sports Science & Coaching* [online]. 2017, 12(5), 611-617 [cit. 2021-03-15]. ISSN 1747-9541. Dostupné z: doi:10.1177/1747954117727791
12. BEHM D. G., CHAOUACHI A., A review of the acute effects of static and dynamic stretching on performance. *European Journal of Applied Physiology*. 2011, vol. 111, issue 11, s. 2633-2651. DOI: 10.1007/s00421-011-1879-2
13. BELOOZEROVA I. N., SIROTA M. G., Integration of motor and visual information in parietal area 5 during locomotion. *J Neurophysiol* (2003) 90: 961-971.
14. BESTMANN S., DUQUE J., Transcranial Magnetic Stimulation. *The Neuroscientist* [online]. 2016, 22(4), 392-405 [cit. 2021-03-15]. ISSN 1073-8584. Dostupné z: doi:10.1177/1073858415592594
15. BISIACH E., RUSCONI M. L., VALLAR G., Remission of somatoparaphrenic delusion through vestibular stimulation. *Neuropsychologia* 1991: 29: 1029-31
16. BLACKBURN J. T, BELL D. R., NORCROSS M. F., HUDSON J. D., KIMSEY M. H., Sex comparison of hamstring structural and material properties. *Clinical Biomechanics* [online]. 2009, 24(1), 65-70 [cit. 2021-04-23]. ISSN 02680033. Dostupné z: doi:10.1016/j.clinbiomech.2008.10.001
17. BREDELLA M. A., Sex Differences in Body Composition. MAUVAIS-JARVIS, Franck, ed. *Sex and Gender Factors Affecting Metabolic Homeostasis, Diabetes and Obesity* [online]. Cham: Springer International Publishing, 2017, 2017-12-10, s. 9-27 [cit. 2021-04-23]. Advances in Experimental Medicine and Biology. ISBN 978-3-319-70177-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-70178-3\_2
18. BÜTTNER U., BÜTTNER U. W., Parietal cortex (2v) neuronal activity in the alert monkey during natural vestibular and optokinetic stimulation. *Brain Res.* 1978; 153(2): 392–397. PMID: 99209
19. BROWN R. J., BRUNT N., POLIAKOFF E., LLOYD D. M., Illusory touch and somatosensory perception in somatoform dissociators. *J Psychosom Res.* 2010; 69(3): 241–248. doi: 10.1016/j.jpsychores.2009.11.010 PMID: 20708446
20. DAVIDSON R. J., Cerebral asymmetry, emotion, and affective style In Davidson R. J. & Hugdahl K. (Eds.), *Brain asymmetry* (1995) (pp. 361–387). Cambridge, MA: MIT Press.

21. DENSERT O., A Fluorescence and Electron Microscopic Study of the Adrenergic Innervation in the Vestibular Ganglion and Sensory Areas. *Acta Oto-Laryngologica* [online]. 2009, 79(1-2), 96-107 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0001-6489. Dostupné z: doi:10.3109/00016487509124660
22. DIETERICH M., Dominance for Vestibular Cortical Function in the Non-dominant Hemisphere. *Cerebral Cortex* [online]. 2003, 13(9), 994-1007 [cit. 2021-03-15]. ISSN 1460-2199. Dostupné z: doi:10.1093/cercor/13.9.994
23. DOSTÁLOVÁ I., MIKLÁNKOVÁ L., *Protahování a posilování pro zdraví*. Olomouc: Hanex, 2005. ISBN 8085783479.
24. EICKHOFF S. B., WEISS P. H., AMUNTS K., FINK G. R., ZILLES K., Identifying human parieto-insular vestibular cortex using fMRI and cytoarchitectonic mapping. *Human Brain Mapping* [online]. 2006, 27(7), 611-621 [cit. 2021-04-19]. ISSN 1065-9471. Dostupné z: doi:10.1002/hbm.20205
25. ETNYRE B. R., ABRAHAM L. D., H-reflex changes during static stretching and two variations of proprioceptive neuromuscular facilitation techniques. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* [online]. 1986, 63(2), 174-179 [cit. 2021-03-15]. ISSN 00134694. Dostupné z: doi:10.1016/0013-4694(86)90010-6
26. EULENBURG P., CASPERS S., ROSKI C., EICKHOFF S. B., Meta-analytical definition and functional connectivity of the human vestibular cortex. *NeuroImage* [online]. 2012, 60(1), 162-169 [cit. 2021-03-15]. ISSN 10538119. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuroimage.2011.12.032
27. FERRÈ E. R., BOTTINI G., HAGGARD P., Vestibular modulation of somatosensory perception. *European Journal of Neuroscience* [online]. 2011, 34(8), 1337-1344 [cit. 2021-04-10]. ISSN 0953816X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1460-9568.2011.07859.x
28. FERRÈ E. R., BOTTINI G., HAGGARD P., Vestibular inputs modulate somatosensory cortical processing. *Brain Structure and Function* [online]. 2012, 217(4), 859-864 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1863-2653. Dostupné z: doi:10.1007/s00429-012-0404-7
29. FERRÈ E. R., DAY B. L., BOTTINI G., HAGGARD P., How the vestibular system interacts with somatosensory perception: A sham-controlled study with galvanic vestibular stimulation. *Neuroscience Letters* [online]. 2013, 550, 35-40 [cit. 2020-12-18]. ISSN 03043940. Dostupné z: doi:10.1016/j.neulet.2013.06.046

30. FERRÈ E. R., HAGGARD P., HAGGARD R., The vestibular body: Vestibular contributions to bodily representations. *Cognitive Neuropsychology* [online]. 2016, 33(1-2), 67-81 [cit. 2020-12-18]. ISSN 0264-3294. Dostupné z: doi:10.1080/02643294.2016.1168390
31. FINK G., HAISS P. R., HRISTOFOROVA S., Bond Markets and Economic Growth. *SSRN Electronic Journal* [online]. [cit. 2021-03-15]. ISSN 1556-5068. Dostupné z: doi:10.2139/ssrn.1003763
32. FITZPATRICK R. C., DAY B. L., Probing the human vestibular system with galvanic stimulation. *Journal of Applied Physiology* [online]. 2004, 96(6), 2301-2316 [cit. 2021-03-15]. ISSN 8750-7587. Dostupné z: doi:10.1152/jappphysiol.00008.2004
33. FOLEGATTI A., DE VIGNEMONT F., PAVANI F., ROSSETTI Y., FARNÈ A., HARRIS J., Losing One's Hand: Visual-Proprioceptive Conflict Affects Touch Perception. *PLoS ONE* [online]. 2009, 4(9) [cit. 2021-03-15]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0006920
34. FONTANA J., Funkce buněk a lidského těla: Multimediální scripta [online]. [cit.2021-04-12]. Dostupné z:<http://fbt.cz/skripta/>
35. GANDEMER L., PARSEIHIAN G., BOURDIN Ch., KRONLAND-MARTINET R., Sound and Posture: an Overview of Recent Findings. *Computer Music and Multidisciplinary Reasearch (CMMR)* 2016, Jul 2016, S̃ao Paulo, Brazil. CMMR 2016
36. GULDIN W. O., GRÜSSER O. J., Is there a vestibular cortex? *Trends Neurosci.* 1998; 21(6): 254–259. PMID: 9641538
37. GOLDBERG J., WILSON V., CULLEN K., ANGELAKI D., BROUSSARD D., BUTTNER-ENNEVER J., FUKUSHIMA K., & MINOR L., (2012-03-01). *The Vestibular System: A Sixth Sense.* : Oxford University Press. Retrieved 19 Apr. 2020, from <https://www.oxfordscholarship.com/view/10.1093/acprof:oso/9780195167085.001.0001/acprof-9780195167085>.
38. GRÜSSER O. J., PAUSE M., SCHREITER U., Localization and responses of neurones in the parieto-insular vestibular cortex of awake monkeys (*Macaca fascicularis*). *J Physiol.* 1990; 430(1): 537–557
39. HAMILL J., KNUTZEN K., *Biomechanical basis of human movement.* (3rd ed.) Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams and Wilkins, c2009, xi, 491 p. ISBN 07-817-9128-6.



40. HORAK F. B., NASHNER L. M., Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology* [online]. 1986, 55(6), 1369-1381 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.1986.55.6.1369
41. HORAK F. B., NASHNER L. M., DIENER H. C., Postural strategies associated with somatosensory and vestibular loss. *Experimental Brain Research* [online]. 1990, 82(1) [cit. 2021-03-15]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi:10.1007/BF00230848
42. HORAK F. B., MACPHERSON J. M., Postural orientation and equilibrium. In: Rowell LB, Shepard JT, eds. *Handbook of Physiology: Section 12, Exercise Regulation and Integration of Multiple Systems*. New York: Oxford University Press, 1996; 255–92.
43. HOZAWA, K., KIMURA R. S., Vestibular Sympathetic Nervous System in Guinea Pig. *Acta Oto-Laryngologica* [online]. 2009, 107(3-4), 171-181 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0001-6489. Dostupné z: doi:10.3109/00016488909127496
44. IMAI Y., SODA M., INOUE H., HATTORI N., MIZUNO Y., TAKAHASHI R., An Unfolded Putative Transmembrane Polypeptide, which Can Lead to Endoplasmic Reticulum Stress, Is a Substrate of Parkin. *Cell* [online]. 2001, 105(7), 891-902 [cit. 2021-03-15]. ISSN 00928674. Dostupné z: doi:10.1016/S0092-8674(01)00407-X
45. INGLIS J. T., MACPHERSON J. M., Bilateral labyrinthectomy in the cat: effects on the postural response to translation. *Journal of Neurophysiology* [online]. 1995, 73(3), 1181-1191 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.1995.73.3.1181
46. JAGGERS J. R., SWANK A. M., FROST K. L., LEE Ch. D., The Acute Effects of Dynamic and Ballistic Stretching on Vertical Jump Height, Force, and Power. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008, vol. 22, issue 6, s. 1844-1849.
47. JONES G. M., WATT D. G. D., Muscular control of landing from unexpected falls in man. *The Journal of Physiology* [online]. 1971, 219(3), 729-737 [cit. 2021-03-15]. ISSN 00223751. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.1971.sp009685
48. KHAN S., CHANG R., GREENWALD B. D., GURLEY J. M., Anatomy of the vestibular system: A review. *NeuroRehabilitation* [online]. 2013, 32(3), 437-443 [cit. 2021-04-16]. ISSN 18786448. Dostupné z: doi:10.3233/NRE-130866
49. KLAM F., GRAF W., Vestibular response kinematics in posterior parietal cortex neurons of macaque monkeys. *Eur J Neurosci*. 2003; 18(4): 995–1010. PMID: 12925025

50. KLAM F., GRAF W., Discrimination between active and passive head movements by macaque ventral and medial intraparietal cortex neurons. *J Physiol.* 2006; 574(2): 367–386. PMID: 16556655
51. LATASH M. L., Neurophysiological basis of movement. 2nd ed. Champaign, IL: *Human Kinetics*, c2008, xi, 427 p. ISBN 07-360-6367-6.
52. LOPEZ Ch., LENGGENHAGER B., BLANKE O. How vestibular stimulation interacts with illusory hand ownership. *Consciousness and Cognition* [online]. 2010, 19(1), 33-47 [cit. 2020-12-18]. ISSN 10538100. Dostupné z: doi:10.1016/j.concog.2009.12.003
53. LUBETZKY A. V., GOSPODAREK M., ARIE L., KELLY J., ROGINSKA A., COSETTI M., Auditory Input and Postural Control in Adults. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery* [online]. 2020, 146(5) [cit. 2021-04-19]. ISSN 2168-6181. Dostupné z: doi:10.1001/jamaoto.2020.0032
54. MACPHERSON A., HOLT R., Knowledge, learning and small firm growth: A systematic review of the evidence. *Research Policy* [online]. 2007, 36(2), 172-192 [cit. 2021-03-15]. ISSN 00487333. Dostupné z: doi:10.1016/j.respol.2006.10.001
55. MASSION J., Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology* [online]. 1992, 38(1), 35-56 [cit. 2021-03-15]. ISSN 03010082. Dostupné z: doi:10.1016/0301-0082(92)90034-C
56. MATTHEWS P. B., Interaction between short- and long-latency components of the human stretch reflex during sinusoidal stretching. *The Journal of Physiology* [online]. 1993, 462(1), 503-527 [cit. 2021-03-15]. ISSN 00223751. Dostupné z: doi:10.1113/jphysiol.1993.sp019566
57. MCCALL A. A., MILLER D. M., YATES B. J., Descending Influences on Vestibulospinal and Vestibulosympathetic Reflexes. *Frontiers in Neurology* [online]. 2017, 8 [cit. 2021-04-16]. ISSN 1664-2295. Dostupné z: doi:10.3389/fneur.2017.00112
58. MICHEO W., BAERGA L., MIRANDA G., Basic Principles Regarding Strength, Flexibility, and Stability Exercises. *PM&R* [online]. 2012, 4(11), 805-811 [cit. 2021-03-15]. ISSN 19341482. Dostupné z: doi:10.1016/j.pmrj.2012.09.583
59. MONEY K. E., SCOTT J. W., Functions of separate sensory receptors of nonauditory labyrinth of the cat. *American Journal of Physiology-Legacy Content* [online]. 1962, 202(6), 1211-1220 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0002-9513. Dostupné z: doi:10.1152/ajplegacy.1962.202.6.1211

60. MORO T., TINSLEY G., BIANCO A. et al., Effects of eight weeks of time-restricted feeding (16/8) on basal metabolism, maximal strength, body composition, inflammation, and cardiovascular risk factors in resistance-trained males. *Journal of Translational Medicine* [online]. 2016, 14(1) [cit. 2021-03-15]. ISSN 1479-5876. Dostupné z: doi:10.1186/s12967-016-1044-0
61. NASHNER L. M., BLACK F. O., WALL C., Adaptation to altered support and visual conditions during stance: patients with vestibular deficits. *The Journal of Neuroscience* [online]. 1982, 2(5), 536-544 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0270-6474. Dostupné z: doi:10.1523/JNEUROSCI.02-05-00536.1982
62. NIGMATULLINA Y., SIDDIQUI S., KHAN S., SANDER K., LOBO R., BRONSTEIN A. M., ARSHAD Q., Lateralisation of the Vestibular Cortex Is More Pronounced in Left-Handers. *Brain Stimulation* [online]. 2016, 9(6), 942-944 [cit. 2021-03-15]. ISSN 1935861X. Dostupné z: doi:10.1016/j.brs.2016.08.001
63. NORRIS C. M., Abdominal muscle training in sport. *British Journal of Sports Medicine* [online]. 1993, 27(1), 19-27 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0306-3674. Dostupné z: doi:10.1136/bjism.27.1.19
64. PONZO S., KIRSCH L. P., FOTOPOULOU A., JENKINSON P. M., Balancing body ownership: Visual capture of proprioception and affectivity during vestibular stimulation. *Neuropsychologia* [online]. 2018, 117, 311-321 [cit. 2020-12-18]. ISSN 00283932. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuropsychologia.2018.06.020
65. POZZO T., BERTHOZ A., LEFORT L., Head stabilization during various locomotor tasks in humans. *Experimental Brain Research* [online]. 1990, 82(1) [cit. 2021-03-15]. ISSN 0014-4819. Dostupné z: doi:10.1007/BF00230842
66. PURVES D., AUGUSTINE G. J., FITZPATRICK D., HALL W. C., LAMANTIA A.-S., MCNAMARA J. O., WILLIAMS S. M., *Neuroscience* (6th Ed.) (2018). Sunderland, Massachusetts USA.: Sinauer Associates, Inc.
67. RUMALLA K., KARIM A. M., HULLAR T. E., The effect of hearing aids on postural stability. *The Laryngoscope* 125, 720-723 (2015).
68. SCHLACK A., STERBING-D'ANGELO S. J., HARTUNG K., HOFFMANN K. P., BREMMER F. Multisensory space representations in the macaque ventral intraparietal area. *J Neuroscience* 2005; 25(18): 4616-4625. PMID: 15872109
69. STAPLEY J., WHITING M. J., Ultraviolet signals fighting ability in a lizard. *Biology Letters* [online]. 2006, 2(2), 169-172 [cit. 2021-03-15]. ISSN 1744-9561. Dostupné z: doi:10.1098/rsbl.2005.0419

70. ŠEBEJ F., *Strečink*. Bratislava: TIMY, 2001.
71. TING L. H., MACPHERSON J. M., A Limited Set of Muscle Synergies for Force Control During a Postural Task. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2005, 93(1), 609-613 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.00681.2004
72. TORRES-OVIEDO G., MACPHERSON J. M., TING L. H., Muscle Synergy Organization Is Robust Across a Variety of Postural Perturbations. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2006, 96(3), 1530-1546 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.00810.2005
73. UTZ K. S., DIMOVA V., OPPENLÄNDER K., KERKHOFF G., Electrified minds: Transcranial direct current stimulation (tDCS) and Galvanic Vestibular Stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology—A review of current data and future implications. *Neuropsychologia* [online]. 2010, 48(10), 2789-2810 [cit. 2021-03-15]. ISSN 00283932. Dostupné z: doi:10.1016/j.neuropsychologia.2010.06.002
74. VUJNOVICH A. L., DAWSON N. J., The Effect of Therapeutic Muscle Stretch on Neural Processing. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* [online]. 1994, 20(3), 145-153 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0190-6011. Dostupné z: doi:10.2519/jospt.1994.20.3.145
75. WAXMAN S. G., *Clinical Neuroanatomy*. Twenty-ninth edition. New York: McGraw-Hill Education, 2020.
76. ZELLER D., BOOTH S., PAKHOMOV E., SWARTZ W., PAULY D. *Arctic fisheries catches in Russia, USA and Canada: Baselines for neglected ecosystems*. (2011) *Polar Biol* 34:955–973
77. ZELLER D., HARPER S., ZYLICH K., PAULY D., Synthesis of underreported small-scale fisheries catch in Pacific island waters. *Coral Reefs* [online]. 2015, 34(1), 25-39 [cit. 2021-03-15]. ISSN 0722-4028. Dostupné z: doi:10.1007/s00338-014-1219-1
78. ZHANG L., FELDMAN A. G., LEVIN M. F., Vestibular and corticospinal control of human body orientation in the gravitational field. *Journal of Neurophysiology* [online]. 2018, 120(6), 3026-3041 [cit. 2021-02-23]. ISSN 0022-3077. Dostupné z: doi:10.1152/jn.00483.2018

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 – Periferní vestibulární systém, pohled z boku .....	10
Obrázek 2 – Polokruhové kanálky.....	11
Obrázek 3 – Pohyb vláskových buněk při translačních pohybech hlavy.....	13
Obrázek 4 – Centrální vestibulární systém, mozkový kmen .....	17
Obrázek 5 – Parietoinzulární vestibulární kůra (PIVC).....	21
Obrázek 6 – Krejčovský metr pro fyzioterapeuty.....	31
Obrázek 7 – Plastický goniometr.....	31
Obrázek 8 – Dřevěná stolička pro měření Thomayerovy vzdálenosti.....	32
Obrázek 9 – Rotační stimulace vestibulárního systému .....	32
Obrázek 10 – Měření vzdálenosti od země v Thomayerově zkoušce.....	33
Obrázek 11 – Měření úhlu v kyčelním kloubu .....	34
Obrázek 12 – Model měření úhlu v kyčelním a kolenním kloubu .....	35
Obrázek 13 – Měření úhlu v kyčelním a kolenním kloubu .....	35
Obrázek 14 – Měření rozsahu v kolenním kloubu.....	36

**SEZNAM GRAFŮ**

Graf 1 .....	40
Graf 2 .....	41
Graf 3 .....	42
Graf 4 .....	45
Graf 5 .....	46
Graf 6 .....	48
Graf 7 .....	49
Graf 8 .....	50
Graf 9 .....	51

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 .....	38
Tabulka 2 .....	41
Tabulka 3 .....	43
Tabulka 4 .....	44
Tabulka 5 .....	47
Tabulka 6 .....	47
Tabulka 7 .....	49
Tabulka 8 .....	50
Tabulka 9 .....	52

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1: Informovaný souhlas .....	64
---	----



## PŘÍLOHY

### Příloha č. 1: Informovaný souhlas

#### INFORMOVANÝ SOUHLAS PRO ÚČASTNÍKA VÝZKUMU

Souhlasím s poskytnutím informací Tomášovi Kvasničkově a PhDr. Petru Bitnarovi pro účely výzkumu. Souhlasím s použitím získaných údajů pro účely diplomové práce a s jejich anonymním publikováním. Souhlasím taktéž s pořízením obrazového materiálu během vyšetření. Jsem informován/a, mám možnost spolupráci kdykoliv ukončit.

V Praze Dne: 8. 10. 2020

Jméno:

Podpis.....