

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství

Monika Pavlová

Vliv sluchu na stabilitu stoje

bakalářská práce

Praha 2022

Autor práce: **Monika Pavlová**

Vedoucí práce: **Mgr. Klára Kučerová**

Oponent práce: **Mgr. Sára Koutná**

Datum obhajoby: **2022**

Bibliografický záznam

PAVLOVÁ, Monika. *Vliv sluchu na stabilitu stoje*. Praha: Univerzita Karlova, 2. lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství, 2022. s. 72, Vedoucí bakalářské práce Mgr. Klára Kučerová.

Abstrakt

Stabilita stoje je zajišťována díky informacím ze smyslových ústrojí, ke kterým se řadí vestibulární systém, zrak, propiocepce a sluch. Úloha sluchu bývá často opomíjena. Tato práce si dává za cíl zjistit, zda sluch hraje nějakou roli při udržování stability stoje. Teoretická část této bakalářské práce shrnuje dosavadní poznatky o sluchovém ústrojí. Zabývá se dalšími systémy, které stabilitu stoje ovlivňují a v neposlední řadě se pokouší shrnout dosavadní výsledky zkoumání vlivu sluchu na stabilitu stoje.

Praktická část je tvořena vyhodnocením stabilometrického testování 16 zdravých probandů (8 žen a 8 mužů) za využití zvukové stimulace. Probandi byli testováni ve dvou měřeních s rozstupem minimálně 1 týdně. Nejprve v 10 podmínkách bez zvukové stimulace. Následně za využití zvukové stimulace, vždy ve stejné pozici – stoj se zavřenými očima na měkké podložce. Zvuková stimulace se skládala z těchto nahrávek: mluvené slovo, kterému proband rozumí (předpověď počasí v českém jazyce), vyřazení sluchových vjemů za pomoci špuntů do uší, stimulace bílým šumem, mluveným slovem, kterému proband nerozumí (čínština nebo finština) a sdělení s obsahem, na který byl proband dotazován po skončení měření otázkou.

Cílem této části práce bylo ověřit, zda dojde ke změně jednotlivých vybraných parametrů při zvukové stimulaci, oproti bez ní, tedy zda sluch nějakým způsobem ovlivňuje stabilitu stoje. Výsledky potvrdily, že při zvukové stimulaci dochází ke změně vybraných parametrů. Zároveň se ukazuje, že získané výsledky korelují s časem stráveným v testované pozici (stoj se zavřenými očima na měkké podložce), tedy k postupnému navykání na tuto podmínku. Nebylo tedy možné zcela jasně určit, zda má sluch vliv na stabilitu stoje.

Klíčová slova

Stabilita stoje, zvuková stimulace, sluch, stabilometrie, COP

Abstract

Standing stability is ensured by informations from the sensory systems, which include the vestibular system, vision, proprioception and hearing. The role of hearing is often neglected. This work aims to determine whether hearing plays a role in maintaining standing stability.

The theoretical part of this bachelor thesis summarizes the existing knowledge about the auditory system. It deals with other systems that affect standing stability and, last but not least, tries to summarize the results of research into the effect of hearing on standing stability.

The experimental part consists of the evaluation of stabilometric testing of 16 healthy probands (8 women and 8 men) using sound stimulation. Probands were tested in two measurements with an interval of at least 1 week. First in 10 conditions without sound stimulation. Then using sound stimulation, always in the same position - standing with closed eyes on a soft surface. The sound stimulation consisted of the following recordings: a spoken word that the proband understands (weather forecast in Czech language), elimination of auditory inputs with earplugs, stimulation with white noise, a spoken word that the proband does not understand (Chinese or Finnish) and a message with content the the proband was asked about after the measurement was finished by question.

The aim of this part of the work was to verify whether the individual selected parameters change during sound stimulation, compared to without it, i.e. whether hearing affects the stability of standing in some way. The results showed that during sound stimulation the selected parameters were changed. At the same time, the results correlated with the time spent in the tested position (standing with eye closed on soft surface). It was therefore not possible to determine quite clearly whether hearing influenced the stability of the standing.

Keywords

Standing stability, sound stimulation, hearing, stabilometry, COP

Prohlášení

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

V Praze 27.4.2022

Monika Pavlová

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat všem probandům, kteří si vyhradili čas a podstoupili stabilometrické testování. Děkuji Mgr. Sáře Koutné za představení testovacího protokolu na stabilometrické plošině. Děkuji Mgr. Martinu Bártovi za velice užitečné rady při statickém zpracování naměřených dat. Velice děkuji mé vedoucí bakalářské práce Mgr. Kláře Kučerové za veškeré cenné rady a zpětnou vazbu, za pomoc při hledání vhodných probandů, za její čas, ochotu a trpělivost.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|-------|--|
| ANOVA | <i>Anylysys of Variance</i> – analýza rozptylu průměrných hodnot |
| AP | Anterioposteriorní |
| BESS | <i>Balance Error Scoring System</i> |
| COP | <i>Centre of pressure</i> – působiště vektoru reakční síly |
| LOS | <i>Limits of stability</i> – limity stability |
| ML | Mediolaterální |
| SA | <i>Sway area</i> – plocha pohybu COP |
| SP | <i>Sway path</i> – trajektorie pohybu COP |
| SD | Směrodatná odchylka |
| TVL | Tractus vestibulospinalis lateralis |
| TVM | Tractus vestibulospinalis medialis |
| VOR | Vestibulo-okulární reflex |

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD..... | 8 |
| 1 PŘEHLED POZNATKŮ | 9 |
| 1.1 ANATOMIE SLUCHOVÉHO ÚSTROJÍ | 9 |
| 1.1.1 Zevní ucho | 9 |
| 1.1.2 Střední ucho | 9 |
| 1.1.3 Vnitřní ucho | 10 |
| 1.1.4 Sluchová dráha | 13 |
| 1.2 FYZIOLOGIE SLUCHOVÉHO ÚSTROJÍ..... | 17 |
| 1.2.1 Akustika..... | 17 |
| 1.2.2 Přenos zvuku..... | 18 |
| 1.3 FYZIOLOGIE STABILITY STOJE | 20 |
| 1.3.1 Vestibulární systém | 20 |
| 1.3.2 Vizuální systém | 21 |
| 1.3.3 Somatosenzorický systém..... | 22 |
| 1.3.4 Sluchový systém | 22 |
| 1.4 SOUČASNÉ POZNATKY O VLIVU SLUCHU NA STABILITU STOJE..... | 23 |
| 1.4.1 Dětská a adolescentní populace | 23 |
| 1.4.2 Dospělá populace se ztrátou sluchu a/nebo vestibulárním deficitem..... | 24 |
| 1.4.3 Dospělá populace zdravých probandů | 25 |
| 1.4.4 Nevidomí probandi | 27 |
| 1.4.5 Souhrn..... | 27 |
| 2 CÍLE A HYPOTÉZY | 28 |
| 2.1 HYPOTÉZY | 29 |
| 2.1.1 Hypotéza H ₁ | 29 |
| 2.1.2 Hypotéza H ₂ | 29 |
| 3 METODIKA | 30 |
| 3.1 CHARAKTERISTIKA VZORKU TESTOVANÝCH PROBANDŮ | 30 |
| 3.2 PROTOKOL TESTOVÁNÍ..... | 31 |
| 3.3 ZPRACOVÁNÍ DAT | 34 |
| 4 VÝSLEDKY..... | 35 |
| 4.1 VÝSLEDKY ZVUKOVÁ STIMULACE..... | 35 |
| 4.1.1 Sway path – total | 36 |
| 4.1.2 Sway path – ML | 39 |
| 4.1.3 Sway area..... | 41 |
| 4.1.4 Společné výsledky | 44 |
| 5 DISKUZE | 47 |
| 5.1 VLIV SLUCHU NA STABILITU STOJE..... | 47 |
| 5.2 DISKUZE VÝSLEDKŮ STABILOMETRICKÉHO MĚŘENÍ ZDRAVÝCH PROBANDŮ | 49 |
| 5.3 NÁVRHY NA ZLEPŠENÍ PRO PODOBNÉ BUDOUCÍ TESTOVÁNÍ ZDRAVÝCH PROBANDŮ | 52 |
| ZÁVĚR | 57 |
| REFERENČNÍ SEZNAM | 58 |
| SEZNAM PŘÍLOH..... | 65 |
| PŘÍLOHY | 66 |

ÚVOD

Při řízení stability stoje je zapotřebí příjmu velké spousty informací, které musí naše senzorní systémy zpracovat. Mezi systémy, které se podílí na řízení stability stoje bývají tradičně zařazovány systém vizuální, vestibulární a somatosenzorický. V současné době se začíná objevovat otázka, zda k těmto systémům nezařadit i systém sluchový. Ukazuje se, že pacienti se sluchovým deficitem vykazují mnohem vyšší míru instability než u populace bez tohoto deficitu. (Campos et al., 2018)

Jaký vliv má sluch na stabilitu stoje bude i tématem této práce, jejíž hlavním cílem bude ověřit, zda dochází ke změnám posturálních výchylek za využití zvukové stimulace, tedy zda zvuková stimulace může mít vliv na stabilitu stoje.

V teoretické části se zabývá popisem sluchového ústrojí, detekcí zvukových vjemů akustickým ústrojím a jejich následným zpracováním v mozkové kůře, dále popisuje vliv ostatních zmíněných senzorních systémů na stabilitu stoje. A dává si za cíl shrnout současné poznatky o vlivu sluchového ústrojí na stabilitu stoje.

Praktická část této práce shrnuje výsledky stabilometrického měření probandů bez sluchového deficitu, u kterých bylo testováno, zda přítomnost zvukové stimulace ovlivní velikosti jejich posturálních výchylek spolu s porovnáním dosažených výsledků s dosud publikovanými studiemi, které jsou prezentovány v části teoretické.

1 PŘEHLED POZNATKŮ

1.1 Anatomie sluchového ústrojí

Ucho (Auris) můžeme dělit na tři základní části, a to zevní ucho (auris externa), střední ucho (auris media) a vnitřní ucho (auris interna). Auris externa zahrnuje ušní boltec a zevní zvukovod, auris media středoušní dutinu obsahující sluchové kůstky a auris interna kostěný a blanitý labyrint, který je tvořen dvěma částmi: část rovnovážná (vestibulární) – vestibulum a tři polokruhovitě kanálky a část sluchová – kostěný a blanitý hlemýžď – cochlea. (Čihák, 2016, s. 696)

1.1.1 Zevní ucho

Auris externa zahrnuje ušní boltec. Ušní boltec je tvořen chrupavkou, která je kryta kůží. Kůže je na vnitřní straně boltce přirostlá, na zadní straně posunlivá. Boltec se nachází ze strany hlavy mezi temporálním kloubem a mastoideálním výběžkem. (Hahn, 2019)

Cavum conchae je začátek zevního zvukovodu, což je trubice vedoucí ke středoušní dutině. Zevní zvukovod má vnější úsek tvořený chrupavkou a vnitřní kostěný úsek, jehož podkladem je pars tympanica spánkové kosti. (Čihák, 2016, s. 699)

Kostěná a chrupavčitá část svírají tupý úhel, aby nedocházelo k přímému poranění bubínku. Kůže zvukovodu obsahuje potní a mazové žlázy, produkující ušní maz. (Hahn, 2019)

1.1.2 Střední ucho

Auris media je dutina, nacházející se ve spánkové kosti, vyplněná vzduchem a je s nosohltanem propojena Eustachovou trubicí. Díky nosohltanu je umožněna komunikace se zevním prostředím. Eustachova trubice je většinu času uzavřena, otevírá se pouze při polykání, žvýkání, zívání a na obou stranách ušního bubínku tak vyrovnává tlak. (Ganong, 2005)

Uzavírání tohoto ústí je umožněno činností m. tensor veli palatini a m.levator veli palatini. (Hahn, 2019)

Frontální řez středoušní dutinou má tvar přesýpacích hodin, kdy zúžená část je tvořena dvěma vyklenutými útvary, na vnitřní stěně vypouklé promotorium, na zevní stěně vtažený bubínek. Promotorium tak tvoří laterální stěnu labyrintu. (Čihák, 2016, s.788)

Bubínek se skládá ze dvou částí, a to pars tensa, tvořící větší část bubínku a fibrozního anulu a pars flaccida (Shrapnellova membrána). Bubínek je uložený v kostěném sulcus tympanicus (Hahn, 2019)

Chvění bubínku způsobené dopadajícími zvukovými vlnami je do labyrintu vnitřního ucha a na perilymfu, tvořící jeho obsah, přenášeno třemi syndesmózami, které vytváří vzájemné propojení ušních kůstek – malleus (kladívko), incus (kovadlinka), stapes (třmínek). Systém přenosu je tvořen kůstkami, které jsou s bubínkem spojené kladívkem, jejich pohyblivým spojení a vazy. Na přenosu se také podílí svalová vlákna m. tensor tympani a m. stapedius, která regulují tuhost celého systému. (Čihák, 2016, s.791)

1.1.3 Vnitřní ucho

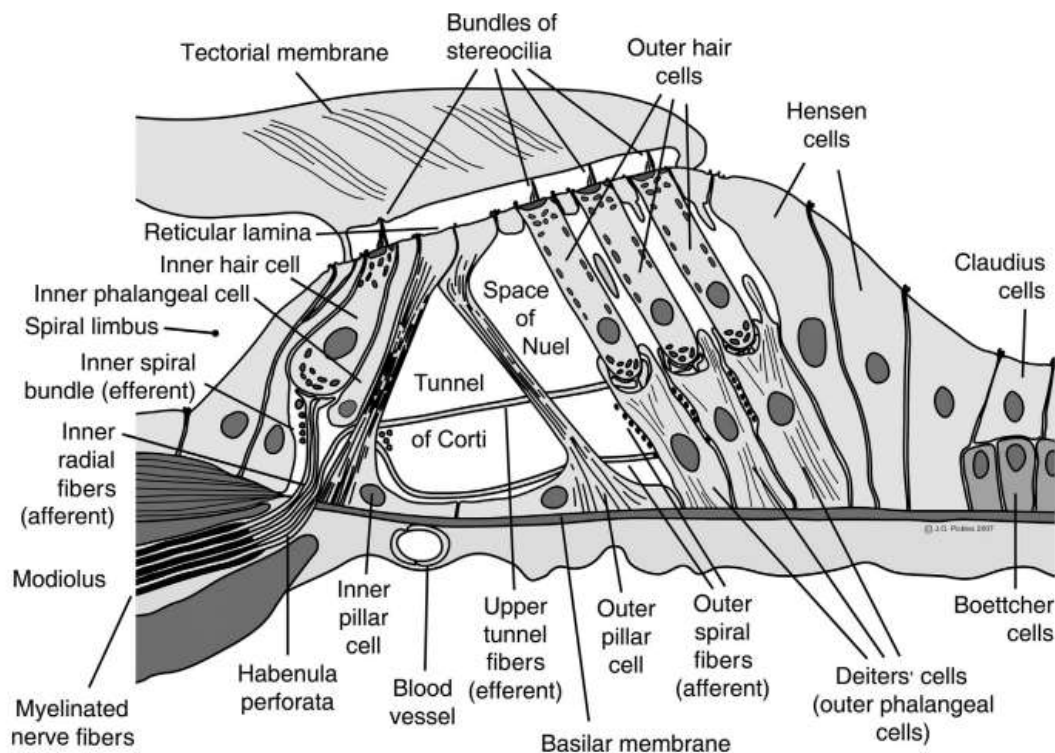
Vnitřní ucho se nachází v pyramidě kosti skalní, je tvořeno kostěnou částí označovanou jako kostěný labyrint – labyrinthus osseus, což jsou kostěné dutiny a kanálky. Kostěný labyrint se skládá ze tří částí cochlea, vestibulum a cannales semicirculares ossei. Uvnitř kostěného labyrintu se nachází blanitý labyrint – labyrinthus membranaceus. Kostěný labyrint je vyplněný tekutinou nazývanou se perilymfa, která je spojená se subarachnoidálním prostorem, kde dochází ke kontaktu s mozkomíšním mokem, se kterým má totožné složení. Je bohatá na obsah sodíku, a naopak obsah draslíku je nízký. Dutiny blanitého labyrintu jsou zcela uzavřené a tekutina (endolymfa), kterou obsahují, s vnějším nijak nekomunikuje. Složení endolymfy je podobné intracelulární tekutině. Je bohatá na draslík a obsah sodíku je nízký, čímž se liší od složení perilymfy. Blanitý labyrint se člení na dvě sensorické části – vestibulární oddíl (labyrinthus vestibularis) a sluchový oddíl (labyrinthus cochlearis). (Čihák, 2016, s.708,710; Hahn, 2019)

Součástí vestibulárního oddílu (labyrinthus vestibularis) jsou dva váčky utriculus a sacculus, které jsou vzájemně spojené kanálkem – ductus utriculosaccularis, dále tři polokruhovitě blanité kanálky – ductus semicirculares. Oba váčky obsahují receptory gravitace maculae staticae – utriculi a sacculi, které jsou na sebe vzájemně kolmé. (Čihák, 2016, s. s. 710, 711, 713; Ganong, 2005, s. 180, 181)

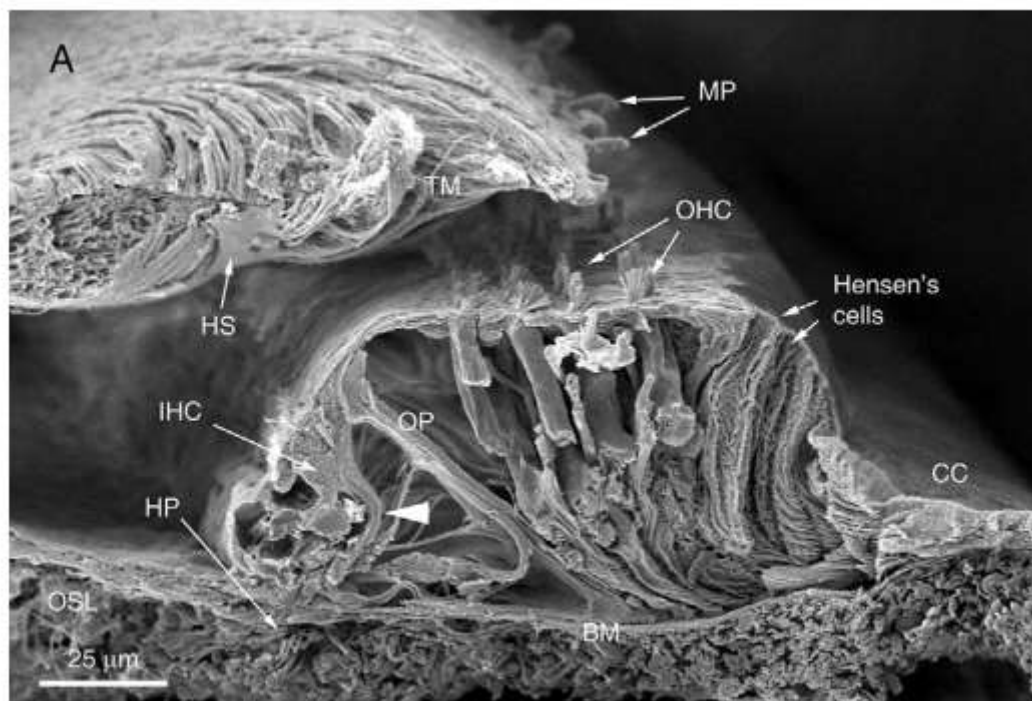
Macula statica je pole epitelu, ve kterém jsou uloženy smyslové (vláskové) buňky, přijímající smyslové podněty. Tyto podněty mění v nervové vzruchy, které následně předávají senzitivním vláknům vestibulárního nervu. Smyslové buňky mají své stereocilie a vždy jednu delší ciliu. Povrch buněk je pokryt glykoproteinovou vrstvou na jejímž vrcholu se nachází krystaly uhličitanu vápenatého – otolity. Otoconia, jak se mohou otolity také nazývat, svou hmotností působí na smyslové buňky ve směru gravitace. Smyslové buňky tedy získávají informace o směru a změnách směru gravitace. V utriculu začínají a zároveň končí ductus semicirculares (anterior, posterior a lateralis). V jejich rozšířených zakončeních – ampulách, se nachází smyslové (vláskové) buňky na útvarech zvaných cristae ampullares. Cristae ampullares jsou kolmo na podélnou osu kanálků vystouplé hrany stěny ampuly. Stereocilie smyslových buněk cristae ampullares jsou tentokrát uloženy v gelatinózní vrstvě zvané cupula. K ohýbání cupuly a stereocílií, v ní uložených, dochází při otáčivých pohybech hlavy. (Čihák, 2016, s. s. 710, 711, 713; Ganong, 2005, s. 180, 181)

Sluchový oddíl (labyrinthus cochlearis) je stočená trubice stoupající do spirály. Do lumen vybíhá z kostěného hlemýždě lamina spiralis ossea, k jejímuž vrcholu se upíná membrana basilaris. Dále membrana vestibularis odstupuje od zevního okraje lamina spiralis ossea. Tyto membrány a část zevní stěny kanálku hlemýždě vytváří trojúhelníkový prostor, ve kterém je uložený ductus cochlearis – blanitý hlemýžď. Blanitý hlemýžď je vyplněn endolymfou obsahující vláskové buňky. Membrány od sebe rozdělují dvě poschodí, a to scala vestibuli, což můžeme označit za horní poschodí, ustící k oválnému okénku srostlému s třmínkem. Scala tympani (dolní poschodí) ustící okrouhlým okénkem do středoušní dutiny. Tato okénka oddělují tekutiny vnitřního ucha od středouší. (Čihák, 2016, s. 710, 714.; Hahn, 2019)

Na bazilární membráně se nachází Cortiho orgán, což je struktura, která obashuje vláskové buňky (receptory sluchu). Cortiho orgán se skládá nejen z buněk smyslových, ale i podpurných, které jsou na sebe navzájem nakloněny tak, že tvoří Cortiho tunel (Obrázek 1). Po obou stranách Cortiho tunelu se nacházejí buňky smyslové, tedy vláskové, můžeme je dělit na vnitřní (v jedné řadě) a vnější (ve 3 – 4 řadách). Tyto řady kryje membrana tectorialis (Obrázek 2). Do této membrány prostupují stereocilie zevních vláskových buněk. Na bázi vláskových buněk přisedají zakončení neuronů z ganglia spirale. (Čihák, 2016, s. 714; Ganong, 2005, s. 178, 179; Hahn, 2019)



Obrázek 1 Průřez Cortiho orgánem zobrazující vláskové buňky (hair cells) v retikulární lamině se svazky stereocílií (bundles of stereocilia), které sahají k tektoriální membráně (tectorial membrane). Vláskové buňky dělíme na vnitřní (inner) a vnější (outer). Dále zde můžeme vidět Cortiho tunel (tunnel of Corti). Zdroj Pickles, 2015.



Obrázek 2 Podobný průřez Cortiho orgánem jako na předešlém obrázku (Obrázek 1), tentokrát z elektronového mikroskopu, kdy OHC označuje vnější vláskové buňky, IHC vnitřní vláskové buňky, BM bazilární laminu a TM tektoriální membránu, na tomto konkrétním snímku můžeme pozorovat částečný kolaps vnitřních podpůrných buněk označený bílou šipkou a odtržení tektoriální membrány od retikulární laminy. Zdroj Pickles, 2015

1.1.4 Sluchová dráha

Lokální vibrace Cortiho orgánu a tektoriální membrány aktivují vnitřní vláskové buňky, které jsou inervovány z ganglion spirale. Vnitřní vláskové buňky jsou jednoduché receptory, které nemají schopnost pohybu, vlákna sluchového nervu, proto následují vibrace velice přímočaře. Vlákná inervující vrchol cochley jsou naladěna na nízké frekvence, vlákna inervující její bázi jsou naladěna na vysoké frekvence. (Pickles, 2015)

Centrální sluchový systém má více vzájemně se překrývajících a na sebe paralelních drah, které se sbíhají a zase rozcházejí. Tyto paralelní systémy se zabývají různou analýzou získaného zvuku. Můžeme je dělit na ventrální a dorzální dráhu. Jejich cesty se rozcházejí již ve vstupu sluchového nervu do kochleárních jader. Kochleární jádra dělíme na anteroventrální, posteroventrální a dorzální jádro. V colliculi inferiores jsou výsledky těchto analýz kombinovány a dále zpřesňovány, tyto neurony vytváří neurální reprezentaci sluchových objektů z vnějšího světa. Již ve sluchovém nervu (nervus cochlearis, který je součástí nervus vestibulocochlearis – VII. hlavový nerv) dochází k rozvětvení na dvě části, které vstupují do mozkového kmene, a to na přední a zadní. Anteroventrální kochleární jádro je inervováno přední větví sluchového nervu a vzniká tak přední, zvuk lokalizující, dráha sluchu do mozkového kmene. Dorzální jádro i posteroventrální jádro inervuje zadní část sluchového nervu a dochází zde ke komplexnímu rozpoznávání zvukových signálů. Z těchto dvou jader vzniká zadní sluchová dráha do mozkového kmene. Posteroventrální jádro se podílí částečně i na přední sluchové dráze. (Ganong, 2005, s. 186; Pickles, 2015)

Sluchový nerv respektuje tonotopické uspořádání smyslových buněk, proto je každé kochleární jádro také tonotopicky uspořádáno, toto tonotopické uspořádání se zachovává i ve vyšších centrálních sluchových strukturách. (Pickles, 2015)

Ventrální sluchovou dráhou se sluchové informace z anteroventrálního jádra obou stran dostávají do oliv. Na neuronech horní mediální olivy dochází k porovnávání času příchodu zvukových signálů a na neuronech horní laterální olivy dochází k porovnání intenzit signálů. Díky tomuto mechanismu je zajištěna lokalizace zvuků. K úplnému vyhodnocení polohy zdroje zvuku je potřeba analýza zvukového spektra, kterou zajišťuje dorzální dráha, zejména dorzální kochleární jádro a posteroventrální jádro, které je schopné porovnávat načasování příchodu zvuku i analyzovat zvukové spektrum. (Pickles, 2015)

Dále jdou informace z kochleárních jader cestou laterálního lemnisku do primárních podkorových center – colliculus inferior a corpus geniculatum mediale thalami. (Ambler, 2011)

Colliculi inferiores jsou primárním místem konvergence ventrální a dorzální sluchové dráhy. Obsahují hlavně neurony excitované sluchovými signály. Aferenci přijímají z lemniskální dráhy, kochleárních jader, z olivárního komplexu, ale i sluchového kortexu. Eference směřuje do corpus geniculatum mediale thalami. (Pickles, 2015)

Geniculatum mediale thalami je součástí thalamu, která přijímá aferenci z colliculi inferiores a promítá ji do sluchové kůry mozku. S kůrou má silné reciproční interakce. V geniculatum mediale thalami dochází k dalšímu zpřesňování informací ze sluchových vjemů, které se dále předávají sluchové kůře. Nacházíme zde dorzální, ventrální a magnocelulární část. Dorzální část se podílí na lokalizaci zvuků, neurony ventrální části se podílí na rozpoznávání specifických zvukových stimulů a funkčně náleží k dorzální sluchové dráze. Magnocelulární část geniculatum mediale thalami přijímá vizuální informace z colliculi superiores, somatosenzorické informace z míchy a také informace z vestibulárního systému. (Pickles, 2015)

Primární sluchová kůra se nachází v horní části spánkového laloku a primárním zdrojem sluchových vstupů je geniculatum mediale thalami. Kortikální oblasti, které přijímají vstupy ze sluchové kůry a menší část vstupů z geniculatum mediale thalami označujeme jako oblasti spojené se sluchem. Tyto oblasti jsou v mozku široce distribuovány a přijímají vstupy i z jiných smyslových nebo motorických modalit. (Hackett, 2015)

Kortikální sluchové oblasti jsou histologicky i funkčně velmi složité a poměrně málo probádané, zároveň jsou součástí řady recipročních spojení. V sluchové kůře dochází k vyhodnocení komplexních sluchových informací (řeč, hudba) a k lokalizaci zvukových podnětů. (Pickles, 2015)

Hackett nabízí několik principů organizace sluchové kůry. První z principů uvádí, že sluchovou kůru lze rozdělit do oblastí. Smyslové oblasti kůry jsou označovány jako primární, sekundární a asociační kůra. Každá tato oblast je charakterizována jedinečným souborem architektonických rysů a spojení, které je odlišují od ostatních oblastí. Kritérii jsou cytoarchitektonika (uspořádání a typy neuronů), myeloarchitektonika (orientace a hustota myelinizovaných axonů) a chemoarchitektonika (distribuce a exprese proteinů, enzymů a dalších látek). (Hackett, 2015)

Jako druhý princip uvádí, že regiony sluchové kůry jsou rozděleny do podoblastí. To znamená, že každá oblast sluchové kůry může obsahovat více než jednu podoblast. Tento princip pracuje se skutečností, že v jednotlivých oblastech se vyskytují heterogenní části, které se liší architektonikou, vzájemným propojením i fyziologickými odpověďmi. (Hackett, 2015)

Třetí princip pracuje s myšlenkou, že jednotlivé oblasti zvukové kůry jsou uspořádány tonotopicky na základě akustické frekvence. Od kochleárního jádra je na každé úrovni zachována „mapa“ cochleoly. Tento princip ve svém popisu využívá i Pickles. (Hackett, 2015)

Čtvrtý princip rozvíjí myšlenku, že thalamické vstupy do sluchové kůry se liší podle oblasti a vrstvy, neboť geniculatum mediale thalami je hlavním vstupem do sluchové kůry, který vykazuje multisenzorické rysy. (Hackett, 2015)

Předposlední princip tvrdí, že spojení sluchové kůry mají sériové a pralelní rysy.

A poslední princip říká, že mezi sluchovou kůrou a korovými oblastmi spojenými se sluchem v celém mozku existuje topografické uspořádání. Toto topografické uspořádání zahrnuje spoje sluchové kůry s korovými oblastmi se sluchem spojenými v temporální, prefrontální, parietální, okcipitální kůře, amygdale a striatu. (Hackett, 2015)

Princip tonotopického uspořádání vyvrací King et al. kteří tvrdí, že ke zpracování zvukových informací dochází v kortikálních shlucích, které mohou prostupovat vícero vrstev mozkové kůry. Zároveň přichází s myšlenkou, že v akustické kůře dochází k multidimenzionálnímu vnímání zvukových informací, čímž svou tezi proti tonotopickému uspořádání potvrzuje. (King et al., 2018)

Winer a Lee přichází s kompromisem mezi tvrzením Hacketta a King et al. Tvrdí, že některé oblasti mozku si zachovaly organizaci podle charakteristické frekvence, kterou zpracovávají a jiné tuto vlastnost nemají, což by mělo naznačovat tomu, že některé oblasti sluchové kůry mají primárně reprezentační roli, zatímco oblasti bez tontopického uspořádání zůstávají k funkčnímu přeřazování zvukových informací dále, těchto oblastí bez tontopického uspořádání by měla být většina. Zároveň souhlasí s myšlenkou, že mezi sluchovou kůrou a korovými oblastmi spojenými se sluchem v celém mozku existuje topografické uspořádání. (Winer a Lee, 2007).

Zajímavostí je, že sluchový systém je stejně jako zrakový modifikovaný zkušeností a dalšími faktory. O sluchové plasticitě můžeme mluvit u lidí, kteří přišli o sluch ještě před tím, než u nich byla plně vyvinuta řeč, neboť při pohledu na optický záznam řeči aktivují sluchové asociační oblasti, které se nachází mimo primární sluchovou kůru. Stejně tak u hudebníků bylo pozorováno, že dochází ke zvětšení sluchových oblastí, které jsou aktivovány hudebními tóny. (Ganong, 2005, s. 186,187)

1.2 Fyziologie sluchového ústrojí

1.2.1 Akustika

Zvuk je vjem, který je vyvolán kmitáním molekul prostředí, které narazí na membránu bubínku. Při šíření molekul prostředím dochází k jejich střídavému zahušťování a zředování (zvyšování a snižování akustického tlaku). Tyto pohyby prostředí můžeme nazývat jako zvukové vlny. Zvukové vlny mají sinusový tvar, svou délku a amplitudu. Amplituda koreluje s hlasitostí zvuku, jeho výška s frekvencí (frekvence je počet vln za jednotku času). Celé násobky základní frekvence vnímáme jako muzikální vlny (tóny), směs různých frekvencí a intenzit vnímáme jako hluk. Bílý šum můžeme definovat jako směs různých frekvencí, ale o stále intenzitě. (Ganong, 2005, s.183; Rokyta, 2015)

Lidské sluchové ústrojí vnímá tóny v rozsahu frekvencí 16-20 000 Hz. Sluchovým prahem označujeme nejmenší intenzitu (akustický tlak), který ještě vyvolá sluchový vjem. Hlasitost (amplituda) je maximální změna tlaku na ušní bubínek. Jelikož jsou tyto změny taky velmi malé, přistoupilo se k použití relativní škály, a to stupnici decibelové, kdy síla zvuku v belech je dekadický logaritmus poměru síly zvuku daného ku síle zvuku standardního. Decibel (dB) odpovídá 0,1 belu. Standardní referenční úroveň zvuku odpovídá 0 dB, což je u lidské populace průměrný sluchový práh (jedná se o logaritmickou stupnici, tudíž 0 dB neznámá, že zvuk není přítomný, ale jeho intenzita odpovídá standardní úrovni). Decibelovou stupnici pro běžné zvuky můžeme rozdělit na hodnoty 160–120 dB, kdy 160 dB odpovídá tryskovému letadlu, mezi těmito hodnotami se nachází oblast bolesti, 120 dB označujeme za sluchové nepohodlí, mezi 120–80 dB se nachází zvuk o hlasitosti například rockového koncertu či podzemní dráhy, 80 dB odpovídá silný provoz, mezi 80–40 dB nalezneme hlasitost běžného rozhovoru a mezi 40 a 0 dB šepot. Při vystavení stejně hlasitým tónům o různých frekvencích vnímáme jejich hlasitost subjektivně odlišně. (Ganong, 2005, s.183; Rokyta, 2015)

1.2.2 Přenos zvuku

Zvukové vlny jsou ušním boltcem zachytávány, dále se šíří zevním zvukovodem a dopadají až na membránu bubínku. Bubínkem a sluchovými kůstkami se vlny mění na pohyby třmínku a tím přecházejí na membránu oválného okénka. Jelikož je plocha bubínku podstatně větší, než plocha oválného okénka je síla tlaku na jednotku plochy 15-20x vyšší, díky tomu dojde k překonání odporu tekutiny v kanálku hlemýždě. K ochraně sluchu slouží tympanický reflex, kdy při přenosu zvuku vysoké hlasitosti dojde k reflexnímu stahu m. tensor tympani a m. stapedius. (Ganong, 2005, s. 185; Kittnar, 2011) Někteří lidé mají schopnost ovládat tento reflex vlastní vůlí. (Wickens et al., 2017)

Druhy vedení můžeme rozdělit na osikulární vedení, kdy převod zvukových vln na tekutinu vnitřního ucha probíhá přes bubínek a sluchové kůstky, na kostní vedení, kdy se jedná o přenos vibrací na tekutinu vnitřního ucha kostí (zdroj vibrací se přikládá přímo na lebku). (Ganong, 2005, s. 185)

Třmínek vyvolá v perilymfě scala vestibuli série postupujících vln. Vlny se dále přenáší na tekutinu v ductus cochlearis, dojde k rozkmitání bazilární membrány a přenosu vln až na scala tympani. Posuny tekutiny ve scala tympani se vyrovnávají vyklenutím membrány oválného okénka středního ucha, kde se nachází vzduchové prostředí. Při zachycení vysokých tónů dochází k vyvolání vln, které dosahují maxima blízko bazilární membrány a nízké naopak vrcholí u apexu hlemýždě. (Ganong, 2005, s. 185; Kittnar, 2011)

Zvuk vyvolává rozkmitání bazilární membrány a tím i Cortiho orgánu, ve kterém se nachází smyslové vláskové buňky. Při pohybech bazilární membrány dochází k ohybu stereocilií vláskových buněk. Vnitřní vláskové buňky jsou primární senzory, které jsou schopné vyvolat akční potenciály ve sluchových nervech. Cytoskelet stereocilií je spojen s iontovými kanály, které jsou mechanicky řízené, jejich pohyb tedy mění permeabilitu na membráně, a to zejména pro draselné a vápenaté kationty. Mezi endolymfou, ve které jsou stereocilie a apikální části vláskových buněk zanořené a perilymfou obklopující jejich těla je výrazný rozdíl v koncentraci draselných kationtů, endolymfě je tato koncentrace vysoká, tím vzniká i značný elektrický potenciál (+80 mV). Tím, že se zvýší propustnost iontových kanálů dojde ke vstupu draselného kationtu do buňky a tím i k depolarizaci membrány. Ohnou-li se stereocilie na druhou stranu dojde k hyperpolarizaci. Membrána vláskových buněk je částečně depolarizovaná i v klidu, což je spojeno se vstupem vápenatých kationtů do buňky a výdejem transmiteru (glutamát, asparát), jehož vylitím dochází k tvorbě akčních potenciálů v následující části axonu (nervus acusticus). Dojde-li k úplné depolarizaci (dostatečný receptorový potenciál), zvýší se výdej neurotransmiterů a tím se zvýší i frekvence generovaných akčních potenciálů, při hyperpolarizaci se naopak sníží. Velikost receptorového potenciálu, ovlivněná intenzitou podnětu, udává frekvenci a délku salv akčních potenciálů sluchového nervu. (Ganong, 2005, s.186; Kittnar, 2011; Rokyta, 2015)

1.3 Fyziologie stability stoje

Na udržení rovnováhy (stability stoje) se podílí vnímání a přijímání podnětů ze 4 systémů. Těmito systémy jsou vestibulární, zrakový, somatosenzorický a sluchový. (Forbes et al., 2018)

Z hlediska funkce může být rovnovážný systém rozdělený na senzoricou část, kam řadíme receptory vnitřního ucha, zrakové receptory a propioceptory, motorickou (efektorovou část), kam patří zevní okulomotorický a pohybový systém, koordinační a řídicí část, kam můžeme zařadit oblast vestibulárních jader a mozeček. Tyto části nám umožňují plnit základní úlohy, které rovnovážný systém zastává, a to schopnost stabilizace sledovaného cíle za statických i dynamických podmínek, udržování vzpřímeného stoje těla opět za statických či dynamických podmínek a celková schopnost orientovat se v gravitačním poli. K optimálnímu naplňování těchto cílů je nutná bezchybná a adekvátní spolupráce jednotlivých systémů. (Vrabec et al., 2002)

1.3.1 Vestibulární systém

Vestibulární systém můžeme rozdělit na část periferní a část centrální, periferní část je složena z labyrintu a vestibulárního nervu, centrální část je tvořena vestibulárními jádry a dráhami. K periferní části patří senzoricke receptory, které detekují vestibulární vjemy, a to pohyby hlavy ve třech translačních a třech rotačních rozměrech. Tato detekce probíhá pomocí receptorů umístěných v makulách utrikulů a sakulů, které detekují lineární pohyb a půlkruhovitých kanálků, které detekují rotační pohyby. (Forbes et al., 2018; Ganong, 2005, s.189; Hahn 2019)

Aferentace z těchto receptorů jsou dále přenášeny osmým hlavovým nervem ke čtyřem párovým vestibulárním jádrům uloženým na spodině čtvrté komory. Od těchto jader pak odstupují vzestupné i sestupné dráhy dalších struktur, které mají svůj podíl na udržování rovnováhy. (Hahn, 2015)

Navazujícími dráhami jsou tractus vestibulospinalis lateralis (TVL) a tractus vestibulospinalis medialis (TVM). Zmíněné dráhy řídí a kontrolují tonus posturálních svalů, umožňují kontrolu pozice krku a hlavy a hrají roli při držení těla a regulaci rovnováhy. TVL má za úkol kontrakci extenzorů a relaxaci flexorů krku, trupu a dolních končetin. TVM má spojení s jádry III., IV. a VI. hlavového nervu, která jsou součástí okulovestibulárního oblouku, také k dorzálnímu kochleárnímu jádru a taky ke XII. hlavovému nervu. TVM má tedy za úkol realizaci a kontrolu koordinovaných pohybů očí a hlavy. Toto spojení je součástí tzv. vestibulo-okulárního reflexu (VOR). Kdy VOR spočívá v stabilizaci obrazu na sítnici při rychlých impulzivních pohybech hlavy. Jedná se o tří neuronovou dráhu, která zajišťuje konjugované pohyby očí v opačném směru k pohybům hlavy. Roli v modulaci konečné motorické aktivity spuštěné VOR má i mozeček, kdy doladuje oční a posturální pohyby a celkovou souhru mezi vizuálním, vestibulárním a somatosenzorickým systémem. (Ganong, 2005; Goebel, 2008; Hahn, 2015)

1.3.2 Vizuální systém

Vizuální systém dělíme na dvě funkční části – receptorovou, kterou tvoří receptory zraku a zraková dráha a efektorovou, která je tvořena okoohybným aparátem.

(Vrabec et al., 2002)

Vizuální systém je velice úzce propojený s vestibulárním systémem, kdy z horního vestibulárního jádra vychází axony cestou fasciculus longitudinalis medialis a končí v jádrech III., IV. a VI. hlavového nervu, která jsou zodpovědná za inervaci zevních okulomotorických svalů. (Vrabec et al., 2002)

Zrakové signály zachycující volní motoriku vznikají díky změnám mezi jasem a kontrastem, které jsou detekovány fotoreceptory na sítnici a dále přenášeny do primární zrakové kůry, střední temporální oblasti a zadního regionu horní mediální temporální oblasti skrz retinální ganglion a corpus geniculatum laterale. Buňky retinálního ganglion jsou citlivé na translační nebo rotační volní pohyby, které detekují z obou očí a přivádí je do zadního regionu horní mediální temporální oblasti. Vizuální podněty také dále přispívají k vnímání vlastní vertikály. (Forbes et al., 2018)

K dalším funkcím vizuálního systému uplatňujících se při řízení rovnováhy je již výše zmíněné udržení obrazu na sítnici při pohybech hlavy, za pomoci VOR, kdy je náš cílový objekt stabilní a v zorném poli. Bez VOR by docházelo ke ztrátě stability pohledu a tím pádem zrakové ostrosti. Pokud se ovšem náš cílový objekt začne pohybovat nebo změni polohu musí vizuální systém využít sakadických pohybů očí, které jsou spuštěny eferentací z premotorické frontální oblasti. Jsou zodpovědné hlavně za návrat očí do původní polohy. Při pohybu hlavy a očí zároveň musí být spolupráce mezi vestibulárním a zrakovým systémem velmi přesná. (Goebel, 2008; Hahn, 2015)

1.3.3 Somatosenzorický systém

Somatosenzorické podněty jsou zachyceny receptory ve svalech, kloubech, fasciích a kůži. Tyto receptory nám poskytují pocit polohy a pohybu končetin. (Forbes et al. 2018; Vrabc et al., 2002)

Pouze malá část těchto podnětů se dostává do mozečku k dalšímu zpracování cestou tractus spinocerebellaris. Většina podnětů, vycházejících z výše popsaných receptorů, je prostřednictvím zpětných vazeb zpracována již na periferní úrovni. Tyto základní reflexy jsou základem volných i statických antigravitačních reflexů. Část těchto podnětů se dostává zadními provazci do oblastí korových center. Tyto somatosenzorické podněty umožňují vnímání vibračního cití, kvality povrchu předmětů, polohy jednotlivých končetin atd. (Vrabc et al., 2002)

1.3.4 Sluchový systém

V současné době je výzkum vlivu sluchového ústrojí na stabilitu stoje předmětem řady studií, neboť jeho role není ještě zcela prokázána. Tuto problematiku shrnuji v následující kapitole [Současné poznatky o vlivu sluchu na stabilitu stoje](#).

1.4 Současné poznatky o vlivu sluchu na stabilitu stoje

V současné době bývá vliv na stabilitu stoje přisuzován hlavně senzoričným informacím získaným zrakem, vestibulárním ústrojím a propiocepčí (Peterka, 2018).

Role sluchu bývá opomíjena, ale zájem o tuto problematiku se zvyšuje. Vznikají studie zabývající se změnami stability stoje a rovnováhy u pacientů, kteří o sluch přišli, i vlivem zvukové stimulace na stabilitu stoje u probandů bez sluchového deficitu (Campos et al., 2018).

1.4.1 Dětská a adolescentní populace

Tyto studie vznikají i u dětské populace, kdy u dětí a adolescentů se ztrátou sluchu můžeme zmínit tyto studie, zabývající se změnami posturální kontroly.

Ebrahimi et al., 2017 se zabývají limity stability (LOS), tedy oblastí, kterou je člověk schopný obsáhnout, aniž by nedošlo ke ztrátě rovnováhy, u probandů bez sluchového deficitu a s ním ve věku od 7 do 12 let. LOS u probandů se sluchovým deficitem je výrazně nižší než u probandů slyšících, tedy probandi se sluchovým deficitem vykazují nižší schopnost posturální kontroly. Z výsledků dále usuzují, že sluchový deficit může ovlivnit celkový vývoj dítěte (Ebrahimi et al., 2017).

Melo et al. testovali posturální stabilitu u slyšících probandů a probandů se senzoričnou ztrátou sluchu ve věku od 7 do 18 let pomocí Balance Error Scoring System – BESS. BESS je objektivní metoda testování statické posturální stability, kdy se využívá stoje s chodidly u sebe, stoj na jedné končetině a to na nedominantní, stoj v tandemu, kdy nedominantní chodidlo stojí za chodidlem dominantním, vše se zavřenými očima s rukama v bok, ve dvou podmínkách s měkkou podložkou a bez ní, vždy po dobu 20 sekund (Bell et al., 2011). Pozorují, že probandi se sluchovým deficitem vykazují vyšší posturální instabilitu, kdy s vyšším věkem dochází k zmenšení rozdílu instability mezi slyšícími probandy a probandy se sluchovým deficitem. Dále si všimají rozdílu mezi úrovní ztráty sluchu, kdy probandi s mírnějším sluchovým deficitem vykazují nižší skóre instability, ale tato skutečnost se jim potvrdila pouze u testů bez využití měkké podložky (Melo et al., 2015).

1.4.2 Dospělá populace se ztrátou sluchu a/nebo vestibulárním deficitem

V dospělé populaci ze studií zaměřující se na probandy se sluchovým deficitem zmiňme studii Rumalla et al, která sledovala vliv sluchu na stability stoje u 14 probandů s průměrným věkem 77 let, kteří využívají bilaterálně sluchovou pomůcku, testován byl čas, po který budou schopni udržet rovnováhu se zavřenými očima na měkké podložce s využitím jejich sluchové pomůcky a bez jejího využití. Při využití sluchové pomůcky se čas, po který byli schopni udržet rovnováhu, zvyšoval. (Rumalla et al., 2015)

Další studie již využívají zvukové stimulační, kdy některé přidávají také probandy s deficitem v oblasti vestibulárního systému. Vitkovic et al., kde byli probandi (50 zdravých, 28 se ztrátou sluchu, 19 s vestibulární dysfunkcí a částečnou ztrátou sluchu) vystaveni 4 podmínkám s eliminací vizuálního a/nebo proprioceptivního vstupu, tedy se zavřenými nebo otevřenými očima bez měkké podložky, se zavřenými nebo otevřenými očima s měkkou podložkou, vždy po dobu 60 sekund a ve 4 různých zvukových prostředích: v klidném pokoji velice podobném zvukotěsnému, zvukotěsný pokoj s špunty do uší, ve zvukotěsném pokoji s kontinuálním bílým šumem a ve zvukotěsném pokoji s pohybujícím se zdrojem bílého šumu mezi 8 reproduktory, kde se zvuk šířil zleva doprava a zpět. Probandi se ztrátou sluchu simulovali podmínky zapnutou a vypnutou sluchovou pomůckou. V této studii analyzovali celkovou trajektorii výchylek těžiště během stabilometrického měření (sway path). Výsledky ukazují, že u probandů bez zvukového deficitu dochází ke zvýšení výchylek v situacích, kde je k dispozici méně zvukových podnětů. U probandů se ztrátou sluchu docházelo ke zvýšení výchylek více v situaci zapnutá sluchová pomůcka a žádný zvukový stimul než vypnutá zvuková pomůcka a žádný zvukový stimul, což autoři přisuzují různým algoritmům, které sluchové pomůcky využívají při interpretaci zvuku. U probandů s vestibulární dysfunkcí za přítomnosti zvuku docházelo k redukci délky trajektorie, což autoři komentují tím, že probandi s vestibulární dysfunkcí se mnohem více soustředí na sluchové vstupy jejich zbývajících sluchu (Vitekovic et al., 2016).

Stevens et al. přicházejí s výsledkem, že dochází k významnému zlepšení posturální stability u probandů bez subjektivních potíží s rovnováhou i u probandů s objektivně prokázaným problémem s rovnováhou za využití zvukové stimulace. U probandů s problémy s rovnováhou je toto zlepšení výraznější. Studie se zúčastnilo 18 probandů (12 bez potíží a 6 s objektivními potížemi s rovnováhou), testována byla sway velocity, tedy posturální výchylky vydělené dobou měření, a to za přítomnosti zvukové stimulace, která obklopovala probanda ze všech stran (4 reproduktory zepředu, zezadu, zprava a zleva probandovy hlavy). (Stevens et al., 2016)

1.4.3 Dospělá populace zdravých probandů

Zmiňme tyto studie, které testovaly vliv sluchu na stabilitu stoje u probandů bez sluchového deficitu.

Kanegaonkar et al. testovali 21 normálně slyšících probandů ve věku mezi 23 až 44 lety ve dvou místnostech, v běžné ordinaci a v ordinaci určené pro audiometrii, která je zvukotěsná, byli testováni s otevřenými a zavřenými očima, s a bez měkké podložky, s a bez špuntů do uší. Každá podmínka trvala 30 sekund, všechny podmínky byly uskutečněny v obou místnostech. Pozorovali, že posturální výchylky (sway area) ve zvukotěsné místnosti celkově narůstají, ale statistická významnost byla pozorována pouze při podmínkách s otevřenými očima (Kanegaonkar et al., 2012).

Ross a Balasubramaniam testovali vliv bílého šumu na posturální výchylky u 19 probandů ve věku mezi 18–25 lety. Probandi měli za úkol stát na plošině snímající výchylky, a to se sluchátky, které tlumí další vnější zvuky. Testování byli ve 4 podmínkách se zavřenými a otevřenými očima bez a se zvukovou stimulací bílým šumem. Každá podmínka trvala 30 sekund a byla měřena 5krát. Posloupnost podmínek byla v randomizovaném pořadí. Ukázalo se, že došlo ke snížení posturálních výchylek za přítomnosti bílého šumu. Nejmenších posturálních výchylek bylo dosaženo za podmínky otevřených očí se zvukovou stimulací bílým šumem. (Ross a Balasubramaniam, 2015)

V roce 2016 došlo k zopakování této studie, kdy kromě 15 mladých zdravých probandů průměrný věk 20 let, se studie zúčastnilo i 15 probandů ve věku přes 65 let (průměrný věk 78,67 let). Starší probandi vykazovali veliké rozpětí smyslových deficitů běžně spojených se stárnutím. Ke snížení posturálních výchylek došlo jak u mladších probandů, tak i u starších účastníků. Snížení bylo vyšší u mladších probandů účastnících se této studie. (Ross et al., 2016)

Ve studii z roku 2017 Maheu et al. testoval posturální výchylky (sway area a sway velocity) u 14 zdravých probandů, kteří byli vystaveni různému šumu (šum, kde se mění intenzita dle frekvence zvuku tak, aby energie všech frekvencí byla stejná) s nebo bez protektorů zvuku (byly využity špunty do uší). Zdroj zvuku byl jeden reproduktor umístěný jeden metr za probandem. Byli testováni v těchto podmínkách: otevřené a zavřené oči na pevné podložce, otevřené a zavřené oči na měkké podložce, každý test trval 60 sekund. Probandi opakovali test 4krát a měli za úkol počítat od 1000 k 0, aby nedocházelo k soustředění na zdroj zvuku. Podmínky byly testovány v náhodném pořadí. Výsledky studie neukazovaly žádný signifikantní rozdíl mezi hodnotami posturálních výchylek se zvukovou stimulací různým šumem a bez ní, ale pozorovali významný rozdíl ve vizuální závislosti bez a se zvukovou stimulací, kdy při vyřazení sluchových vjemů docházelo ke zvyšování vizuální závislosti. (Maheu et al., 2017)

V roce 2019 Maheu et al. studii zopakovali za stejných podmínek, pouze se navíc studie účastnilo 18 probandů se závažnou nebo úplnou ztrátou sluchu, ze kterých 10 mělo objektivní potíže s vestibulárním systémem. Probandi se ztrátou sluchu v podmínkách s a bez zvukové stimulace tuto situaci demonstrovali vypnutím a zapnutím své sluchové pomůcky. Výsledkem tentokrát bylo snížení posturálních výchylek při zvukové stimulaci různým šumem, kdy nejvýznamnější snížení posturálních výchylek bylo pozorováno u probandů se ztrátou sluchu a u probandů s vestibulární poruchou. U zdravých probandů opět nebyl rozdíl posturálních odchylek významný. (Maheu et al., 2019)

Ve studii publikované v roce 2020 testovali Seiwerth et al. vliv zvuku na posurální stabilitu u dospělých probandů (věkové rozmezí od 16 do 62 let, průměrný věk 30, $2 \pm 11,2$ roku) bez sluchového deficitu. Posturální stabilita probandů byla testována za úplného ticha (se špunty v uších) a za hluku o frekvenci od 40 Hz po 20 kHz. U výsledků indikátoru stability, což je parametr jehož hodnota vysoce koreluje se sway area (Friedrich et al., 2008), nepozorovali žádný rozdíl mezi těmito dvěma podmínkami (Seiwerth et al., 2020).

Anton et al., přicházejí se studií, jejímž výsledkem je závěr, že kontinuální zdroj zvuku může zlepšit posturální kontrolu během chůze. (Anton et al., 2021)

1.4.4 Nevidomí probandi

Zajímavou studii, která testovala vliv sluchového stimulu na posturální výchyly nevidomých probandů uskutečnili Easton et al.. Studie se skládala z testování skupiny nevidomých a vidících probandů, u kterých byly zkoumány posturální výchyly za zvukových podmínek skládajících se z hluku jehož zdrojem byl 1 reproduktor umístěný přímo před testovaným, 2 reproduktory umístěnými vedle uší testované osoby a s měnícím se zdrojem zvuku. Výsledkem bylo snížení posturálních výchylek u vidících i nevidomých probandů za podmínky se dvěma reproduktory. (Easton et al., 1998)

1.4.5 Souhrn

Souhrnně sluchový deficit vede ke zvětšení posturálních výchylek. Některé studie ukazují, že tento deficit se dá kompenzovat sluchovými pomůckami. Zvuková stimulace ukazuje největší zmenšení posturálních výchylek u probandů s vestibulárním deficitem, následně u probandů se sluchovým deficitem a u zdravých probandů není toto tvrzení jednoznačné. Při využití audiostimulace je více proměnných, které mohou ovlivnit výslednou hodnotu posturálních výchylek, a to například typ zvoleného zvuku, počet zdrojů zvukové stimulace a doba, po kterou budou probandi stimulaci vystaveni.

2 CÍLE A HYPOTÉZY

Z teoretických poznatků této práce vyplývá, že sluchový a vestibulární systém sdílí společnou anatomickou strukturu vnitřní ucho (auris interna). Zároveň dochází i k nervovému propojení těchto dvou struktur za pomoci tractus vestibulospinalis medialis.

Z výše uvedených dosavadních studií obsažených v teoretické části této práce dále vychází, že dochází k integraci sluchových podnětů při řízení rovnováhy. Zásadní zvýšení celkové instability můžeme pozorovat u pacientů se sluchovým deficitem.

Zároveň výsledky jednotlivých studií, které testovaly zdravé probandy, nehovoří jasně pro hypotézu, že sluchová stimulace může u zdravých probandů snížit velikosti posturálních výchylek, a naopak při vyřazení sluchovým podnětu dochází ke zvýšení těchto výchylek. Rozdíly můžeme pozorovat mezi pracemi Stevens et al., jejichž výsledky ukazují výrazné zlepšení posturální stability za využití zvukové stimulace, zatímco Maheu et al., Ross et al., zlepšení nepozorují. U hypotézy s vyřazením sluchových podnětů Kanegaonkar et al., nepozoruje statisticky významné zvýšení posturálních výchylek, oproti tomu výsledky Vitkovic et al. ukazují, že s nižším množstvím zvukových stimulů dochází k nárustu posturálních výchylek testovaných probandů.

Praktická část této práce si proto dává za cíl pokusit se ověřit, zda jsou sluchové podněty významné pro řízení rovnováhy u zdravých jedinců. Přesněji dojdou ke změně trajektorie posturálních výchylek (*sway path*), a to celkové (*sway path total*), v anterioposteriorním směru (*sway path AP*) a mediolaterálním směru (*sway path ML*) nebo změně velikosti posturálních výchylek (*sway area*) vlivem vyřazení sluchových vjemů za pomoci špuntů do uší, poslechem nahrávky v jazyce, kterému rozumí (nahrávka předpovědi počasí v českém jazyce), nahrávky v jazyce, kterému nerozumí (fínština nebo čínština), poslechem bílého šumu a nahrávkou s obsahem, kterému proband rozumí a na konci poslechu bude dotazován na otázku týkající se tohoto sdělení.

2.1 Hypotézy

2.1.1 Hypotéza H_1

Průměrná velikost (značíme μ) trajektorie posturálních výchylek (*sway path*) a to celková (*sway path total*), v anterioposteriorním směru (*sway path AP*) a mediolaterálním směru (*sway path ML*) se bude lišit bez zvukové stimulace a s ní:

H_1 : μ SP (total, AP, ML) ve stoji se zavřenýma očima na měkké podložce bez zvukové stimulace \neq μ SP (total, AP, ML) při poslechu nahrávky v češtině \neq μ SP (total, AP, ML) při vyřazení sluchového vjemu špunty do uší \neq μ SP (total, AP, ML) při poslechu bílého šumu \neq μ SP (total, AP, ML) při poslechu nahrávky v cizím jazyce \neq μ SP (total, AP, ML) při poslechu nahrávky, která obsahuje odpověď na otázku

2.1.2 Hypotéza H_2

Průměrná velikost (μ) posturálních výchylek (*sway area*) se bude lišit bez zvukové stimulace a s ní stejně jako u H_1 :

H_2 : μ SA ve stoji se zavřenýma očima na měkké podložce bez zvukové stimulace \neq μ SA při poslechu nahrávky v češtině \neq μ SA při vyřazení sluchového vjemu špunty do uší \neq μ SA při poslechu bílého šumu \neq μ SA při poslechu nahrávky v cizím jazyce \neq μ SA při poslechu nahrávky, která obsahuje odpověď na otázku

3 METODIKA

3.1 Charakteristika vzorku testovaných probandů

V této práci jsme testovali celkem 16 probandů z toho 8 mužů a 8 žen, průměrný věk $29,94 \pm 8,33$ let (tab.1), kdy věk nejmladšího probanda byl 20 let a nejstaršího 55 let. Průměrná výška byla $1,72 \pm 0,07$ m (tab.1), průměrná hmotnost $69,83 \pm 12,29$ kg (tab.1), z toho průměrná hodnota BMI $23,39 \pm 2,99$ (tab.1). Jednalo se o vzorek populace bez žádných subjektivních obtíží se sluchem či rovnováhou, kteří netrpěli žádným chronickým onemocněním, které by mohlo jejich stabilitu ovlivnit. Všichni probandi podepsali informovaný souhlas (příloha 1) o dobrovolné účasti v této studii.

| | věk [roky] | hmotnost [kg] | výška [m] | BMI |
|---------------------|-------------------|----------------------|------------------|------------|
| průměrná hodnota | 29,94 | 69,83 | 1,72 | 23,39 |
| směrodatná odchylka | 8,33 | 12,29 | 0,07 | 2,99 |

Tab. 1 Charakteristika vzorku testovaných probandů

3.2 Protokol testování

Vyšetření bylo prováděno na Neurologické klinice 2.LF UK a FN Motol, vždy v odpoledních hodinách mezi 17-19 hodinou. Testování proběhlo 2x s rozestupem minimálně jednoho týdne a bylo vedeno jedním terapeutem.

1. ANEMNESTICKÝ DOTAZNÍK

Probandi byli dotazováni dle anamnestického dotazníku (příloha 2), který vytvořila autorka práce a to, zda využívají nějakou sluchovou pomůcku, zda podstoupili nějaké specializované vyšetření sluchu, kromě běžných preventivních, zda netrpí nějakým neurologickým/vestibulárním onemocněním, které by mohlo ovlivnit jejich rovnováhu a zda se neléčí s nějakým dlouhodobým onemocněním.

2. DOTAZNÍK DIZZINESS HANDICAP INVENTORY

Dále byly probandům pokládány otázky, ze standardizovaného dotazníku Dizziness Handicap Inventory. Jedná se o dotazník skládající se z 25 otázek, které mapují obtíže, které souvisejí s poruchou rovnováhy a mohou probanda hendikepovat (příloha 3).

3. STABILOMETRICKÉ VYŠETŘENÍ

Vyšetření bylo prováděno na stabilometrické plošině Kistler (Švýcarsko), za pomoci softwaru Mars, na Neurologické klinice 2.LF UK a FN Motol. Probandi byli vyšetřováni ve vzpřímeném stoji, ruce volně podél těla, chodidla svírala úhel 30°. Probandi měli za úkol udržet vzpřímenou polohu a po dobu jednoho testu mlčet. Každý test trval 30 s. Stabilometrické vyšetření probíhalo bez a se zvukovou stimulací. Reprodukční byl umístěn ve vzdálenosti 1 m od probanda ve výšce jeho brady, hlasitost zvukové stimulace se pohybovala v rozmezí od 60–70 dB (určováno dle bílého šumu). Pokud proband nebyl schopný test dokončit, bylo ho možné opakovat (3 pokusy). Testování probíhalo dle protokolu měření (příloha 4).

Probandi byli vyšetřováni v několika polohách – stoj vzpřímený s otevřenými očima, kdy sledovali značku přímo před nimi, a se zavřenými očima, následoval stoj vzpřímený se záklonem hlavy, opět ve dvou podmínkách s otevřenými očima, kdy sledovali značku nad nimi, a se zavřenými očima. Při dalším testu byla využita měkká podložka, na které probandi stáli, testování bylo prováděno ve 4 variantách, a to stoj vzpřímený s otevřenými očima (Obr. 3), kdy sledovali značku před nimi a zavřenými očima, stoj vzpřímený se záklonem hlavy opět ve variantě s otevřenými očima (sledovali značku nad nimi) a zavřenými očima. Poslední z testů byl test stoje v tandemu, kdy chodidla nesvírala 30°, ale byla v pozici za sebou, proband si mohl vybrat umístění chodidel, při kterém se cítí stabilnější, testování probíhalo opět ve dvou variantách s otevřenými (sledovali značku před nimi) a zavřenými očima. Tyto testy byly prováděny bez zvukové stimulace. Po zhruba minutové přestávce byli probandi vyšetřováni se zvukovou stimulací, a to v jediné pozici stoj vzpřímený se zavřenými očima a na měkké podložce, měnil se pouze druh zvukové stimulace. Zvuková stimulace se skládala z mluveného slova, kterému rozumí (předpověď počasí v českém jazyce), bílého šumu, mluveného slova, kterému nerozumí (čínština, finština), mluveného slova obsahující sdělení, kterému rozumí s upozorněním na otázku týkající se obsahu sdělení (mentální zatížení), na kterou po skončení testu museli odpovědět. Testována byla také podmínka bez zvukové stimulace s vyřazením sluchu pomocí špuntů do uší.



Obrázek 3 Testovaný proband při podmínce stoj vzpřímený bez záklonu hlavy s otevřenými očima na měkké podložce bez zvukové stimulace. Zdroj: archiv autora

3.3 Zpracování dat

Data získaná stabilometrickým vyšetřením na stabilomterické plošině Kistler byla zpracována softwarem MARS. Software MARS ze získaného signálu vypočetl průměrnou délku trajektorie posturálních výchylek (*sway path*) - celkovou (*sway path – total*), v anterioposterioním směru (*sway path – AP*) a mediolaterálním směru (*sway path – ML*) a plochu, která se vytvořila v průběhu měření pohybem COP (*sway area*).

Data byla dále hodnocena za využití programu Jamovi. Pomocí tohoto programu byla vytvořena část grafů a tabulek, zbylá část byla vytvořena v programu MS Office Excel.

Pro kvantitativní hodnocení dat byla SP (total, AP, ML,) a SA normalizována pomocí logaritmické transformace dekadickým logaritmem.

Po logaritmické transformaci nebylo rozdělení získaných dat u testovaných probandů vždy normální. Normálové rozdělení dat bylo zobrazeno a ověřeno histogramem, kdy na vodorovné ose byly zanesené sledované hodnoty na svislou četnost těchto hodnot, vše bylo proloženo Gaussovou křivkou, popisující hustotu pravděpodobnosti a normálové rozložení. Dalším grafickým znázorněním a ověřením byl Q-Q graf. Nenormální rozdělení získaných dat může být způsobeno malým počtem probandů v testovaném vzorku populace.

Data z prvního a druhého testování byla dále statisticky testována za pomoci Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA), kde bylo ověřeno, zda jsou si data z těchto měření podobná.

Následně byl porovnáván rozdíl v celkových průměrných hodnotách získaných dat za jednotlivých podmínek měření zvukové stimulace a za podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce, a to opět za využití Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA), při zvolené hladině významnosti 0,05.

Rozdíly mezi jednotlivými podmínkami byly porovnávány za pomoci Pos Hoc testů.

4 VÝSLEDKY

4.1 Výsledky zvuková stimulace

Při statistickém zpracování získaných dat bylo pomocí Repeated Measures Analysis of Variance (ANOVA) ověřováno, zda jsou data z prvního i druhého měření podobná. Tato analýza prokázala podobnost naměřených hodnot *Sway path – total*, *Sway path - ML* a *Sway area*, tudíž bylo možné tyto tři parametry dále hodnotit. U parametru *Sway path – AP* byly tyto hodnoty natolik rozdílné, že byl tento parametr z dalšího zpracování dat vyloučen.

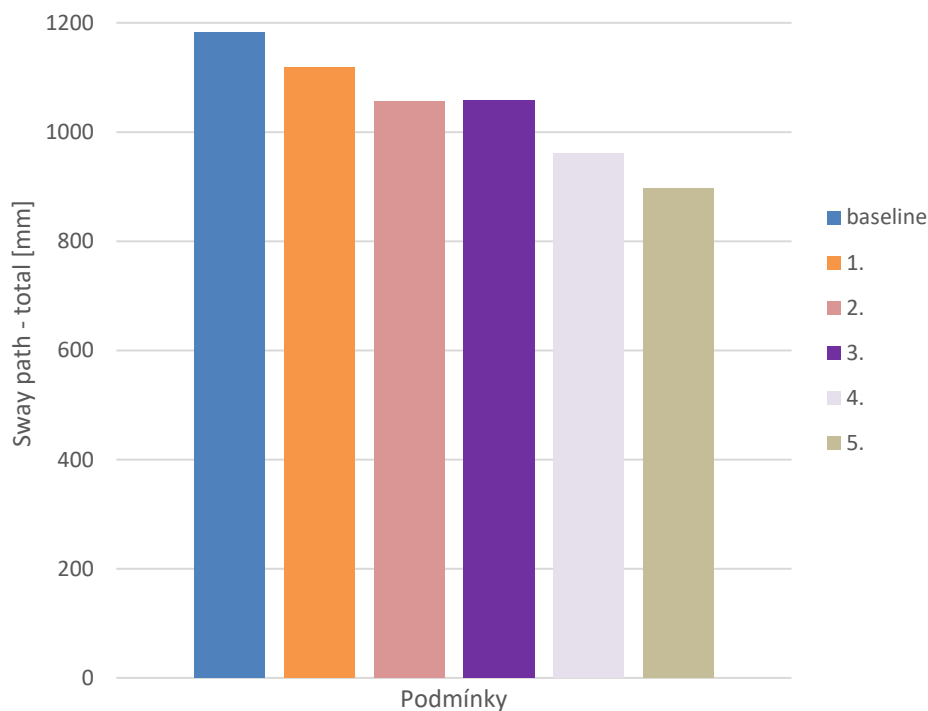
Při vyhodnocení výsledků testovaných veličin znamenají jednotlivá označení toto: baseline označuje podmínku stoj se zavřenýma očima na měkké podložce, což je podmínka pro výchozí porovnávání, 1. podmínka označuje situaci za zvukové stimulace mluveným slovem, kterému proband rozumí, v našem případě předpověď v českém jazyce, 2. podmínka označuje situaci bez zvukové stimulace, za vyřazení sluchu pomocí špuntů do uší, 3. podmínka označuje situaci, kdy dochází ke zvukové stimulaci za využití bílého šumu, 4. podmínka označuje zvukovou stimulaci mluveným slovem, kterému proband nerozumí (stimulace byla prováděna čínštinou nebo finštinou) a 5. podmínka označuje zvukovou stimulaci mluveným slovem se sdělením, kterému proband rozumí a následně je dotazován na otázku týkající se obsahu sdělení. Toto označení bude využíváno dále u všech zjištěných výsledků.

4.1.1 Sway path – total

Při ověřování hypotézy H_1 u veličiny SP total pomocí Repeated Measures ANOVA bylo výsledkem, že naměřené průměrné hodnoty se od sebe statisticky významně liší ($p < 0,001$). Tedy výsledek potvrzuje hypotézu (Tab. 5, Příloha 5).

| | baseline SP | 1 SP | 2 SP | 3 SP | 4 SP | 5 SP |
|--------|-------------|---------|---------|---------|--------|--------|
| N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| průměr | 1181,85 | 1118,03 | 1055,78 | 1058,28 | 961,44 | 897,13 |
| Medián | 1112,93 | 974,60 | 1026,13 | 976,63 | 906,45 | 851,80 |
| SD | 372,85 | 426,30 | 307,26 | 400,31 | 319,22 | 269,63 |

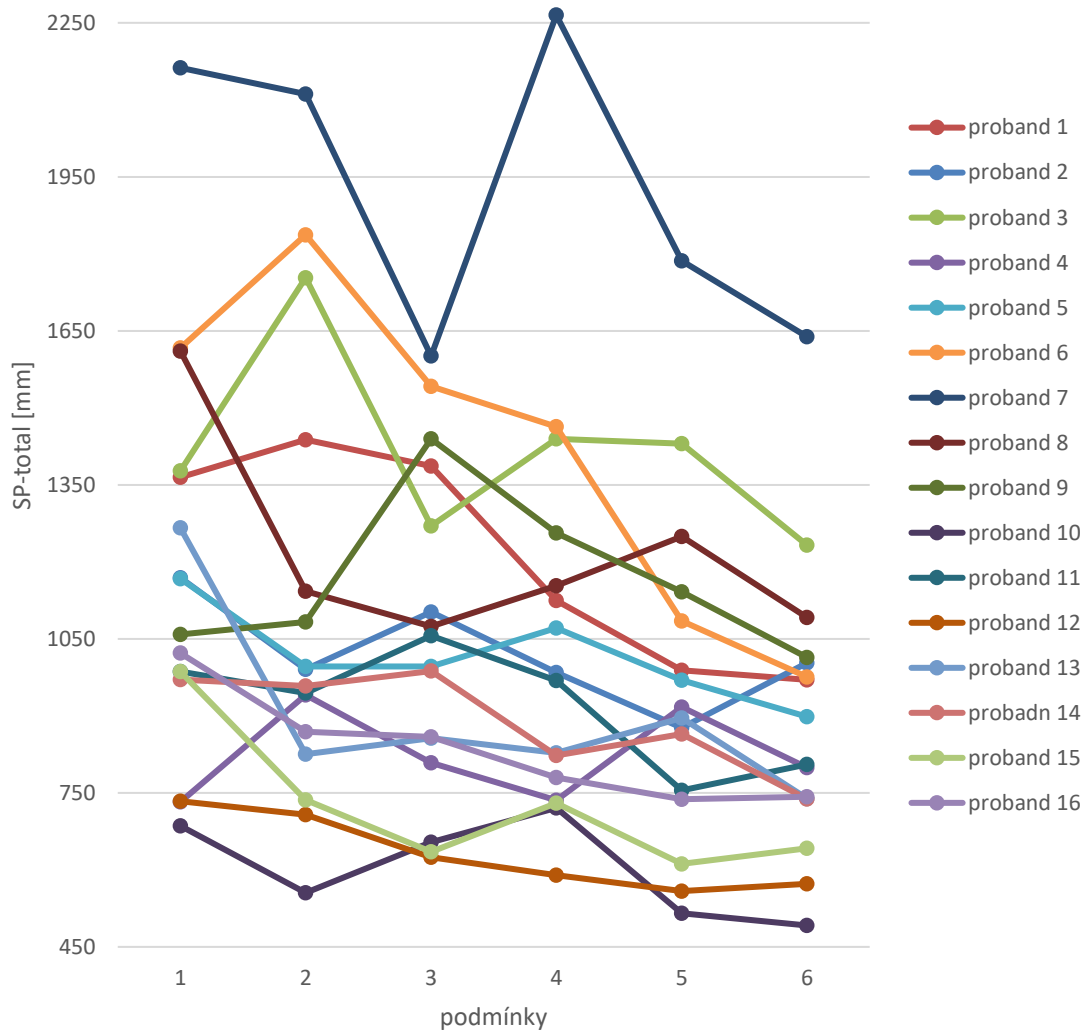
Tab. 2 SP total [mm] testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace, kdy N označuje počet Probandů, SD směrodatnou odchylku



Graf. 1 Průměrné hodnoty SP total u testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace

Dále z Grafu 1 a Tabulky 2 je patrné, že u probandů došlo ke snížení průměrných hodnot SP total oproti výchozí podmínce (baseline). Největší statistický význam byl pozorován v rozdílu baseline (průměr je 1181,84 mm) a podmínkami 4 (průměr je 961,44 mm) a 5 (průměr je 897,13 mm), kdy mezi baseline a 4. podmínkou hodnota p je menší než 0,001 a mezi baseline a 5. podmínkou je hodnota p menší než 0,001.

Ke snížení také dochází téměř vždy s každou další následující podmínkou. I za podmínky bez zvukové stimulace, kde byl vysloven předpoklad, že by mělo naopak docházet ke zvýšení posturálních výchylek. Podmínka bez zvukové stimulace je označena číslem 2 (průměr je 1055,78 mm). Při této podmínce tedy dochází ke snížení průměrných hodnot SP total oproti baseline (stoj se zavřenýma očima na měkké podložce, průměr je 1181,85 mm), 1. podmínce (poslech nahrávky v českém jazyce, průměr je 1118,03 mm) i 3. podmínce (bílý šum, průměr je 1058,28 mm). Tento pokles byl statisticky významný pouze u rozdílu s baseline ($p=0,046$). Výsledky Post hoc testů porovnávající průměrné hodnoty SP total testovaných probandů naleznete v Příloze 5, Tabulce 6.



Graf. 2 Hodnoty SP-total [mm] každého probanda pro jednotlivé podmínky zvukové stimulace

V grafu 2 pozorujeme, že docházelo k velké variabilitě reakcí probandů na jednotlivé podmínky zvukové stimulace. Podmínky zanesené v grafu jsou 1 výchozí situace (stoj na měkké podložce se zavřenými očima), 2. podmínka s mluveným slovem v českém jazyce, 3. podmínka se špunty v uších, 4. podmínka bílý šum, 5. podmínka s mluveným slovem v jazyce, kterému proband nerozumí (čínština/finština), 6. podmínka s mentálním zatížením.

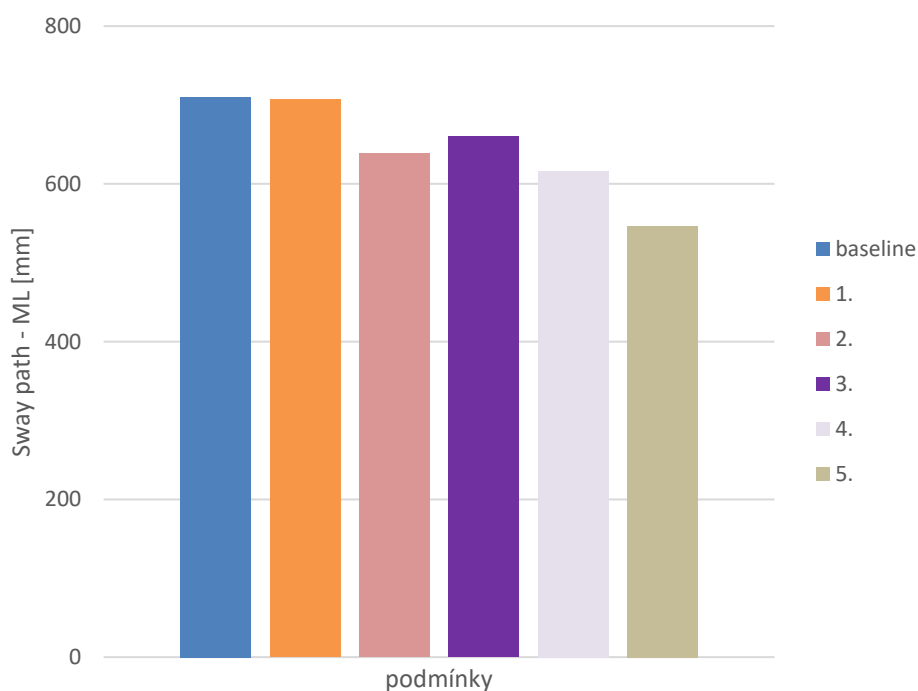
4.1.2 Sway path – ML

Při ověřování hypotézy H_1 u veličiny SP-ML (trajektorie posturálních výchylek v mediolaterálním směru) pomocí Repeated Measures ANOVA bylo výsledkem, že naměřené průměrné hodnoty se od sebe statisticky významně liší ($p < 0,001$). Tedy výsledek potvrzuje hypotézu (Tab. 7, Příloha 5)

Popis odpovídá podmínkám uvedených ve shrnutí výsledků zjištěných hodnot SP – total z předešlého odstavce.

| | baseline SP - ML | 1 SP - ML | 2 SP - ML | 3 SP - ML | 4 SP - ML | 5 SP - ML |
|--------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| průměr | 710,23 | 706,99 | 638,81 | 660,30 | 616,29 | 546,43 |
| medián | 606,35 | 666,23 | 608,35 | 612,53 | 680,28 | 573,03 |
| SD | 342,57 | 397,55 | 286,54 | 375,94 | 313,68 | 272,45 |

Tab. 3 SP-ML [mm] testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace, kdy N označuje počet probandů, SD směrodatnou odchylku



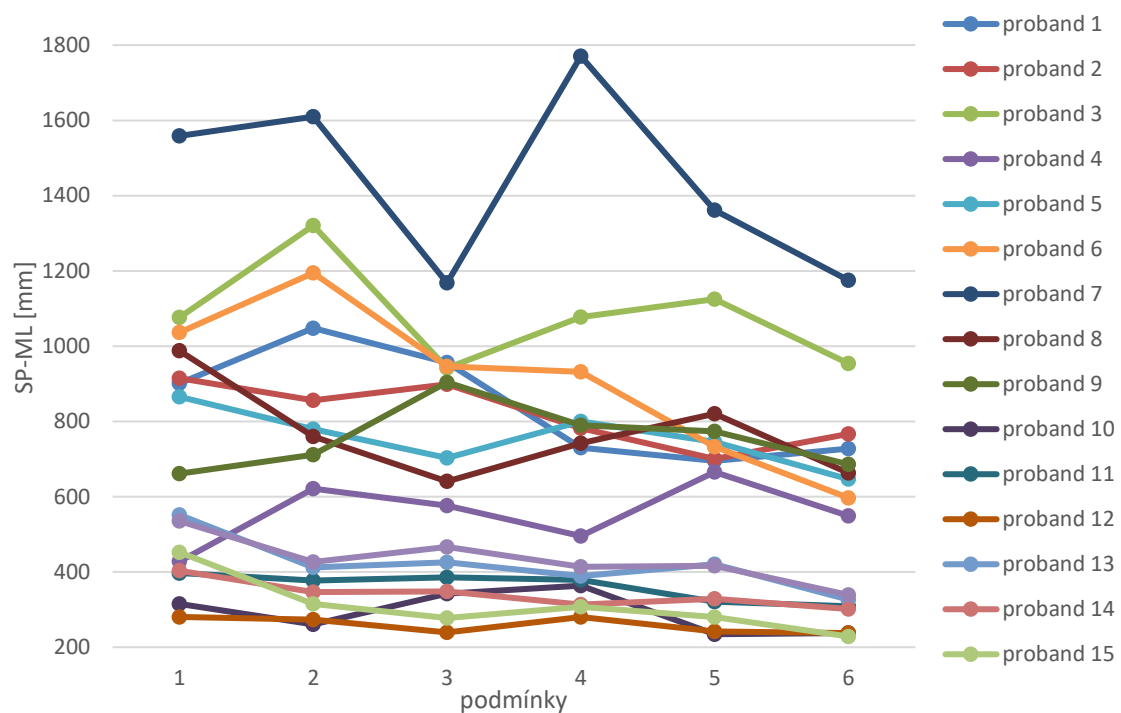
Graf. 3 Průměrné hodnoty SP-ML u testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace

Z Grafu 3 a Tabulky 4 je opět patrné, že u probandů dochází k poklesu hodnot SP – ML ve všech podmínkách se zvukovou stimulací oproti výchozí podmínce (baseline). V tomto případě vidíme statisticky významné rozdíly hlavně mezi SP – ML baseline (průměr je 710, 23 mm) a 4. podmínkou (průměr je 616, 29 mm), kdy je hodnota p rovna 0,010 a 5. podmínkou (průměr je 546, 43 mm) a hodnota p je menší než 0,001. Rozdíl mezi baseline a 3. podmínkou (průměr 660,30 mm) se těsně blíží hranici statistické významnosti ($p=0,055$).

Rozdíl mezi výchozí podmínkou a 1. podmínkou zvukové stimulace (průměr je 706,99 mm) je v tomto případě minimální. Opět dochází k postupnému snižování hodnot posturálních výchylek SP – ML s každou další následující podmínkou. Výjimkou je zde 3. podmínka (bílý šum), při které došlo k navýšení hodnoty měřené SP - ML.

Opět zde dochází ke snížení hodnot SP – ML u 2. podmínky bez zvukové stimulace oproti výchozí podmínce a 1. podmínce s mluveným slovem, kterému testovaní probandi rozuměli. Tentokrát se nejedná o statisticky významný rozdíl.

Výsledky Post hoc testů porovnávající průměrné hodnoty SP - ML testovaných probandů naleznete v Příloze 5, Tabulce 8.



Graf. 4 Hodnoty SP-ML [mm] každého probanda pro jednotlivé podmínky zvukové stimulace

Graf 4 opět zobrazuje variabilitu reakcí jednotlivých probandů na podmínky zvukové stimulace, které odpovídají popisu v předešlé kapitole. U hodnot SP - ML můžeme pozorovat menší výkyvy než u předešlých hodnot SP - total.

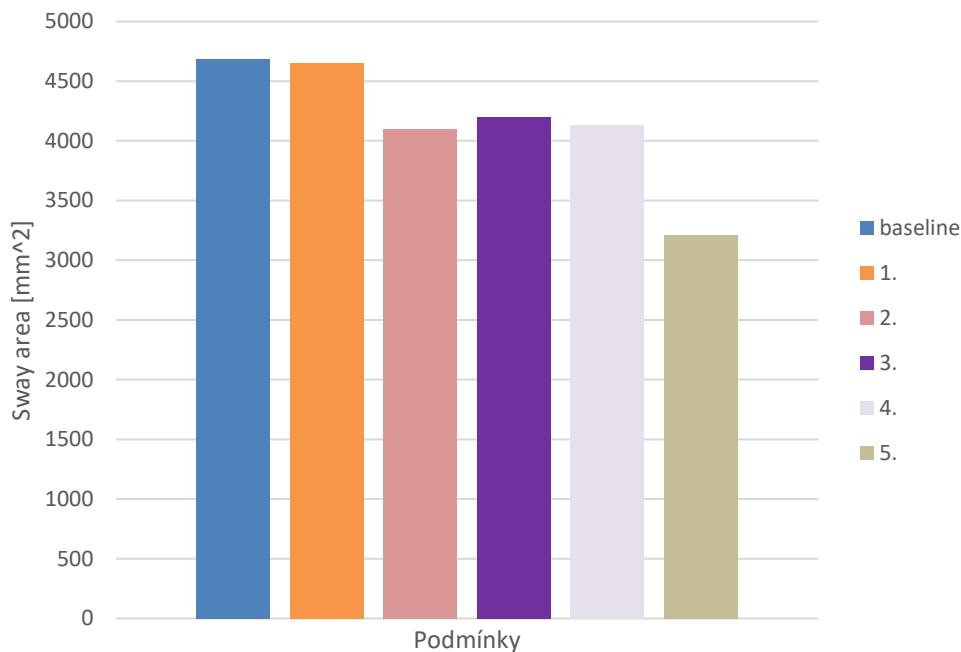
4.1.3 Sway area

Při ověřování hypotézy H_2 u veličiny SA pomocí Repeated Measures ANOVA bylo výsledkem, že naměřené průměrné hodnoty se od sebe statisticky významně liší ($p < 0,001$). Tedy výsledek potvrzuje hypotézu (Tab 9, Příloha 5).

Popisné informace opět odpovídají těm uvedeným v odstavci věnovaném výsledkům.

| | baseline SA | 1 SA | 2 SA | 3 SA | 4 SA | 5 SA |
|--------|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| N | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| průměr | 4686,47 | 4651,68 | 4099,56 | 4203,24 | 4133,16 | 3216,34 |
| medián | 4328,25 | 3972,00 | 3646,75 | 3834,25 | 3757,50 | 3211,75 |
| SD | 2259,07 | 2929,83 | 2294,37 | 2900,82 | 2175,50 | 1983,94 |

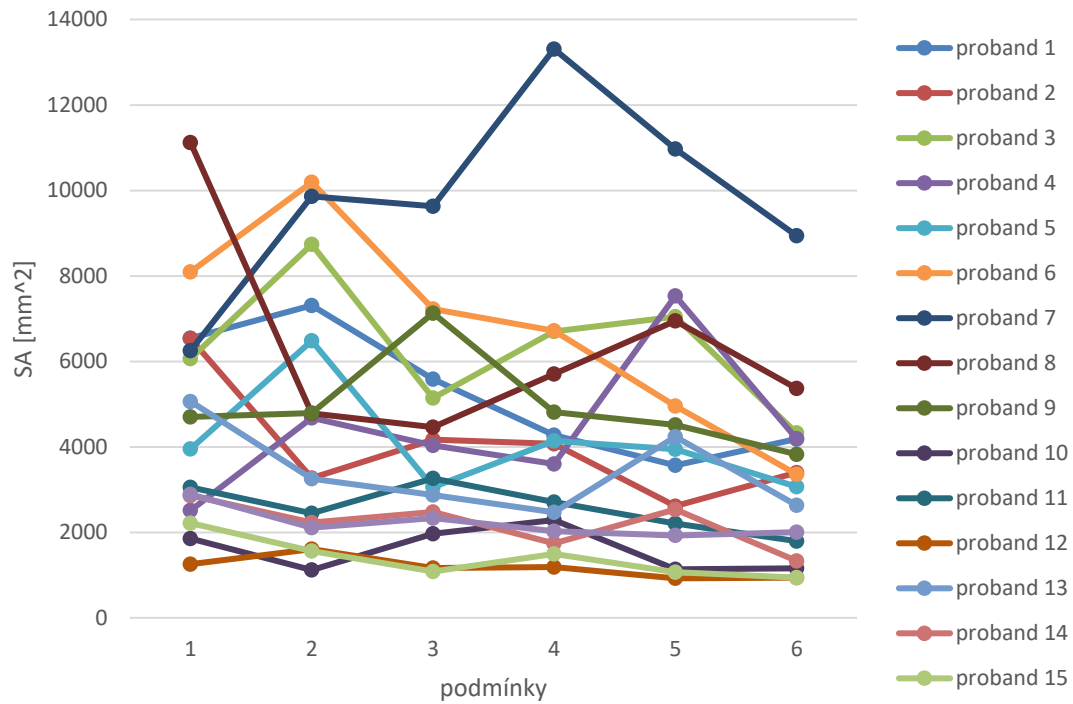
Tab. 4 SA [mm²] testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace, kdy N označuje počet probandů, SD směrodatnou odchylku



Graf. 5 Průměrné hodnoty SA u testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace

Na Grafu 5 a v Tabulce 5 můžeme opět pozorovat pokles SA se zvukovou stimulací oproti výchozí podmínce baseline (průměr je 4686,47 mm²) u testovaných probandů. Tento pokles je statisticky významný pouze u 5. podmínky s mentálním zatížením posluchače (průměr je 3216,34 mm² a hodnota p je menší než 0,001). Rozdíl mezi průměrnou hodnotou baseline a 1. podmínkou zvukové stimulace, kdy je posluchač vystaven nahrávce v českém jazyce je téměř minimální, průměr SA 1. podmínky je 4651,68 mm².

Při 2. podmínce bez zvukové stimulace se špunty do uší (průměr je 4099,56 mm²) opět dochází k poklesu průměrné hodnoty SA tentokrát oproti 3 podmínkám se zvukovou stimulací, a to 1. podmínka se zvukovou stimulací za využití nahrávky v českém jazyce, 3. podmínka bílý šum (průměr je 4203,24 mm²) i 4. podmínka stimulace nahrávkou v jazyce, kterému proband nerozumí (průměr je 4133,16 mm²). Tento pokles není v žádné z podmínek statisticky významný. Výsledky Post hoc testů porovnávající průměrné hodnoty SA testovaných probandů naleznete v Příloze 5, Tabulce 10.

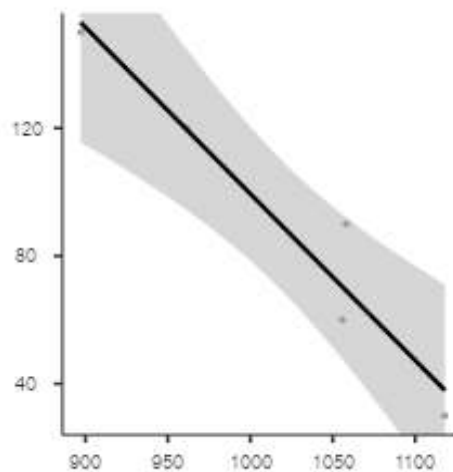


Graf. 6 Hodnoty SA [mm²] každého probanda pro jednotlivé podmínky zvukové stimulace

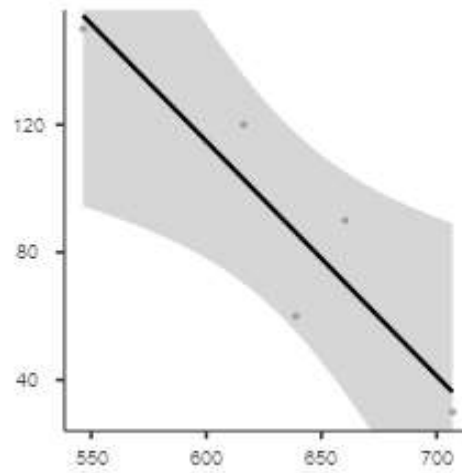
Graf 6 opět zobrazuje variabilitu reakcí jednotlivých probandů na podmínky zvukové stimulace, které odpovídají popisu v předešlé kapitole.

4.1.4 Společné výsledky

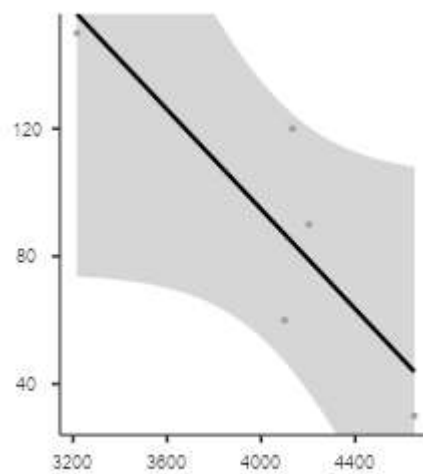
U zjištěných výsledků průměrných hodnot všech zvolených veličin byl pozorován trend, kdy s každou další podmínkou docházelo ke snížení posturálních výchylek, k čemuž vyvstala otázka, zda nedochází k postupnému navykání na stoj na měkké podložce se zavřenými očima. Tato skutečnost byla ověřena korelací podmínek s časem, které jsou zobrazeny na grafu 7, 8 a 9. Tuto korelaci lze považovat za statisticky významnou u průměrných hodnot získaných dat u veličiny SP – total ($p=0,008$) a u veličiny SP - ML ($p=0,028$), u veličiny SA nebyla zjištěna statistická významnost ($p=0,062$).



Graf. 7: Závislost SP – total [mm] na čase [s], kdy na vodorovné ose se nachází průměrné hodnoty SP – total, na svislé čas

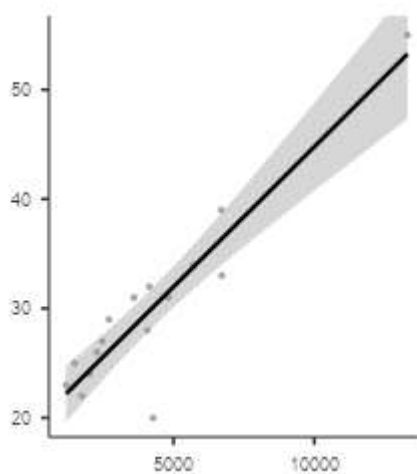


Graf. 8 Závislost $SP - ML$ [mm] na čase [s], kdy na vodorovné ose se nachází průměrné hodnoty $SP - ML$, na svislé čas



Graf. 9 Závislost SA [mm²] na čase [s], kdy na vodorovné ose se nachází průměrné hodnoty SA , na svislé čas

Dále bylo testováno, zda jsou zjištěné výsledné posturální výchylky závislé na věku vyšetřovaných probandů. Pro ověření byla zvolena veličina SA. Můžeme pozorovat trend, při kterém dochází s vyšším věkem probanda ke zvyšování hodnot posturálních výchylek SA. Kdy při výchozí podmínce nebyla tato korelace statisticky významná ($p=0,115$), v případě první podmínky mluveného slova v českém jazyce byla tato korelace statisticky významná ($p=0,04$), i u zbylých podmínek můžeme pozorovat vysokou míru statistické významnosti. Graf 10 znázorňuje závislost posturálních výchylek SA na věku probanda za podmínky se zvukovou stimulací jazykem, kterému proband nerozumí (čínština/finština).



Graf. 10 Závislost SA [mm²] na věku [rok] probanda, na vodorovné ose jsou uvedené průměrné hodnoty SA a na svislé věk

5 DISKUZE

5.1 Vliv sluchu na stabilitu stoje

Shrnutím výsledků výše zmíněných studií v teoretické části práce nelze jednoznačně konstatovat, že sluch má vliv na stabilitu stoje. U probandů se sluchovým deficitem můžeme pozorovat zhoršení stability stoje a zvýšení posturálních výchylek oproti svým vrstevníkům bez sluchového deficitu. Tento trend nacházíme u probandů dětských, dospělých i starších. (Ebrahimi et al., 2017, Melo et al., 2015, Rumalla et al., 2015). Tento deficit se dá velmi dobře kompenzovat využitím sluchových pomůcek, pouze ve studii Vitkovic et al. z roku 2016 se toto tvrzení nepotvrdilo.

Při zvukové stimulaci dochází k redukci posturálních výchylek u probandů se sluchovým deficitem (Maheu et al., 2019). Toto tvrzení rozporuje studie Vitkovic et al. Výsledky studií s probandy s vestibulárním problémem také ukazují zmenšení posturálních výchylek za zvukové stimulace (Stevens et al., 2016), ze studie Vitkovic et al. dokonce výraznějším zlepšení než u probandů se sluchovým deficitem.

U probandů bez sluchového i vestibulárního deficitu nejsou výsledky testování posturálních výchylek za zvukové stimulace tak jednoznačné. Maheu et al, Seiwert et al. nepozorovali žádný rozdíl posturálních výchylek mezi podmínkami se zvukovou stimulací a bez ní. Oproti tomu Vitkovic et al., Kanegaonkar et al., Ross a Balasubramaniam pozorují zmenšení posturálních výchylek za zvukové stimulace.

Dále se ukazuje, že nejlepších výsledků dosahuje kombinace vizuálního vstupu (otevřené oči) se zvukovým, toto zjistili Kanegaonkar et al.. Vyřazením sluchového systému z podílení se na stabilitě stoje dochází ke zvýšení vizuální závislosti probandů. (Maheu et al., 2017) A u nevidomých probandů docházelo při zvukové stimulaci ke snížení posturálních výchylek.

Ze studií od Ross a Balasubramaniam, Maheu et al. lze předpokládat, že změna posturálních výchylek bude závislá na typu zvukové stimulace, kdy Maheu et al. za použití růžového šumu nepozorovali rozdíl ve stabilitě stoje u zdravých probandů se stimulací a bez ní, zatímco Ross a Balasubramaniam při využití bílého šumu rozdíl pozorují.

Počet zdrojů zvuku je další z důležitých modalit vlivu sluchu na stabilitu stoje, což potvrzuje studie Vitkovic et al., kde měli zdraví probandi tím větší posturální výchylky, čím méně dostávali zvukových podnětů. Stevens et al. pozorovali zlepšení posturální stability pokud byli probandi obklopeni 4 reproduktory ze všech stran. Nevidní probandi dosahovali největšího zmenšení posturálních výchylek při 2 zdrojích zvukové stimulace, každý umístěný vedle jednoho ucha probanda. (Easton et al., 1998).

Další proměnou by mohla být i doba průběhu měření, která se v různých studiích lišila, nejčastěji využívaným časem bylo 30 sekund nebo 60 sekund.

5.2 Diskuze výsledků stabilometrického měření zdravých probandů

Rozdíly v naměřených trajektoriích SP (jak celkové, tak v mediolaterálním směru) posturálních výchylek i jejich celkových velikostí SA v porovnání s výchozí podmínkou (stoj se zavřenými očima na měkké podložce) jsou statisticky významné. Nejvyššího statistického významu nabýval rozdíl mezi výchozí podmínkou a 5. podmínkou, tedy s poslechem sdělení, které neslo obsah, na který byl následně proband dotazován otázkou.

Celkově docházelo ke snížení všech hodnocených veličin. Což je v rozporu s Maheu et al, Seiwerth et al., kteří rozdíly v posturálních výchylkách nepozorují, ale v souladu s Vitkovic et al., Kanegaonkar et al., Ross a Balasubramaniam, kdy výsledky jejich studií ukazují, že při zvukové stimulaci dochází k snížení posturálních výchylek. Nejvíce výrazný byl tento rozdíl u SP – total, zatímco u SA byl tento rozdíl méně patrný. U testované veličiny SP – ML a SA byl dále zaznamenán jen minimální rozdíl mezi výchozí podmínkou a podmínkou 1, tedy poslech jazyka, kterému proband rozumí (předpověď počasí v českém jazyce).

Zároveň u probandů dochází ke snížení měřených parametrů i při podmínce 2, tedy bez zvukové stimulace se špunty do uší. Výrazné zvyšování posturálních podmínek při vyřazení sluchového ústrojí nepozorují ani Kanegaonkar et al., 2012, zatímco Vitkovic et al. došli k výsledku, že s nižším množstvím zvukových podnětů dochází k nárůstu posturálních výchylek. Toto snížení průměrných hodnot 2. podmínky bylo možné pozorovat u všech testovaných veličin. U SP - ML docházelo ke snížení oproti výchozí a 1. podmínce, u SA oproti výchozí, 1., 3. a 4. podmínce, ale toto snížení nedosahovalo statistické významnosti. U SP – total docházelo ke snížení oproti výchozí, 1. a 3. podmínce, zde se ukazuje statisticky významný rozdíl mezi výchozí podmínkou a podmínkou se špunty v uších, u zbylých podmínek rozdíly opět nedosahovaly statistické významnosti.

Ross a Balasubramaniam pozorují, že při zvukové stimulaci bílým šumem dochází ke snížení posturální výchylek, tedy, že by mohl probandům pomoci s udržováním rovnováhy. Průměrné hodnoty námi testovaných probandů tento účinek nenaznačují, neboť u všech testovaných veličin došlo k nárůstu posturálních výchylek oproti podmínce bez zvukové stimulace, tento nárůst není ale statisticky významný. Zároveň podmínky 4 a 5 (zvuková stimulace jazykem, kterému proband nerozumí a sdělením s obsahem, na který bude proband dotazován) vykazují snížení posturálních výchylek oproti zvukové stimulaci bílým šumem. U SP - total jsou rozdíly statisticky významné u obou podmínek, u SP - ML a SA dosahuje statistické významnosti rozdíl pouze mezi bílým šumem a podmínkou 5.

Porovnání mezi podmínkou 1 a 3, tedy mluveným slovem, kterému proband rozumí (český jazyk) a kterému nerozumí (finština nebo čínština) ukazuje, že k výraznějšímu poklesu dochází při poslechu zvukové nahrávky v jazyce, kterému proband nerozumí. Žádný z těchto rozdílů nedosahuje statistické významnosti.

K nejvyššímu snížení testovaných parametrů u probandů dochází při podmínce 5 tedy zvukové stimulaci obsahující sdělení, na které budou probandi po skončení testu této podmínky dotazováni otázkou týkající se tohoto sdělení. Tento výsledek může být dán tím, že probandi soustředí veškerou svou pozornost právě na sluchový vjem podobně jako probandi s vestibulárním deficitem ze studie Vitkovic et al., kteří kvůli nedostatku vestibulárních vjemů musí soustředit veškerou svou pozornost na vjemy sluchové. Docházelo u nich k výraznému snížení posturálních výchylek.

Graf 2, 4 a 6 ukazují, že reakce probandů byly na různé druhy zvukové stimulace velice variabilní, například u probandky číslo 4 došlo ke zvýšení všech testovaných parametrů ve všech testovaných podmínkách se zvukovou stimulací oproti výchozí podmínce. U probandky číslo 3 došlo ke zvýšení testovaných podmínek se zvukovou stimulací ve 3 z 5 podmínek oproti podmínce výchozí, a to 1. stimulace jazykem, kterému proband rozumí, 3. za využití bílého šumu a 4. nahrávka čínštiny nebo finštiny. U 5 probandů došlo ke zvýšení SP – total bez zvukové stimulace za využití špuntů do uší, k tomuto zvýšení také došlo u parametru SP – ML, kdy se týkalo 3 probandů, také u parametru SA, kdy se vyskytovalo opět u 5 testovaných probandů oproti výchozí podmínce. Toto zvýšení pozorujeme také u testování zvukové stimulace bílým šumem, u parametru SP – total v 5 případech, SP - ML také v 5 případech a u SA v 6 případech oproti výchozí podmínce, což opět potvrzuje myšlenku, že bílý šum nepůsobí na všechny probandy stabilizačním účinkem, což je v rozporu s Ross a Balasubramaniam. Tato variabilita také ukazuje na nedostatek této studie, kterým je malý počet testovaných probandů. S vyšším počtem probandů by bylo možné snadněji dosáhnout normálového rozložení výsledků testovaných probandů a určit, zda se jedná o ojedinělé variace nebo statisticky významné rozdíly.

Otestujeme-li korelaci výsledků změn celkové velikosti posturálních výchylek (SA) s věkem probandů výsledky ukazují, že dochází k jejich zvýšení s vyšším věkem probanda, kdy statistické významnosti tato korelace dosahovala ve všech podmínkách, kromě podmínky 1 mluveného slova, kterému proband rozumím. Tento výsledek můžeme přisuzovat fyziologickému zhoršování funkce systémů zapojující se do řízení stability stoje vlivem stárnutí, ke kterým patří i postupné zhoršování sluchu. O tomto procesu hovoří i Campos et al. ve své práci zabývající se vlivem stárnutí na celkovou stabilitu. Tato myšlenka by mohla být objektivně ověřena audiometrickým otestováním sledovaných probandů. Ross et al., pozoroval rozdíly posturálních výchylek u probandů s nižším věkem oproti probandům s věkem vyšším, reakce probandů vyššího věku na zvukovou stimulaci byla nižší než probandů mladšího věku.

Sledováním postupného snižování trajektorie posturálních výchylek (celkové i v mediolaterálním směru) a celkové velikosti těchto výchylek vyvstala otázka, zda nedochází k postupné adaptaci probandů na polohu, ve které testování se zvukovou stimulací probíhá (stoj se zavřenýma očima na měkké podložce), tedy nedochází-li s delším časem stráveným v této pozici ke snížení sledovaných parametrů. Tato myšlenka byla potvrzena u SP - total i SP - ML, zatímco u SA nedosahovala statistické významnosti. Tudíž ačkoli se podařilo potvrdit veškeré stanovené hypotézy nelze tvrdit, že ke snížení testovaných podmínek docházelo vlivem zvukové stimulace. Této skutečnosti by bylo možné v následujících studiích předejít randomizovaným pořadím podmínek se zvukovou stimulací, kterým budou testování probandů vystaveni.

5.3 Návrhy na zlepšení pro podobné budoucí testování zdravých probandů

Za limitaci této studie může být považován malý vzorek testovaných probandů, které nedovoloval normálové rozvržení ve všech testovaných parametrech. Zároveň docházelo-li k variabilním reakcím probandů na testované zvukové stimulace, nelze tedy určit, zda zjištěný výsledek platí pro celou skupinu testovaných probandů. Stejně tak rovnoměrnější věkové zastoupení jednotlivých probandů může mít vliv na celkové výsledky. V této práci se většina probandů pohybovala ve věkovém rozmezí mezi 20–35 lety, pouze dva probandi tuto věkovou hranici překračovali, a to věkem 35 let a 55 let. U probanda ve věku 55 let dosahovaly průměrné hodnoty testovaných parametrů mnohem vyšších výsledků, než tomu bylo u zbytku probandů, což může opět potvrzovat myšlenku, že s vyšším věkem dochází fyziologicky ke zhoršení funkce systémů, které se stability stoje účastní, pro potřeby této práce hlavně sluchu (Campos et al.). Stejně jako studie Ross et al., ve které docházelo u probandů nižšího věku k většímu snižování posturálních výchylek za zvukové stimulace než u probandů věku vyššího. Objektivizace stavu sluchového ústrojí by byla možná, pokud by před stabilometrickým vyšetřením každý proband podstoupil audiometrické vyšetření.

Dalším důležitým aspektem, jak předejít nejednoznačnosti výsledků by mělo být randomizované pořadí zvukových stimulací, aby bylo možné rozlišit, zda pozorujeme pokles testovaných parametrů kvůli zvukovým stimulacím nebo dochází k postupnému navykání na situaci, které je proband vystaven. K postupnému navykání probandů na stoj se zavřenýma očima na měkké podložce s největší pravděpodobností došlo v této práci, tudíž nebylo možné zhodnotit vliv sluchových vjemů na stabilitu stoje.

Další modalitou, kterou by bylo možné ovlivnit výsledky testování by mohlo být umístění a počet zdrojů zvuku využívaných ke zvukové stimulaci testovaných probandů. V této studii byl použit jeden zdroj zvukové stimulace umístěný přibližně ve výšce probandovy brady, a to přímo před ním. Vitkovic et al., došly k výsledku, kde vykazovaly zdravý probandi tím větší posturální výchylky, čím méně dostávali zvukových podnětů. Stevens et al. využívají při testování 4 reproduktorů, které jsou umístěny okolo testavných probandů, v tomto rozmístění pozorovali zlepšení posturální stability probandů. Také při studii s nevidnými probandy, dosahovali testování největšího zmenšení posturálních výchylek při 2 zdrojích zvukové stimulace, a to každý umístěný vedle jednoho ucha probanda (Easton et al., 1998). Neoptimálnějším řešením se tedy ukazuje rozmístění podobné tomu ve studii Stevens et al. (Obrázek 4).



Obrázek 4 Návrh rozložení zdrojů zvukové stimulace. Zdroj: Stevens et al., 2016

Ke zpřesnění výsledků by mohlo dále přispět využití zvukotěsných sluchátek nebo zvukotěsné místnosti při testování podmínky s vyřazením sluchových vjemů jako tomu bylo ve studiích Vitkovic et al., Kanegaonkar et al. a Ross a Balasubramaniam. Neboť některým probandům testovaných v této práci nevyhovovaly zvolené typy špuntů do uší a měli problém s jejich správným nasazením, není tedy jisté, zda docházelo k úplnému vyřazení sluchového ústrojí při vlivu na stabilitu stoje.

Ross a Balasubramaniam z výsledků své studie přisuzují stabilizační vliv stimulaci bílým šumem, tomu výsledky této práce odporují, ačkoli u některých probandů docházelo ke snížení výchylek při tomto typu stimulace. Maheu et al. využívali při svém testování zvukovou stimulaci šumem růžovým, u kterého ke změnám posturálních výchylek nedocházelo. Růžový šum je šum, při kterém se mění intenzita dle frekvence zvuku tak, aby energie všech frekvencí byla stejná, bílý šum můžeme definovat jako směs různých frekvencí, ale o stálé intenzitě. Ukazuje se tedy, že výsledky změn posturálních výchylek jsou závislé také na typu zvoleného zvuku, proto by v dalších studiích mohl být zařazen i šum růžový, pro ověření výsledků studie Maheu et al.

V některých dalších studiích bylo využíváno jiného časového úseku, po který byli probandi zvukové stimulaci vystaveni, než tomu bylo v této. V této studii bylo využito 30 s intervalu, stejně jako v pracích Ross a Balasubramaniam a Kanegaonkar et al., 20 s intervaly využívali Melo et al, ale pouze k testování bez zvukové stimulace. Ve studiích Vitkovic et al. a Maheu et al. bylo využíváno zvukové stimulace po dobu 60 s, tento časový interval je totožný, ale výsledky jejich prací jsou ve vzájemném rozporu. Tudíž další modalitou, která ovlivňuje výsledné hodnoty je čas. V dalších studiích by bylo možné pokusit se nalézt optimální časový interval trvání zvukové stimulace.

Stejně tak otestovat zvukovou stimulaci v pozici s otevřenými očima, kdy v pracích Kanegaonkar et al. a Ross a Balasubramaniam, probandi dosahovali nejlepších výsledků právě v kombinaci sluchové stimulace s otevřenými očima. Maheu et al. pozorovali rozdíl mezi testováním se zvukovou stimulací a bez ní a otevřenými očima, kdy při vyřazení sluchové stimulace docházelo k mnohem vyšší vizuální závislosti testovaných probandů.

Dalším rozšířením této práce by mohlo být porovnání stabilometrického testování se zvukovou stimulací vzájemně si podobných populací zdravých probandů, probandů se sluchovým deficitem a probandů s deficitem vestibulárního ústrojí. Stejně jako tomu bylo ve studiích Vitkovic et al., Stevens et al., a Maheu et al. Výsledky těchto studií ukazují, že k významnějšího snížení posturálních vychylek za využití zvukové stimulace dochází u testovaných probandů s deficitem sluchovým či vestibulárním než tomu je u probandů zdravých.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo shrnutí dosavadních poznatků o vlivu sluchu na stabilitu stoje a ověření tohoto vlivu.

Teoretická část shrnuje přehled dosavadních poznatků o sluchovém ústrojí, jeho anatomii a fyziologii, dále poznatky o dalších systémech účastnících se na udržování stability stoje. V neposlední řadě shrnuje poznatky dosavadních studií zabývajících se touto problematikou, které ukazují, že sluchový deficit vede ke zvětšení posturálních výchylek. Zároveň lze pozorovat větší vliv zvukové stimulace na probandy s nějakým druhem deficitu (sluchovým či vestibulárním) než na probandy bez tohoto deficitu. Zda má zvukové stimulace vliv na stabilitu stoje zdravých probandů nelze jednoznačně určit, neboť dosavadní studie, které se tímto vlivem zabývaly, došly k rozdílným výsledkům.

V praktické části byly zhodnoceny výsledky stabilometrického testování 16 vybraných probandů za zvukové stimulace. U probandů došlo ke snížení trajektorií posturálních výchylek, a to celkových i v mediolaterálním směru, stejně tak celkové velikosti posturálních výchylek, což je v souladu s předešlými pracemi (Vitkovic et al., Kanegaonkar et al., Ross a Balasubramaniam). Rozdíly v těchto parametrech dosáhly statistické významnosti, tudíž potvrdily zvolené hypotézy.

Ačkoliv se v praktické části podařilo stanovené hypotézy ověřit, nelze s určitostí tvrdit, že má sluch vliv na stabilitu stoje. Tedy, že dochází ke snížení trajektorie posturálních výchylek celkové, v mediolaterálním směru a celkové velikosti posturálních výchylek pod vlivem zvukové stimulace, neboť korelace těchto podmínek s časem ukazuje, že dochází k postupnému navykání na situaci, ve které byli probandi testování. Tato korelace byla statisticky významná u 2 ze 3 testovaných parametrů (SP - total, SP - ML).

REFERENČNÍ SEZNAM

AMBLER, Zdeněk, 2011. *Základy neurologie*. B.m.: Galén. ISBN 978-80-7262-707-3.

ANTON, Kristina, Arne ERNST a Dietmar BASTA, 2021. A static sound source can improve postural stability during walking. *Journal of vestibular research : equilibrium & orientation* [online]. **31**(3), 143–149. ISSN 1878-6464 (Electronic). Dostupné z: doi:10.3233/VES-200015

BELL, David R, Kevin M GUSKIEWICZ, Micheal A CLARK a Darin A PADUA, 2011. Systematic review of the balance error scoring system. *Sports health* [online]. **3**(3), 287–295. ISSN 1941-0921 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1177/1941738111403122

CAMPOS, Jennifer, Robert RAMKHALAWANSINGH a M. Kathleen PICHORA-FULLER, 2018. Hearing, self-motion perception, mobility, and aging. *Hearing Research* [online]. B.m.: Elsevier, **369**, 42–55. ISSN 0378-5955. Dostupné z: doi:10.1016/J.HEARES.2018.03.025

ČIHÁK, Radomír, 2016. *Anatomie 3*. B.m.: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-5636-3.

EASTON, R D, A J GREENE, P DIZIO a J R LACKNER, 1998. Auditory cues for orientation and postural control in sighted and congenitally blind people. *Experimental brain research* [online]. **118**(4), 541–550. ISSN 0014-4819 (Print). Dostupné z: doi:10.1007/s002210050310

EBRAHIMI, Amir Abbas, Guita MOVALLALI, Ali Ashraf JAMSHIDI, Mehdi RAHGOZAR a Hojjat Allah HAGHGOO, 2017. Postural control in deaf children. *Acta Medica Iranica*. **55**(2), 115–122. ISSN 17359694.

FORBES, Patrick A, Anthony CHEN a Jean-Sébastien BLOUIN, 2018. Sensorimotor control of standing balance. *Handbook of clinical neurology* [online]. **159**, 61–83. ISSN 0072-9752 (Print). Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-63916-5.00004-5

FRIEDRICH, Michaela, Hans-Juergen GREIN, Carola WICHER, Juliane SCHUETZE, Anja MUELLER, Andreas LAUENROTH, Kuno HOTTENROTT a Rene SCHWESIG,

2008. Influence of pathologic and simulated visual dysfunctions on the postural system. *Experimental brain research* [online]. **186**(2), 305–314. ISSN 1432-1106 (Electronic).

Dostupné z: doi:10.1007/s00221-007-1233-4

GANONG, William F., 2005. *Přehled lékařské fyziologie*. B.m.: Grada Publishing. ISBN 80-7262-311-7.

GOEBEL, Joel A, 2008. *Practical management of the dizzy patient*. B.m.: Philadelphia, PA : Lippincott Williams & Wilkins. ISBN 9780781765626.

HACKETT, Troy A, 2015. Anatomic organization of the auditory cortex. *Handbook of clinical neurology* [online]. **129**, 27–53. ISSN 0072-9752 (Print). Dostupné

z: doi:10.1016/B978-0-444-62630-1.00002-0

HAHN, Aleš, 2015. *Otoneurologie a tinitologie*. B.m.: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4345-5.

HAHN, Aleš, 2019. *Otorinolaryngologie a foniatrie v současné praxi*. B.m.: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0572-4.

KANEGAONKAR, R G, K AMIN a M CLARKE, 2012. The contribution of hearing to normal balance. *The Journal of laryngology and otology* [online]. **126**(10), 984–988.

ISSN 1748-5460 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1017/S002221511200179X

KING, Andrew J, Sundeep TEKI a Ben D B WILLMORE, 2018. Recent advances in understanding the auditory cortex. *F1000Research* [online]. **7**. ISSN 2046-1402

(Electronic). Dostupné z: doi:10.12688/f1000research.15580.1

KITTNAR, Otomar, 2011. *Lékařská fyziologie*. B.m.: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-3068-4.

MAHEU, M, L BEHTANI, M NOORISTANI, M S HOUDE, A DELCENSERIE, T LEROUX a F CHAMPOUX, 2019. Vestibular Function Modulates the Benefit of Hearing Aids in People With Hearing Loss During Static Postural Control. *Ear and hearing* [online]. **40**(6), 1418–1424. ISSN 1538-4667 (Electronic). Dostupné

z: doi:10.1097/AUD.0000000000000720

MAHEU, Maxime, Andréanne SHARP, Simon P LANDRY a François CHAMPOUX,

2017. Sensory reweighting after loss of auditory cues in healthy adults. *Gait & posture* [online]. **53**, 151–154. ISSN 1879-2219 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.gaitpost.2017.01.015
- MELO, Renato de Souza, Andrea LEMOS, Carla Fabiana da Silva Toscano MACKY, Maria Cristina Falcão RAPOSO a Karla Mônica FERRAZ, 2015. Postural control assessment in students with normal hearing and sensorineural hearing loss. *Brazilian journal of otorhinolaryngology* [online]. **81**(4), 431–438. ISSN 1808-8686 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.bjorl.2014.08.014
- PETERKA, Robert J, 2018. Sensory integration for human balance control. *Handbook of clinical neurology* [online]. **159**, 27–42. ISSN 0072-9752 (Print). Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-63916-5.00002-1
- PICKLES, James O, 2015. Auditory pathways: anatomy and physiology. *Handbook of clinical neurology* [online]. **129**, 3–25. ISSN 0072-9752 (Print). Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-62630-1.00001-9
- ROKYTA, Richard, 2015. *Fyziologie a patologická fyziologie pro klinickou praxi*. B.m.: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4867-2.
- ROSS, J M, O J WILL, Z MCGANN a R BALASUBRAMANIAM, 2016. Auditory white noise reduces age-related fluctuations in balance. *Neuroscience letters* [online]. **630**, 216–221. ISSN 1872-7972 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1016/j.neulet.2016.07.060
- ROSS, Jessica Marie a Ramesh BALASUBRAMANIAM, 2015. Auditory white noise reduces postural fluctuations even in the absence of vision. *Experimental brain research* [online]. **233**(8), 2357–2363. ISSN 1432-1106 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1007/s00221-015-4304-y
- RUMALLA, Kavelin, Adham M KARIM a Timothy E HULLAR, 2015. The effect of hearing aids on postural stability. *The Laryngoscope* [online]. **125**(3), 720–723. ISSN 1531-4995 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1002/lary.24974
- SEIWERTH, I, J JONEN, T RAHNE, A LAUENROTH, T E HULLAR, S K PLONTKE a R SCHWESIG, 2020. Postural regulation and stability with acoustic input

in normal-hearing subjects. *HNO* [online]. **68**(Suppl 2), 100–105. ISSN 1433-0458 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1007/s00106-020-00846-9

STEVENS, Madelyn N, Dennis L BARBOUR, Meredith P GRONSKI a Timothy E HULLAR, 2016. Auditory contributions to maintaining balance. *Journal of vestibular research : equilibrium & orientation* [online]. **26**(5–6), 433–438. ISSN 1878-6464 (Electronic). Dostupné z: doi:10.3233/VES-160599

VITKOVIC, Jessica, Carmen LE, Su-Ling LEE a Ross A CLARK, 2016. The Contribution of Hearing and Hearing Loss to Balance Control. *Audiology & neuro-otology* [online]. **21**(4), 195–202. ISSN 1421-9700 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1159/000445100

VRABEC, Pavel, 2002. *Rovnovážný systém I - obecná část*. B.m.: Nakladatelství TRITON s.r.o. ISBN 80-7254-307-5.

WICKENS, Brandon, Duncan FLOYD a Manohar BANCE, 2017. Audiometric findings with voluntary tensor tympani contraction. *Journal of otolaryngology - head & neck surgery = Le Journal d'oto-rhino-laryngologie et de chirurgie cervico-faciale* [online]. **46**(1), 2. ISSN 1916-0216 (Electronic). Dostupné z: doi:10.1186/s40463-016-0182-y

WINER, Jeffery A a Charles C LEE, 2007. The distributed auditory cortex. *Hearing research* [online]. **229**(1–2), 3–13. ISSN 0378-5955 (Print). Dostupné z: doi:10.1016/j.heares.2007.01.017

SEZNAM TABULEK

| | |
|---|----|
| Tab. 1 Charakteristika vzorku testovaných probandů..... | 30 |
| Tab. 2 SP total [mm] testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace, kdy N označuje počet..... | 36 |
| Tab. 3 SP-ML [mm] testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace, kdy N označuje počet probandů, SD směrodatnou odchylku..... | 39 |
| Tab. 4 SA [mm ²] testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace, kdy N označuje počet probandů, SD směrodatnou odchylku..... | 41 |
| Tab. 5 Repeated Measures ANOVA: porovnání průměru SP - total u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5), statisticky významné..... | 70 |
| Tab. 6 Post Hoc test porovnání průměru SP - total u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5) vzájemně, *statisticky významné..... | 70 |
| Tab. 7 Repeated Measures ANOVA: porovnání průměru SP- ML u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5),*statisticky významné..... | 71 |
| Tab. 8 Post Hoc test porovnání průměru SP - ML u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5) vzájemně, *statisticky významné..... | 71 |
| Tab. 9 Repeated Measures ANOVA: porovnání průměru SA u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5),*statisticky významné..... | 72 |
| Tab. 10 Post Hoc test porovnání průměru SA u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5) vzájemně, *statisticky významné..... | 72 |

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obrázek 1 Průřez Cortiho orgánem zobrazující vláskové buňky (hair cells) v retikulární lamině se svazky stereocílií (bundles of stereocilia), které sahají k tektoriální membráně (tectoral membrane). Vláskové buňky dělíme na vnitřní (inner) a vnější (outer). Dále zde můžeme vidět Cortiho tunel (tunnel of Corti). Zdroj Pickles, 2015..... 12
- Obrázek 2 Podobný průřez Cortiho orgánem jako na předešlém obrázku (Obrázek 1), tentokrát z elektronového mikroskopu, kdy OHC označuje vnější vláskové buňky, IHC vnitřní vláskové buňky, BM bazilární laminu a TM tektorální membránu, na tomto konkrétním snímku můžeme pozorovat částečný kolaps vnitřních podpurných buněk označený bílou šipkou a odtržení tektorální membrány od retikulární laminy. Zdroj Pickles, 2015 12
- Obrázek 3 Testovaný proband při podmínce stoj vzpřímený bez záklonu hlavy s otevřenýma očima na měkké podložce bez zvukové stimulace. Zdroj: archiv autora.... 33
- Obrázek 4 Návrh rozložení zdrojů zvukové stimulace. Zdroj: Stevens et al., 2016..... 54

SEZNAM GRAFŮ

| | |
|---|----|
| Graf. 1 Průměrné hodnoty SP total u testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace | 36 |
| Graf. 2 Hodnoty SP-total [mm] každého probanda pro jednotlivé podmínky zvukové stimulace | 38 |
| Graf. 3 Průměrné hodnoty SP-ML u testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace | 39 |
| Graf. 4 Hodnoty SP-ML [mm] každého probanda pro jednotlivé podmínky zvukové stimulace | 41 |
| Graf. 5 Průměrné hodnoty SA u testovaných probandů za podmínek zvukové stimulace | 42 |
| Graf. 6 Hodnoty SA [mm ²] každého probanda pro jednotlivé podmínky zvukové stimulace | 43 |
| Graf. 7: Závislost SP – total [mm] na čase [s], kdy na vodorovné ose se nachází průměrné hodnoty SP – total, na svislé čas..... | 44 |
| Graf. 8 Závislost SP – ML [mm] na čase [s], kdy na vodorovné ose se nachází průměrné hodnoty SP – ML, na svislé čas..... | 45 |
| Graf. 9 Závislost SA [mm ²] na čase [s], kdy na vodorovné ose se nachází průměrné hodnoty SA, na svislé čas | 45 |
| Graf. 10 Závislost SA [mm ²] na věku [rok] probanda, na vodorovné ose jsou uvedené průměrné hodnoty SA a na svislé věk..... | 46 |

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|---|----|
| Příloha 1. Informovaný souhlas | 66 |
| Příloha 2. Anamnestický dotazník | 67 |
| Příloha 3. Dotazník Dizziness Handicap Inventory | 68 |
| Příloha 4. Protokol měření | 69 |
| Příloha 5. Výsledky statistického testování měřených veličin | 70 |

PŘÍLOHY

Příloha 1. Informovaný souhlas

Informovaný souhlas s účastí ve výzkumu a se zpracováním osobních údajů

Informace o výzkumu:

Výzkum je prováděn Monikou Pavlovou pod vedením paní As. Mgr. Kláry Kučerové ve Fakultní nemocnici Motol. Výzkum se zabývá vlivem sluchu na stabilitu stoje. Účast nevyžaduje specifické schopnosti, ani nepůsobí zvýšenou zátěží organismu. Při testování bude účastník stát na plošině, která snímá výkyvy jeho těžiště. Měření bude probíhat za 10 různých situací a následně 5 bez a se zvukovou stimulací, vždy po dobu 30 sekund. Podepsáním účastník stvrzuje, že nepoužívá žádnou sluchovou pomůcku a netrpí vestibulárním nebo neurologickým onemocněním, které by ovlivnilo jeho rovnováhu. Účast ve výzkumu je dobrovolná.

Informace o účastníkovi výzkumu:

jméno a příjmení:

datum narození:

kontakt:

Prohlášení

Já níže podepsaný/-á potvrzuji, že

- a) jsem se seznámil/-a s informacemi o průběhu a cíli výše popsaného výzkumu (dále též jen „výzkum“);
- b) dobrovolně souhlasím s účastí své osoby v tomto výzkumu;
- c) rozumím tomu, že se mohu kdykoli rozhodnout ve své účasti na výzkumu nepokračovat;

Zároveň prohlašuji, že

- a) souhlasím se zveřejněním anonymizovaných dat a výstupů vzešlých z výzkumu a s jejich dalším využitím;
- b) souhlasím se zpracováním a uchováním osobních a citlivých údajů v rozsahu v tomto informovaném souhlasu uvedených ze strany Univerzity Karlovy, 2. lékařské fakulty, IČ: 00216208, se sídlem: V Úvalu 84, 150 06 Praha 5, a to pro účely zpracování dat vzešlých z výzkumu;
- c) souhlasím se zveřejněním video, fotodokumentace pořízené při provádění testování pro potřeby bakalářské práce;

Potvrzuji, že jsem převzal/a podepsaný stejnopolis tohoto informovaného souhlasu.

Kde:

Dne:

Podpis:

Příloha 2. Anamnestický dotazník

Využíváte nějakou sluchovou pomůcku?

Podstoupil/a jste někdy vyšetření sluchu? (mimo preventivní prohlídky u praktického lékaře)

Netrpíte nějakým vestibulárním/neurologickým onemocněním, které by mohlo ovlivnit vaši rovnováhu?

Léčíte se dlouhodobě s nějakým jiným onemocněním?

Příloha 3. Dotazník Dizziness Handicap Inventory

Cílem tohoto dotazníku je identifikovat obtíže, se kterými můžete mít zkušenost vzhledem k vašim závratím nebo poruše rovnováhy. Prosím označte „ano“, „ne“ nebo „někdy“ u každé otázky.

| | ANO | NĚKDY | NE |
|--|-----|-------|----|
| 1 Zhoršuje se závrať při pohledu nahoru? | | | |
| 2 Cítíte se kvůli svému problému frustrován? | | | |
| 3 Musel jste pro nemoc omezit cestování? | | | |
| 4 Zhoršuje vaše obtíže nakupování v supermarketu? | | | |
| 5 Máte potíže při uléhání nebo vstávání z postele? | | | |
| 6 Omezuje váš problém účast na společenských aktivitách, jako např.: večeře v restauraci, kino, tanec nebo zábava? | | | |
| 7 Máte kvůli závratí potíže se čtením? | | | |
| 8 Zhoršují váš problém náročnější aktivity jako sport, tanec, domácí práce (zametání nebo uklízení nádobí?) | | | |
| 9 Máte kvůli vašemu problému strach jít ven z domu bez doprovodu další osoby? | | | |
| 10 Přivedl vás někdy váš problém do rozpaků před jinými lidmi? | | | |
| 11 Zhoršuje rychlý pohyb hlavou vaše obtíže? | | | |
| 12 Vyhýbáte se výškám kvůli závratí? | | | |
| 13 Máte potíže při přetáčení těla v posteli? | | | |
| 14 Je pro vás náročné dělat těžké domácí práce nebo práci na zahradě? | | | |
| 15 Máte strach, že si kvůli vašemu problému mohou lidé myslet, že jste opilý/intoxikován? | | | |
| 16 Je pro vás obtížné jít sám bez doprovodu na procházku? | | | |
| 17 Je pro vás obtížné jít sám bez doprovodu po chodníku? | | | |
| 18 Je pro vás těžké se kvůli závratí koncentrovat? | | | |
| 19 Je pro vás obtížné pohybovat se ve tmě po bytě? | | | |
| 20 Máte kvůli svým potížím obavu zůstat sám doma? | | | |
| 21 Cítíte se handicapován kvůli vašemu problému? | | | |
| 22 Je ve vašich vztazích s členy rodiny a přáteli napětí kvůli závratí? | | | |
| 23 Jste depresivní? | | | |
| 24 Ovlivňují závrať/porucha rovnováhy vaši práci nebo domácí povinnosti? | | | |
| 25 Zhoršuje se závrať/rovnováha při předklonu nebo záklonu? | | | |

Příloha 4. Protokol měření

PROTOKOL MĚŘENÍ:

1. stoj s otevřenými očima
2. stoj se zavřenými očima
3. stoj s otevřenými očima se záklonem hlavy
4. stoj se zavřenými očima se záklonem hlavy
5. stoj s otevřenými očima na měkké podložce
6. stoje se zavřenými očima na měkké podložce
7. stoj s otevřenými očima se záklonem hlavy na měkké podložce
8. stoje se zavřenými očima se zákonem hlavy na měkké podložce
9. stoj s otevřenými očima bokem v tandemu
10. stoje se zavřenými očima bokem v tandemu

Po těchto deseti testech následovala krátká přestávka, v další části byli probandi vyšetřováni se zvukovou stimulací.

Výchozí poloha: stoj se zavřenými očima na měkké podložce

1. zvuková stimulace mluveným slovem, kterému proband rozumí
2. bez zvukové stimulace, za vyřazení sluchu pomocí špuntů do uší
3. zvuková stimulace bílým šumem
4. zvuková stimulace mluveným slovem, kterému nerozumí (čínština/finština)
5. zvuková stimulace mluveným slovem se sdělením, kterému rozumí, následně dotazován na otázku týkající se obsahu sdělení.

Otázky:

1. Jakou část těla si zlomil manžel vypravěčky?
2. Kde nastoupili cestující?
3. Jaké roční období příběh zachycuje?

Správné odpovědi:

1. Noha
2. V Berouně
3. Zima

Příloha 5. Výsledky statistického testování měřených veličin

Vzájemný efekt získaných veličin

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-------------------|----------------|----|-------------|------|---------|
| zvuková stimulace | 0.139 | 5 | 0.02781 | 9.17 | *< .001 |
| Residual | 0.227 | 75 | 0.00303 | | |

Tab. 5 Repeated Measures ANOVA: porovnání průměru SP - total u výchozí podmínky stoj se zavřenými očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5), statisticky významné

Post Hoc Comparisons - podmínky zvuková stimulace

| Comparison | | SP total zvuková stimulace | SP total zvuková stimulace | Mean Difference | SE | df | t | p |
|------------|------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------|--------|------|-------|---------|
| baseline | - 1p | | | 0.03210 | 0.0211 | 15.0 | 1.521 | 0.149 |
| | - 2p | | | 0.04769 | 0.0219 | 15.0 | 2.173 | *0.046 |
| | - 3 | | | 0.05341 | 0.0179 | 15.0 | 2.977 | *0.009 |
| | - 4 | | | 0.09207 | 0.0201 | 15.0 | 4.583 | *< .001 |
| | - 5 | | | 0.11777 | 0.0178 | 15.0 | 6.635 | *< .001 |
| 1 | - 2 | | | 0.01559 | 0.0175 | 15.0 | 0.891 | 0.387 |
| | - 3 | | | 0.02130 | 0.0164 | 15.0 | 1.298 | 0.214 |
| | - 4 | | | 0.05997 | 0.0177 | 15.0 | 3.385 | *0.004 |
| | - 5 | | | 0.08567 | 0.0171 | 15.0 | 5.000 | *< .001 |
| 2 | - 3 | | | 0.00572 | 0.0157 | 15.0 | 0.364 | 0.721 |
| | - 4 | | | 0.04438 | 0.0192 | 15.0 | 2.314 | *0.035 |
| | - 5 | | | 0.07008 | 0.0167 | 15.0 | 4.199 | *< .001 |
| 3 | - 4 | | | 0.03867 | 0.0164 | 15.0 | 2.353 | *0.033 |
| | - 5 | | | 0.06436 | 0.0147 | 15.0 | 4.372 | *< .001 |
| 4 | - 5 | | | 0.02570 | 0.0102 | 15.0 | 2.527 | *0.023 |

*Tab. 6 Post Hoc test porovnání průměru SP - total u výchozí podmínky stoj se zavřenými očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5) vzájemně, *statisticky významné*

Vzájemný efekt získaných veličin

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-------------------|----------------|----|-------------|------|---------|
| zvuková stimulace | 0.139 | 5 | 0.02781 | 9.17 | *< .001 |
| Residual | 0.227 | 75 | 0.00303 | | |

Tab. 7 Repeated Measures ANOVA: porovnání průměru SP- ML u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5), *statisticky významné

Post Hoc Comparisons - podmínky zvuková stimulace

| Comparison | | SP – ML zvuková stimulace | SP – ML zvuková stimulace | Mean Difference | SE | df | t | p |
|------------|-----|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|--------|------|-------|---------|
| baseline | - 1 | | | 0.02060 | 0.0219 | 15.0 | 0.942 | 0.361 |
| | - 2 | | | 0.04434 | 0.0241 | 15.0 | 1.839 | 0.086 |
| | - 3 | | | 0.04168 | 0.0201 | 15.0 | 2.079 | 0.055 |
| | - 4 | | | 0.06967 | 0.0236 | 15.0 | 2.953 | *0.010 |
| | - 5 | | | 0.11958 | 0.0247 | 15.0 | 4.842 | *< .001 |
| 1 | - 2 | | | 0.02374 | 0.0189 | 15.0 | 1.254 | 0.229 |
| | - 3 | | | 0.02109 | 0.0178 | 15.0 | 1.183 | 0.255 |
| | - 4 | | | 0.04907 | 0.0174 | 15.0 | 2.815 | *0.013 |
| | - 5 | | | 0.09898 | 0.0170 | 15.0 | 5.819 | *< .001 |
| 2 | - 3 | | | -0.00266 | 0.0185 | 15.0 | 0.144 | 0.888 |
| | - 4 | | | 0.02533 | 0.0205 | 15.0 | 1.236 | 0.236 |
| | - 5 | | | 0.07524 | 0.0162 | 15.0 | 4.637 | *< .001 |
| 3 | - 4 | | | 0.02798 | 0.0186 | 15.0 | 1.508 | 0.152 |
| | - 5 | | | 0.07789 | 0.0170 | 15.0 | 4.591 | *< .001 |
| 4 | - 5 | | | 0.04991 | 0.0113 | 15.0 | 4.402 | *< .001 |

Tab. 8 Post Hoc test porovnání průměru SP - ML u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5) vzájemně, *statisticky významné

Vzájemný efekt získaných veličin

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | p |
|-------------------|----------------|----|-------------|------|---------|
| zvuková stimulace | 0.300 | 5 | 0.0599 | 4.90 | *< .001 |
| Residual | 0.918 | 75 | 0.0122 | | |

Tab. 9 Repeated Measures ANOVA: porovnání průměru SA u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5), *statisticky významné

Post Hoc Comparisons – podmínky zvuková stimulace

| Comparison | | SA zvuková stimulace | SA zvuková stimulace | Mean Difference | SE | df | t | p |
|------------|---|----------------------------|----------------------------|--------------------|--------|------|--------|---------|
| baseline | - | 1 | | 0.02930 | 0.0486 | 15.0 | 0.6035 | 0.555 |
| | - | 2 | | 0.06316 | 0.0428 | 15.0 | 1.4767 | 0.160 |
| | - | 3 | | 0.06515 | 0.0429 | 15.0 | 1.5184 | 0.150 |
| | - | 4 | | 0.08880 | 0.0541 | 15.0 | 1.6410 | 0.122 |
| | - | 5 | | 0.17843 | 0.0426 | 15.0 | 4.1861 | *< .001 |
| 1 | - | 2 | | 0.03386 | 0.0382 | 15.0 | 0.8859 | 0.390 |
| | - | 3 | | 0.03585 | 0.0357 | 15.0 | 1.0052 | 0.331 |
| | - | 4 | | 0.05950 | 0.0398 | 15.0 | 1.4959 | 0.155 |
| | - | 5 | | 0.14913 | 0.0371 | 15.0 | 4.0197 | *0.001 |
| 2 | - | 3 | | 0.00199 | 0.0265 | 15.0 | 0.0750 | 0.941 |
| | - | 4 | | 0.02564 | 0.0414 | 15.0 | 0.6197 | 0.545 |
| | - | 5 | | 0.11527 | 0.0302 | 15.0 | 3.8157 | *0.002 |
| 3 | - | 4 | | 0.02365 | 0.0401 | 15.0 | 0.5902 | 0.564 |
| | - | 5 | | 0.11328 | 0.0269 | 15.0 | 4.2111 | *< .001 |
| 4 | - | 5 | | 0.08963 | 0.0287 | 15.0 | 3.1266 | *0.007 |

Tab. 10 Post Hoc test porovnání průměru SA u výchozí podmínky stoj se zavřenýma očima na měkké podložce a všech podmínek se zvukovou stimulací (1-5) vzájemně, *statisticky významné