

# UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství 2. LF UK a FN Motol

**Bc. Michal Balouš**

## **Vliv telerehabilitace na posturální stabilitu pacientů po operaci vestibulárního schwannomu**

**Diplomová práce**

Praha 2024

Autor práce: Bc. Michal Balouš

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

Oponent práce: Mgr. Klára Kučerová, Ph.D.

Datum obhajoby: 13. září 2024

## **Bibliografický záznam**

BALOUŠ, Michal. Vliv telerehabilitace na posturální stabilitu pacientů po operaci vestibulárního schwannomu. Praha: Univerzita Karlova, 2. Lékařská fakulta, Klinika rehabilitace a tělovýchovného lékařství. Vedoucí diplomové práce doc. PhDr. Ondřej Čákr, Ph.D.

## **Abstrakt**

Teoretická část práce popisuje vestibulární schwannom a jeho léčbu, základní anatomické struktury a neurofyzilogické funkce vestibulárního systému, dále shrnuje poznatky ohledně vestibulární rehabilitace a telerehabilitace. Praktická část diplomové práce se zabývá možností využití telerehabilitace v rámci následné péče pro pacienty po resekci vestibulárního schwannomu.

*Metodika:* V praktické části podstoupilo 10 probandů po resekci vestibulárního schwannomu individualizovaný telerehabilitační program v období po ukončení hospitalizace. Program obsahoval 6 terapeutických intervencí, které byly pomocí videohovoru provedeny pod dohledem fyzioterapeuta. Během první a poslední intervence byly naměřeny hodnoty posturální stability stoje (stoj spojný, tandemový stoj) a chůze (tandemová chůze). Hlavním cílem práce bylo zjistit, zdali je tato skupina pacientů daný program absolvovat. Vedlejším cílem práce bylo sledovat změny ve vývoji posturální stability.

*Výsledky:* Studii dokončilo všech 10 probandů s průměrnou dobou od operace  $36,6 \pm 4,8$  dní. Při testování posturální stability pomocí stoje spojného a stoje na jedné dolní končetině bylo dosaženo maximálního výsledku všemi probandy a má pro tuto skupinu pacientů nízkou rozlišovací schopnost. Během hodnocení posturální stability stoje bylo prokázáno statisticky signifikantní prodloužení času tandemového stoje s pohyby hlavy ( $p < 0,05$ ) a s vyloučením zrakové kontroly ( $p < 0,05$ ), ale u standardního tandemového stoje výsledky nedosahovaly statisticky signifikantních hodnot. U hodnocení posturální stability chůze byly pozorovány statisticky významné výsledky u tandemové chůze ve standardním provedení ( $p < 0,05$ ) i při vyloučení zrakové kontroly ( $p < 0,05$ ).

*Závěr:* Pacienti po resekci vestibulárního schwannomu jsou schopni absolvovat individualizovaný telerehabilitační program. Z naší studie a literatury ostatních autorů

vyplývá, že využití telerehabilitace při poskytování vestibulární rehabilitace během následné péče po resekci vestibulárního schwannomu je efektivní a bezpečné. Do budoucna bude potřeba dalších studií k ověření efektivity telerehabilitace.

### **Klíčová slova**

Vestibulární schwannom, posturální stabilita, telerehabilitace, vestibulární rehabilitace

## **Bibliographical record**

BALOUŠ, Michal. Effect of telerehabilitation on postural stability of patients after vestibular schwannoma surgery. Charles University, 2nd Faculty of Medicine, Department of Rehabilitation and Sports Medicine. Thesis supervisor doc. PhDr. Ondřej Čákr, Ph.D.

### **Abstract**

The theoretical part of the thesis describes vestibular schwannoma and its treatment, the basic anatomical structures and neurophysiological functions of the vestibular system, and summarizes the knowledge regarding vestibular rehabilitation and telerehabilitation. The practical part of the thesis deals with the possibility of using telerehabilitation in aftercare for patients after resection of vestibular schwannoma.

*Methodology:* In the practical part, 10 probands underwent an individualized telerehabilitation program after resection of vestibular schwannoma in the post-hospitalization period. The program consisted of 6 therapeutic interventions, which were delivered via video call under the supervision of a physiotherapist. During the first and last intervention, postural stability of standing (standing joint, tandem standing) and walking (tandem walking) were measured. The main aim of the study was to determine whether this group of patients could complete the program. A secondary aim of the study was to observe changes in postural stability.

*Results:* All 10 probands completed the study with a mean time since surgery of  $36.6 \pm 4.8$  days. While testing postural stability using jointed stance and standing on one lower limb, the maximal results were achieved by all probands and thus the tests have low discrimination quality for this group of patients. During the assessment of postural stability, there was a statistically significant increase in tandem standing time with head movements ( $p < 0.05$ ) and with the exclusion of visual control ( $p < 0.05$ ), but there were no significant improvements in standard tandem stance test. For the assessment of postural stability of gait, statistically significant results were observed for tandem gait in standard performance ( $p < 0.05$ ) and with exclusion of visual control ( $p < 0.05$ ).

*Conclusion:* Our study and the literature of other authors suggest that the use of telerehabilitation in providing vestibular rehabilitation during follow-up care after resection

of vestibular schwannoma is effective and safe. Future studies are needed to verify the effectiveness of telerehabilitation.

**Key words**

Vestibular schwannoma, postural stability, telerehabilitation, vestibular rehabilitation

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

V Praze dne 11. 8. 2024

Bc. Michal Balouš

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval všem, kteří mi umožnili uskutečnit tuto diplomovou práci. Děkuji as. MUDr. Zdeňkovi Fíkovi, Ph.D. za jeho pomoc, rady a možnost provádět výzkumné měření. Děkuji Mgr. Olze Sidorenkové a Mgr. et Ing. Kristýně Trávníčkové za jejich pomoc při oslovování pacientů. Obzvláště děkuji vedoucímu práce panu doc. PhDr. Ondřeji Čákrtovi, Ph. D. za jeho trpělivost, čas a cenné rady během tvorby diplomové práce. V neposlední řadě pak mé rodině a přítelkyni Kateřině, která mě podporovala v rámci celého mého studia.



# OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>2. VESTIBULÁRNÍ SCHWANNOM</b> .....	<b>13</b>
2. 1 Patofyziologie .....	13
2. 2 Klinické příznaky .....	14
2. 3 Diagnostika .....	15
2. 3. 1 Tónová a řečová audiometrie.....	15
2. 3. 2 Vyšetření kmenových evokovaných sluchových potenciálů .....	15
2. 3. 3 Zobrazovací metody .....	16
2. 4 Léčba tumoru.....	18
2. 4. 1 Chirurgická léčba .....	18
2. 4. 2 Konzervativní přístup.....	19
2. 4. 3 Stereotaktická radiochirurgie .....	20
<b>3. STRUKTURY VNITŘNÍHO UCHA</b> .....	<b>21</b>
3. 1 Centrální struktury vestibulárního systému .....	23
3. 2 Akutní porucha vestibulárního systému.....	26
3. 3 Obnova funkce.....	29
<b>4. VESTIBULÁRNÍ REHABILITACE</b> .....	<b>31</b>
4. 1 Virtuální realita a biofeedback ve vestibulární rehabilitaci .....	34
4. 2 Prehabituace gentamicinem.....	34
<b>5. TELEREHABILITACE</b> .....	<b>36</b>
<b>6. CÍLE A HYPOTÉZY</b> .....	<b>38</b>
6. 1 Cíle práce .....	38
6. 2 Hypotézy .....	38
<b>7. METODIKA</b> .....	<b>39</b>
7. 1 Charakteristika souboru .....	39
7. 2 Průběh rehabilitačního programu .....	40
7. 3 Testování .....	43
<b>8. STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ</b> .....	<b>48</b>
<b>9. VÝSLEDKY</b> .....	<b>49</b>
<b>10. DISKUZE</b> .....	<b>53</b>
10. 1 Limitace práce .....	59
<b>11. ZÁVĚR</b> .....	<b>60</b>
SEZNAM ZDROJŮ .....	62

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	74
----------------------	----

## SEZNAM ZKRATEK

BBS	Berg Balance Scale
CNS	Centrální nervová soustava
DGI	Dynamic Gait Index
DHI	Dizziness Handicap Inventory
HIT	Head-Impulse test
MR	Magnetická rezonance
PDP	Počítačová dynamická posturografie
PNS	Periferní nervová soustava
VCR	Vestibulocervikální reflex
vHIT	video Head-Impulse test
VSS-SF	Vertigo Symptom Scale – Short Form
VOR	Vestibulookulární reflex
VSR	Vestibulospinální reflex
VS	Vestibulární schwannom

## 1. ÚVOD

Vestibulární aparát je jedním ze základních systémů zodpovědných za řízení rovnováhy, regulaci svalového tonu a koordinaci pohybu hlavy a očí (Ambler, 2011). Zároveň spolupracuje s dalšími sensorickými ústrojími, konkrétně se zrakovým a propioceptivním. Uvnitř centrální nervové soustavy (CNS) dochází k vyhodnocování aferentních informací z těchto tří navzájem se doplňujících sensorických vjemů, přičemž výsledkem této činnosti jsou složité reflexní děje zajišťující rychlou odpověď na různorodé podněty s úkolem udržet rovnováhu těla v prostoru.

Vestibulární schwannom (někdy také neurinom akustiku) je obvykle benigním tumorem vyrůstajícím z pochvy Schwannových buněk obalujících osmý hlavový nerv – nervus vestibulocochlearis. Je nejčastějším nádorem v oblasti zadní jámy lební (až 90 procent nádorů mostomozečkového koutu). Přestože je samotná nádorová tkáň většinou nezhoubná, přítomnost nádoru s sebou nese mnoho rizik právě kvůli jeho lokalizaci. Může totiž způsobovat útlak mozkového kmene, především dechového centra v prodloužené míše, a tím ohrožovat životně důležité funkce (Gupta et al., 2020). Při nadměrné velikosti je řešením resekce tohoto nádoru, čímž ale dochází k narušení funkce operovaného labyrintu. Pro zmírnění této dysfunkce se využívá vestibulární rehabilitace.

Rehabilitace vestibulárního systému je během hospitalizace pacientů po operaci vestibulárního schwannomu důležitou součástí léčby. Avšak kvůli malému počtu operačních míst není vždy možné zajistit následnou cílenou rehabilitační péči po propuštění do domácího prostředí. V tomto směru by mohl pomoci rozvoj telerehabilitace, čili rehabilitace využívající komunikační přístroje a internet, k jejímuž mohutnému rozvoji vedla nedávná pandemie viru Covid-19. Právě díky těmto výzvám vznikl návrh na vytvoření krátkodobého rehabilitačního plánu pod odborným vedením fyzioterapeuta, který by cvičební jednotku mohl řídit bez své fyzické přítomnosti prostřednictvím videohovorů.

## 2. VESTIBULÁRNÍ SCHWANNOM

Vestibulární schwannom (VS) je nejčastějším tumorem nacházejícím se v mostomozečkovém koutu, ale řadí se mezi nádory periferního nervového systému. Z hlediska invazivního potenciálu jde obvykle o dobře diferencované nádory benigního charakteru, ale ve výjimečných případech může být maligní. Jeho incidence se odhaduje na 2,2 až 5,2 ke sto tisícům obyvatel za rok, s nejvyšší četností (20,6/100 000 obyvatel za rok) u pacientů starších 70 let (Fernández-Méndez et al., 2023; Marinelli et al., 2022; Durham et al., 2022). Celoživotní prevalence vzniku vestibulárního schwannomu přesahuje šanci 1:500 (Marinelli et al., 2022)

Výskyt je v 95 procentech sporadický a pak se nachází pouze unilaterálně. V případě bilaterálního nálezu (zhruba pět procent případů) je vznik zapříčiněn nejčastěji neurofibromatózou typu 2 (Halliday et al., 2017). Jedná se o autozomálně dominantní genetické onemocnění, při kterém dochází k mutaci na 22. chromozomu, která inhibuje tvorbu tumor supresorového genu zvaného Merlin. Tento mechanismus způsobuje růst benigních i maligních tumorů. (Yao et al., 2020; Bachir et al., 2021)

### 2. 1 Patofyziologie

VS vzniká ze Schwannových buněk vestibulární větve n. vestibulocochlearis (VIII. hlavový nerv). Schwannovy buňky jsou periferní glie tvořící myelinové pochvy obalující axony neuronů, které poskytují mechanickou a metabolickou ochranu axonům a zároveň jejich mechanické oddělení od endoneuria. Konkrétněji VS nejčastěji vyrůstá z takzvané Obersteinerovo-Redlichovo zóny, která je definována jako prostor na pomezí centrální a periferní nervové soustavy (Tesařová et al., 2023). Tumor vyrůstá z horní či dolní větve vestibulární části nervu Toto místo je ohraničeno přechodem oligodendrocytů typických pro CNS a Schwannových buněk, které jsou již součástí PNS. Pokud nedojde k aktivaci tumor supresorového genu, nastává porucha reparačních mechanismů nervových vláken, což aktivuje množství cytokinů a růstových hormonů podporující proliferaci buněk. Mezi ně patří vaskulární endoteliální růstový faktor, M2 makrofágy, transformující růstový faktor  $\beta$  podílející se na vzniku vestibulárního schwannomu (Borysenko et al., 2023; Hannan et al., 2022).

## 2. 2 Klinické příznaky

Klinické příznaky a jejich závažnost se liší podle velikosti a lokalizace nádoru. Obecně můžeme říci, že u větších tumorů dochází k vyššímu tlaku na okolní struktury, což vede k závažnější symptomatologii.

Mezi časně příznaky patří jednostranná nedoslýchavost či zhoršení sluchu, jež udává přes 90 procent pacientů (Goldbrunner et al., 2019). Míra ztráty sluchu se odvíjí podle velikosti nádoru a rychlosti jeho růstu (Gurewitz et al., 2022). K jednostranné percepční ztrátě sluchu dochází dle odhadů u 12 až 26 procent pacientů a v 90 procentech má progresivní charakter (Ingelfinger et al., 2021; Wasano et al., 2021).

Tinnitus se objevuje v rozmezí od 46 do 83 procent pacientů s vestibulárním schwannomem (Andersen et al., 2015; Dhayalan et al., 2019; Pialat et al., 2021). Je způsoben mechanickým útlakem struktur vnitřního ucha a může být faktorem predikujícím další růst tumoru (Paldor et al., 2016).

Velké rozmezí v četnosti výskytu příznaků se objevuje u pocitů vertiga, které se vyskytují v 17 až 75 procentech případů. Tento velký procentuální rozdíl pramení z podceňování symptomů pacienty. Dlouhodobý chronicky se opakující pocit závratí se vyskytuje pouze u 3 až 8 procent pacientů a to z důvodu pomalého růstu nádoru, který je dostatečně kompenzován centrálními mechanismy (Goldbrunner et al., 2019; Ingelfinger et al., 2021).

Pocit narušené rovnováhy a nejistoty v prostoru popisuje 83 procent pacientů a výrazně se zhoršuje při snížené viditelnosti (Dhayalan et al., 2019).

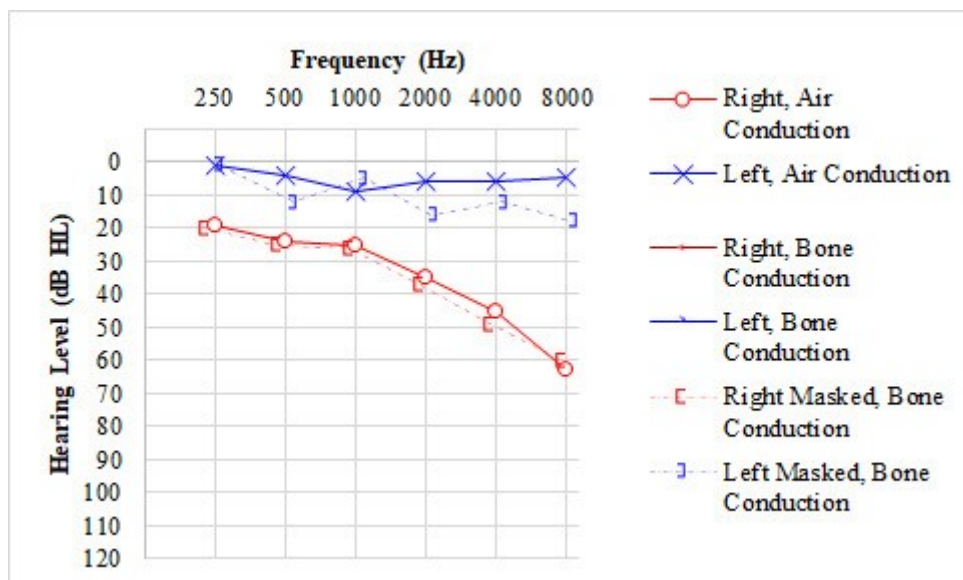
Mezi další méně časté příznaky se řadí neuropatie nervus facialis a nervus trigeminus, dále pak bolesti hlavy, periaurikulární bolesti, ataxie a při velkých tumorech i hydrocephalus a útlak struktur mozkového kmene (Thai et al., 2022).

Jedním z problémů iniciální diagnostiky VS je časté přehlédnutí zmíněných příznaků jak pacienty, tak vyšetřujícími lékaři z důvodu jejich pomalé progresy (Goldbrunner et al., 2019).

## 2. 3 Diagnostika

### 2. 3. 1 Tónová a řečová audiometrie

Audiometrie je diagnostické vyšetření sledující poruchy sluchu u pacientů. Vyšetření je subjektivní a je závislé na spolupráci pacienta. Při tónové audiometrii nejčastěji zjišťujeme hodnoty prahové intenzity. Tyto intenzity se liší v závislosti na frekvenci, proto měříme prahové hodnoty u vícero frekvencí a z naměřených hodnot generujeme takzvanou prahovou křivku (audiogram). Hodnota 0 decibelů představuje na audiogramu hlasitost zvuku, kterou jsou lidé schopni zaznamenat v 50 procentech případů. Za patologický nález se považují hodnoty převyšující 25dB (Salmon et al., 2023).

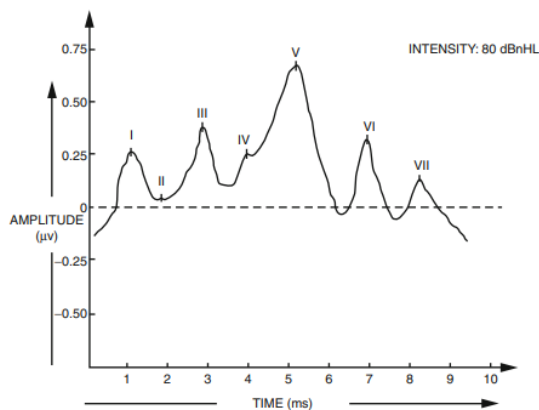


Obrázek 1: Audiogram u zdravé strany (modrá) a audiogram u VS (červená), (Salmon et al., 2023)

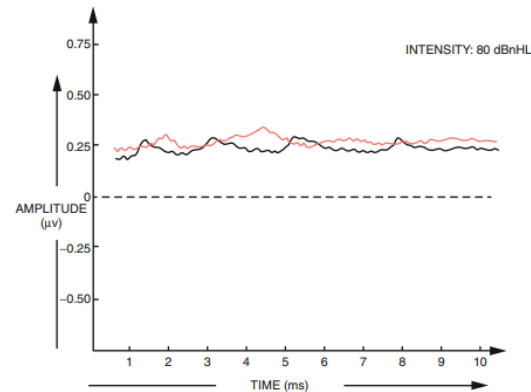
### 2. 3. 2 Vyšetření kmenových evokovaných sluchových potenciálů

Je objektivní metoda vyšetření poruch sluchu. Principem je snímání biochemických signálů vytvořených jako odpověď na zvukový stimul. Při vyšetření se sleduje průchod těchto impulzů sluchovou dráhou a hledají se případné léze v jejím průběhu. Výhodou metody je možnost odhadnout lokalizaci poškození sluchové dráhy bez nutnosti spolupráce pacienta. Při testování je zaznamenáváno sedm vln, které vznikají jako odezva na zvukový stimul o vysoké intenzitě (70 až 90 dB). Tyto vlny jsou tvořené změnou v elektrických potenciálech nervových struktur sluchového ústrojí (Deshpande et al., 2013; Park et al., 2022). Vlny jsou přeneseny do grafu a porovnávány s fyziologickými hodnotami.

Patologický nález se vyskytuje u 93,4 procent pacientů s vestibulárním schwannomem (Koors et al., 2013). Pro definitivní stanovení diagnózy není audiometrické vyšetření dostačující a je tak nutné jej verifikovat pomocí zobrazovacích metod (Salem et al., 2019; Cheorge et al., 2022).



Obrázek 2: Fyziologická křivka (Deshpande et al., 2013)



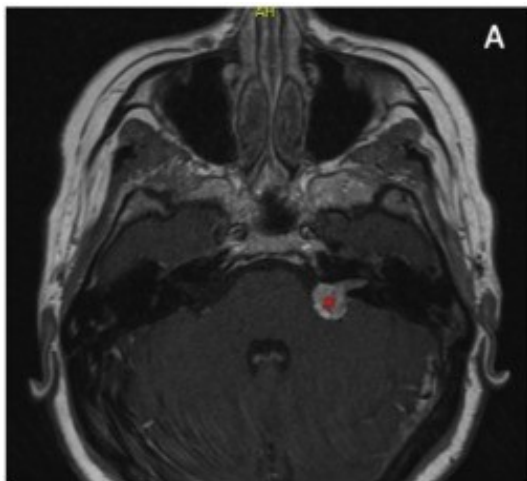
Obrázek 3: Křivka u pacienta s VS (Deshpande et al., 2013)

### 2. 3. 3 Zobrazovací metody

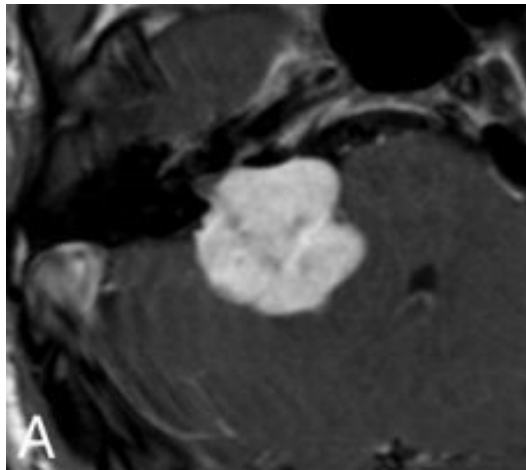
Primární volbou při diagnostice VS je zobrazování pomocí magnetické rezonance (MR). Provádí se T1 i T2 vážené sekvence společně s difúzně váženým zobrazením. Kromě zobrazení nervu na T2 sekvencích je nutné vyloučit ostatní patologie převážně v oblasti prodloužené míchy, které by mohly mimikovat příznaky VS. Za diagnostický standard se považují T1 vážené sekvence po podání gadolinia, jakožto kontrastní látky (Lin a Crane, 2017; Lassaleta et al., 2024).

Počítačová tomografie (CT) může být užitečným předoperačním vyšetřením pro zmapování baze lební a os petrosus (kost skalní) a zvolení vhodného operačního postupu. (Ingelfinger et al., 2021; Goldbrunner et al., 2020).





Obrázek 4: MRI snímek vestibulárního schwannomu (Lassaleta et al., 2024)



Obrázek 5: MRI snímek vestibulárního schwannomu (Lin a Crane, 2017)

Na základě MR snímku se využívají škály hodnotící nádory dle jejich rozsahu a lokalizace. V dnešní době je nejrozšířenějším klasifikačním nástrojem hodnotící škála dle Koose, která byla poprvé zavedena v roce 1993 (Koos et al., 1998). Podle novodobých studií je škála nadále spolehlivou metodou pro hodnocení závažnosti nádoru (Erickson et al., 2019).

Alternativní možností hodnocení vestibulárního schwannomu je Hannoverská klasifikace, která je obdobně spolehlivá. Tumory hodnotí na základě extrameatálního rozšíření a míry komprese mozkového kmene (Atchley et al., 2022).

Stupeň vestibulárního schwannomu	Popis
I	intrameatální, intrakanalikulární šíření
II	šíření do mostomozečkového koutu
III	vyplňuje mostomozečkový kout
IVa	chová se expanzivně, tlačí na kmen, mozeček, tentorium i na postranní smíšený systém
IVb	chová se expanzivně a působí syndrom nitrolební hypertenze s městnáním na očním pozadí

Obrázek 6: Hodnotící škála dle Koose (Kalitová et al., 2019)

Hannover Classification Scale	
T1	Purely intrameatal
T2	Extrameatal extension of tumor but without brainstem contact or filling of CPC
T3a	Tumor fills the CPC but does not contact brainstem
T3b	Tumor fills the CPC and contacts the brainstem without compression or displacement
T4a	Tumor contacts and compresses the brainstem but without fourth ventricular compression
T4b	Tumor significant compresses the brainstem with fourth ventricular compression; with or without associated hydrocephalus

CPC, cerebellopontine cistern.

Obrázek 7: Hannoverská klasifikační škála

## 2. 4 Léčba tumoru

Přestože je incidence tohoto typu benigního nádoru relativně nízká a celosvětově se pohybuje okolo tří až pěti nálezů na sto tisíc obyvatel za rok (Ingelfinger et al., 2021), rizika spojená s růstem nádoru a jeho následným odstraněním vedou k zájmu lékařské společnosti o neustálé zvyšování kvality péče. V dnešní době se resekce tumoru provádí mikrochirurgickou endoskopií nebo pomocí stereotaktické radiochirurgie.

### 2. 4. 1 Chirurgická léčba

V dnešní době má chirurgická endoskopie tři základní možnosti přístupu: translabyrinthární (TL), subtemporální (ST) a retrosigmoidní (RS). Přestože je úspěšnost kompletního vyjmutí tumoru u všech třech typů přístupu téměř stejná, míra rizik a benefitů spojená s jednotlivými možnostmi vyjmutím tumoru se jednoznačně liší (Ansari et al., 2012). Operační odstranění nádoru obecně volíme u grade III a IV tumorů na Koos škále. Případně u menších tumorů, u nichž hrozí riziko cystické degenerace.

Jednou z nejčastějších komplikací operativní léčby vestibulárního schwannomu byla po dlouhou dobu paréza nervus facialis. Obrna tohoto sedmého hlavového nervu, způsobuje poruchu motorické inervace obličejového svalstva a také třmínkového svalu (musculus stapedius). Funkcí musculus stapedius je uvolnění ušního bubínku a při jeho porušení dochází k přecitlivělosti na zvukové vjemy (Ambler, 2011). V dnešní době se pravděpodobnost anatomického zachování nervus facialis podle studií pohybuje od 93 do 98 procent (Samii et al., 2006; Betka et al., 2014), nicméně zachování užitečné funkce tohoto nervu (stupně I až III podle House-Brackmann škály) je dlouhodobě dosahováno u 95 procent pacientů (Betka et al., 2014). Ostatní studie udávají zachovalou dostatečnou funkci u 80 procent v brzké pooperační době (Breun et al., 2019).

Obecně se zachování funkce nervus facialis odvíjí od několika faktorů (Breun et al., 2019). Mezi ty hlavní patří operační přístup v závislosti na velikosti a umístění tumoru. U nádorů o menší velikosti než jeden a půl centimetru v průměru je nejlepší subtemporální přístup (přístup skrze střední jámu lebni). Při použití tohoto přístupu dochází k poškození nervu jen v 3,3 procentech případů, oproti retrosigmoidnímu přístupu, kde je riziko poškození 7,2 procenta (Ansari et al., 2012).

Nevýhodou subtemporálního přístupu je však anatomické uložení nervus facialis, který se nachází před tumorem a je tedy někdy nutná resekce. To je důvodem proč se postoperační komplikace vyskytuje výrazně častěji a to u 17,3 procenta případů, zatímco u RS přístupu se snižuje na 6,1 procent. U tumorů přesahující tři centimetry v průměru je nejlepším přístupem pro zachování funkce nervu opět retrosigmoidní přístup. Dysfunkci nervu nacházíme u zhruba třiceti procent pacientů (Ansari et al., 2012).

Translabryntární přístup se dá použít u nádorů všech velikostí, nevýhodou však je, že dochází ke kompletní poruše funkce vnitřního ucha a tím i nenávratné ztrátě sluchu. Je vhodný v případě již přítomného předoperačního poškození sluchu, protože umožňuje dobrou přehlednost operačního místa bez nutnosti odtažení frontálního či parietálního laloku za současného odhalení umístění nervus facialis ve Fallopově kanálu, čímž se riziko poškození tohoto nervu blíží nule (Ansari et al., 2012).

V dnešní době je díky technologickému pokroku a rozvoji operačních přístupů vynakládána snaha o zachování sluchu pacientů. Podle studie z roku 2015 závisí pravděpodobnost úspěšného uchování na těchto kritériích: velikost nádoru, stádium nádoru (dle Koos škály), předoperační úroveň sluchu, identifikaci kochleárního nervu během operace, použití endoskopické techniky, konzistenci tumoru a absenci adhezí k neurovaskulárním strukturám (Chovanec et al., 2015).

Pro správné zvolení chirurgického přístupu je potřebné uvážit vstupní parametry tumoru, věk, přání pacienta a s tím i možné spojené komplikace léčby. Při úspěšné chirurgické léčbě by měla již od akutní fáze navazovat vestibulární rehabilitace (Herman et al., 1995).

#### **2. 4. 2 Konzervativní přístup**

Je jednou z možností volby při nález asymptomatického tumoru na MR. Terapie, anglicky nazývaná wait and scan, spočívá v observaci růstu tumoru a hodnocení funkce sluchového ústrojí (Germano et al., 2018). Základní podmínkou pro observační přístup je adherence pacientů k terapii.

Na základně obecných doporučení se tímto způsobem řeší tumory, které nepřesahují velikost jednoho a půl centimetru v průměru. Vzhledem k tomu, že není možné jednoznačně

predikovat růst tumoru, je nutné dodržovat pravidelné kontroly. První kontrolu podstupují pacienti šest měsíců po potvrzení primární diagnózy, tak aby bylo možné odhadnout progresi růstu. Pakliže nedojde během této doby ke zvětšení nádoru, opakují se pravidelné kontroly jednou ročně, po pěti letech bez růstu se interval kontrol prodlužuje na dvouletý. Další kontroly je doporučeno podstupovat doživotně. Dle dostupných studií dochází během následujících pěti let k růstu VS zhruba v 50 procentech případů (Goldbrunner et al., 2020).

### **2. 4. 3 Stereotaktická radiochirurgie**

Je léčbou pomocí specificky zaměřených dávek ionizačního záření, které je usměrněné do konkrétní oblasti pomocí počítačové tomografie na základě trojrozměrné rekonstrukce nádoru. Většinou se léčba provádí Leksellovým gama nožem v jedné dávce, nebo v několika menších oddělených dávkách (Goldbrunner et al., 2019). Základním parametrem pro volbu této léčby je tumor nepřesahující třicet milimetrů v průměru (Huang et al., 2018). Za úspěšnou léčbu se považuje zastavení růstu nádoru, čehož je možné dosáhnout v intervalu deseti let po ozařování ve více než devadesáti procentech případů (Ingelfinger et al., 2021; Thai et al., 2022).

Výhodou této metody je neinvazivní přístup a poměrně malé riziko komplikací s vysokou úspěšností zachování funkčně užitečného sluchu, a to i v následujících letech po dokončení léčby (Pialat et al., 2021; Thai et al., 2022). Nevýhodou je, že při léčbě dochází pouze k zastavení růstu a nikoliv k vyjmutí tumoru, jsou tedy potřebné pravidelné kontroly, aby nedošlo k opětovnému nastartování procesu bujení (Huang et al., 2018).

### 3. STRUKTURY VNITŘNÍHO UCHA

Labyrint vnitřního ucha se nachází uvnitř os petrosus (jedna z částí os temporale) a sestává se z kostěných a membránovitých labyrintů. Kostěný labyrint je složen z: polokruhovitých kostěných kanálků, cochle (hlemýždě) a vestibula (předsíně). Uvnitř kostěného labyrintu nacházíme blanitou část, která se vlákny vaziva připojuje ke kostěnému labyrintu. Je obklopena perilymfou, což je tekutina obsahující vysoké množství sodíkových kationtů a je svým složením podobná mezibuněčné hmotě. Naopak vnitřek blanitého labyrintu je vyplněn endolymfou, obsahující vysoké množství draslíkových kationtů a mohli bychom ji tak přirovnat k intracelulární tekutině (Bear et al., 2016).

Vestibulární část labyrintu je složena z otolitových orgánů uvnitř vestibula a polokruhovitých kanálků. Uvnitř labyrintu se nacházejí vláskové buňky sloužící jako hlavní receptory v celém vestibulárním systému (Muller, 2020).

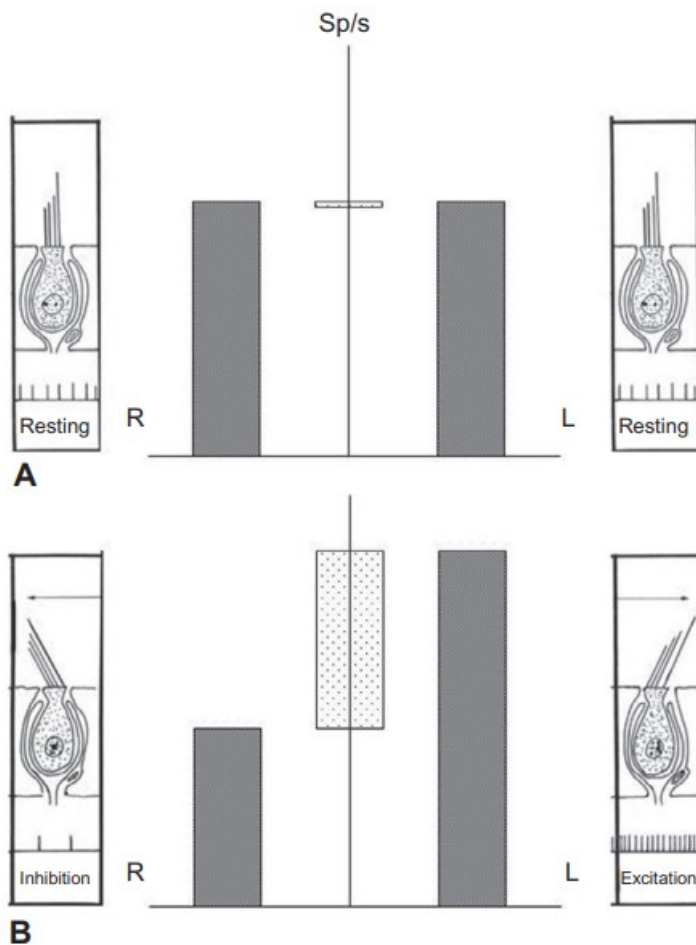
Vláskové buňky jsou cylindrické buňky, ze kterých vystupují nepohyblivé stereocilie. Ty jsou seřazeny podle velikosti od jednoho konce k druhému. Ohybem stereocilií směrem k nejvyšší cíli způsobí zvýšení četnosti impulsů tvořených buňkou nad běžnou hodnotu. Naopak pohybem od nejvyšší cíle dojde ke snížení četnosti impulsů buňky (Fetter, 2016; Herdmann et al., 2014).

Utriculus a sacculus jsou vaky otolitového systému, nesoucí na svých výběžcích vláskové buňky. Tyto buňky jsou pokryty gelatinózní membránou obsahující otokonie, což jsou malé krystalky uhlíčitanu vápenatého. Pohybem otokoní dochází k dráždění vláskových buněk zaznamenávající lineární zrychlení. Maculy jsou na sebe umístěny v kolmé rovině. Macula utriculu zaznamenává zrychlení v transverzální rovině, macula sacculu v rovině sagitální (Bear et al., 2016; Čihák, 2004).

Polokruhovité kanálky jsou 3 na sebe kolmé útvary a svým vzájemným umístěním odpovídají za vnímání pohybů hlavy ve všech třech rovinách. Obsahují receptory zaznamenávající úhlové zrychlení (Muller, 2020). Tyto kanálky jsou vzájemně propojené. Každý kanálek je zakončen rozšířením nazývaným ampula, ve kterém se nachází crista ampullaris skládající se především z vláskových buněk. Tyto cristy jsou obalené gelatinózní membránou – cupolou, která je složena především z mukopolysacharidů a zároveň slouží jako předěl mezi ampulou a vestibulem (Herdman et al., 2014). Při pohybech hlavy dochází

k pohybu endolymfy na opačnou stranu vůči pohybu hlavy, čímž se mění tlak uvnitř kanálku. Změny tlaku způsobí deformaci cupoly a vychýlení vláskových buněk z osy, které na tento stimul reagují změnou svého membránového potenciálu – depolarizací či hyperpolarizací. Tato reakce se dále šíří na přiléhající bipolární neurony vestibulárního nervu a putuje dále do CNS (Čihák, 2004; Herdman et al., 2014).

Polokruhovitě kanálky hrají významnou úlohu při koordinaci vestibulookulárního reflexu (VOR). Fungují jako senzory rychlosti pohybu hlavy, což umožňuje VOR vyvolat pohyb očí, který je shodný s rychlostí pohybu hlavy u frekvencí od 0,05 do 6 Hz (Zuniga a Adams, 2021). Mluvíme tak o gainu VOR, který je v tomto případě roven 1 (Schubert a Migliaccio, 2019). K ideální funkci VOR přispívá anatomické umístění kanálků. Ty jsou rozloženy do rovin odpovídající jednotlivým okohybným svalům, tak aby koordinace sensorického vjemu a motorické odpovědi byla co nejjednodušší (Čihák, 2004; Herdman et al., 2014). Další důležitou vlastností je vzájemné postavení kanálků pravého a levého labyrintu. Přední kanálek levé strany vytváří pár se zadním kanálkem pravé strany. Společně tak vytvářejí funkční pár jedné roviny. Tyto páry jsou v celku tři. Tyto páry jsou uzpůsobeny tak, aby docházelo k facilitaci jednoho kanálku a současné inhibici druhého. Dohromady tento mechanismus zajišťuje fixaci předmětu v zorném poli za současného pohybu hlavy, čímž udržuje stabilitu retinálního obrazu. (Bear et al., 2016; Fetter, 2016; Herdman et al., 2014).



Obrázek 8: Schématické znázornění neurální aktivity (sp/s – počet impulsů za sekundu) vestibulárních nervů obou labyrintů. (A) Příklad při zdravém labyrintu bez pohybu hlavy – symetrické tonické pálení labyrintů. (B) při rotaci hlavy k levé straně dochází ke zvýšení počtu impulsů z levého labyrintu. (Fetter, 2016)

### 3. 1 Centrální struktury vestibulárního systému

Při depolarizaci vláskových buněk dochází k přenosu elektrického potenciálu na bipolární neurony umístěné ve Scarpově ganglionu. Do ganglionu jsou přes jeho krátké dendrity přiváděny informace z macul utriculu, sacculu a cristae ampullaris. Aferentní vlákna odstupující z tohoto ganglionu vytváří nervus vestibularis (Purves et al., 2018). Ten dále přenáší informace z vestibulárního labyrintu do mozkového kmene. Ty přenáší pomocí dvou typů aferentních vláken. První jsou vlákna pravidelná, jejichž tonické frekvence pálení je 90Hz. V závislosti na pohybu hlavy se však frekvence pálení mění o 0,5Hz na 1 stupeň rotace hlavy. To znamená, že při rotaci hlavy s rychlostí 180 stupňů za sekundu dochází ke kompletní inhibici jednoho z vestibulárních labyrintů (Fetter, 2016). Druhá jsou nepravidelná vlákna zvyšující svoji frekvenci pálení při stimulaci pohybu hlavy (Herdman et al., 2014).

Informace jsou prostřednictvím vestibulárního nervu přiváděny do dvou hlavních oblastí – komplexu vestibulárních jader a mozečku. Primárním zpracovatelem informací jsou vestibulární jádra – ty zajišťují rychlou kompenzační motorickou odpověď na aferentní podněty z vnitřního ucha s rychlostí latence okolo 10 ms (Purves et al., 2018). Funkce mozečku je především adaptivní, protože především upravuje centrální zpracování informací v jádrech. Informace přijaté z vestibulárních labyrintů jsou vždy současně zpracovávány se somatosensorickými a vizuálními vjemy (Bear et al., 2016; Fetter, 2016; Herdman et al., 2014).

Komplex vestibulárních jader je složen ze čtyř hlavních jader – nucleus superior, medialis, lateralis a descendens. Jádra jsou umístěna převážně ve Varolově mostu, ale částečně zasahují i do prodloužené míchy. Nucleus superior a medialis se společně podílejí na řízení VOR. Nucleus medialis se také podílí na funkci vestibulospinálního reflexu a koordinuje vzájemný pohyb očí. Ncl. lateralis je hlavním jádrem pro řízení vestibulospinálního reflexu. Ncl. descendens je sice propojen se všemi jádry, ale samostatně nemá primární eferentní výstup. Jádra v mozkovém kmeni jsou mezi sebou kontralaterálně propojena četnými komisurami a vzájemně na sebe působí převážně inhibičně. Pomocí těchto komisur dochází ke vzájemnému porovnávání informací a tím pádem i koordinaci funkčního párování kanálků (Herdman et al., 2014).

Jak již bylo zmíněno, hlavním úkolem VOR je udržet stabilitu retinálního obrazu během pohybů hlavy. VOR je složen ze dvou komponent. Úhlový VOR, který je primárně zajištěn pomocí vjemů z polokruhovitých kanálků a kompenzuje rotaci hlavy. Lineární VOR využívá především vjemy z otolitových orgánů a zprostředkovává informace o poloze hlavy v prostoru (Fetter, 2016; Herdman et al., 2014).

Pro zprostředkování reflexu jsou potřeba tři kroky. Jako první dojde k poslání aferentních impulsů z periferie vestibulárního labyrintu směrem k vestibulárním jádrům (nucleus medialis a superior) a mozečku. Zde dojde ke zpracování všech informací, které posílají eferentní výstup k okulomotorickým jádrům (Fetter, 2016). Přenos signálu z okulomotorických jader prochází skrze Deiterův trakt do ipsilaterálního nervus abducens. Veškerý ostatní přenos prochází skrze mediální longitudální fascikulus k nervus trochlearis a oculomotorius (Herdman et al., 2014).



Vestibulární jádra se zároveň podílejí na udržení rovnováhy pomocí vestibulocervikálního (VCR) a vestibulospinálního (VSR) reflexu. Vestibulocervikální reflex zahrnuje mediální vestibulární jádro, které přes mediální longitudinální fascikulus sahá až do horních segmentů krční míchy. Tento reflex ovlivňuje pozici hlavy v prostoru pomocí aktivace svalů krku. Zároveň komunikuje s VSR (Purves et al., 2018). VSR je mnohem složitější reflexní mechanismus, který je zprostředkován pomocí tří hlavních drah bílé hmoty (Herdman et al., 2014).

Tractus vestibulospinalis medialis začíná v kontralaterálních jádrech – ncl. medialis, superior a descendens (Herdman et al., 2014). Dráha z těchto jader sestupuje bilaterálně k motoneuronům pro axiální svalstvo krku, které aktivuje v závislosti na stimulaci předních polokruhovitých kanálků (například při pádu dopředu). Motorickou reakcí je extenze krční páteře a horních končetin (Purves et al., 2018).

Tractus vestibulospinalis lateralis začínající v ipsilaterálním laterálním vestibulárním jádru přijímá informace především z otolitového systému a mozečku a končí v ipsilaterálním předním rohu míšním (Herdman et al., 2014). Jeho hlavní funkcí je facilitace extenzorových skupin svalů, čímž udržuje rovnováhu a vzpřímené držení těla v závislosti na poloze hlavy v prostoru (Purves et al., 2018).

Tractus reticulo-spinalis je dráha začínající v retikulární formaci a přijímá informace ze všech vestibulárních jader současně se vstupy ze sensorických a motorických systému ovlivňující držení rovnováhy těla v prostoru (Herman et al., 2014). Primárně koordinuje funkcí axiálních a proximálních svalových skupin končetin v rámci míšního oblouku. Příslušné neurony v retikulární formaci současně zahajují dopředné korekce postury, které stabilizují držení těla během probíhajících pohybů (Purves et al., 2018). Je také součástí sestupného aktivačního systému a zároveň je zprostředkovatelem antigravitačních reflexů, kdy facilituje extenzorové svaly dolních končetin (Bear et al., 2016).

Vestibulární jádra mají kromě spojení s mozkovým kmenem také spojení s ventrálně posteriorními jádry thalamu. V thalamu dochází k přepojení axonů směrem do oblastí kortexu pro sensorické zpracování vestibulárních vjemů. Konkrétně do Broadmannovy arey 2v patřící do somatosenzorického kortexu a arey 3a ležící na pomezí centrálního sulcu a a

parietoinsulárního vestibulárního kortexu. Tato oblast je pravděpodobně silně zapojena do vnímání vlastního těla a orientace v prostoru (Purves et al., 2018).

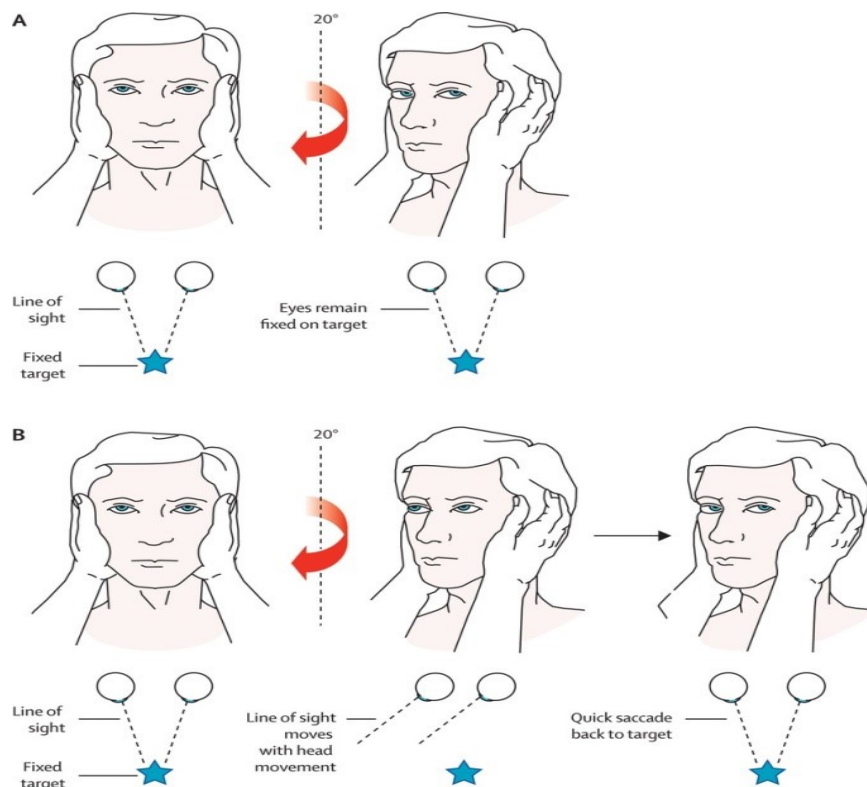
### **3. 2 Akutní porucha vestibulárního systému**

Každá porucha vestibulárního systému vyvolává statické a dynamické dysbalance (Zuniga a Adams, 2021). Při akutní jednostranné poruše vestibulárního systému dochází k narušení tonického pálení neuronů jednoho z labyrintů a kompenzačnímu zvýšení neurální aktivity zdravé strany (Herdman et al., 2014). Do mozku tak kvůli VOR přichází informace, která stále mimikuje rotaci hlavy k jedné straně. Tím pádem dochází k pomalému stáčení očí ke straně léze, kterou přeruší rychlý sakadický pohyb očí ke straně zdravé. Vytvoří se tak typický vestibulární spontánní horizontální nystagmus s torzní komponentou v akutní fázi (Fetter, 2016; Herdman et al., 2014). Vytvořený nystagmus je akcentován při potlačení oční fixace, například použitím Frenzelových brýlí (Fetter, 2016). U kompletních periferních lézí však může dojít k absenci torzní komponenty, která je pravděpodobně potlačena na míšní úrovni VOR. Velikost torzní komponenty je totiž u člověka o polovinu menší než u horizontální a vertikální komponenty. Dalším důvodem může být mechanismus, který ukládá rychlost pohybů hlavy v mozkovém kmeni a prodlužuje tak dobu působení vestibulárních signálů. Převážně totiž stimuluje horizontální VOR, zatímco u vertikálního a torzního VOR se blíží nule (Fetter, 2016).

Se spontánním nystagmem se současně objevuje vertikální strabismus, jakožto reakce na poruchu otolito-okulárních reflexů. Je to porucha souběžnosti vertikálních os oka, která není způsobená parézou okohybných svalů (Fetter, 2016). Oko na straně léze je v orbitě umístěno níže než oko na zdravé straně (Fetter, 2016; Herdman et al., 2014). Objevuje se i sdružená okulární torze směrem ke straně léze až o 15 stupňů. A zároveň dochází k mírné rotaci a úklonu hlavy ke straně postižení (Herdman et al., 2014). Poruchu tohoto otolito-okulického reflexu vyšetřujeme testem subjektivní vertikály, kdy se pacient v temné místnosti (případně pomocí speciálních brýlí) snaží umístit linii do vertikální pozice. Pakliže je odchylka od pravé vertikály větší než tři stupně, můžeme uvažovat o poruše jednoho z labyrintů, s převahou poruchy otolitové části. Dysfunkce se nachází na straně, kde je vertikála posunuta směrem níže (Herdman et al., 2014).

Kromě statických změn dochází také k poruchám dynamických funkcí. Ty jsou charakterizovány změnou dynamických odpovědí vestibulárního systému. Na rozdíl od statických funkcí, jejichž funkce se obnovuje během několika dní, se dynamické funkce obnovují mnohem později (Fetter, 2016). Pakliže přetrvává periferní postižení, nedochází ke kompletní regeneraci a obnova funkce je tak pouze částečná (Herdman et al., 2014; Strupp et al., 2022).

K ověření poruchy VOR se nejčastěji používá Head-Impulse test (HIT). Při jeho provedení pacient fixuje zrak na daný předmět. Vyšetřující následně uchopí pacientovu hlavu a prudkým pohybem ji otočí o 20 stupňů do jedné roviny polokruhovitých kanálků (Zuniga a Adams, 2021). Test je pozitivní, pakliže pacient nedokáže fixovat zrak na předmětu (Herdmann et al, 2014). Zároveň se objevuje rychlý kompenzační sakadický pohyb, tak aby oči rychle zpět zafixovaly předmět (Fetter, 2016). Díky signálům ze zdravého labyrintu je stále možná dobrá funkce VOR ke zdravé straně. Korektivní sakáda se tak objevuje při rotaci na postiženou stranu (Herdman et al., 2014).



Obrázek 9: Head-Impulse test a jeho provedení (Nelson et al., 2009)

Pro objektivizaci a kvantitativní měření odpovědi na tento test se využívá videookulografických brýlí snímající pohyb zornic současně s rychlostí pohybu hlavy – video Head-Impulse test (vHIT). vHIT dosahuje vyšších hodnot senzitivity a specificity než běžný HIT (Starkov et al., 2021). Hlavní sledované parametry jsou VOR gain a odpověď zornic (sakády). Normální odpověď je bez sakád s VOR gainem přibližujícím se 1. vHIT je tak vhodný jako první test pro zhodnocení dynamické funkce polokruhovitých kanálků ve vyšších frekvencích (Zuniga a Adams, 2021).

Kromě HIT se k vyšetření dynamických imablancí využívá Head-shaking nystagmus test. Pro vyvolání nystagmu prudce zatřese se hlavou pacienta 10 až 15krát v horizontální rovině. Pakliže se objeví přetrvávající nystagmus, označujeme test za pozitivní. Pro zvýraznění nystagmu je vhodné použít Frenzlovy brýle. Výhodou testu je velká senzitivita i v případě malých nádorů či lehkých asymetrií (Fetter, 2016).

Ve výsledku tak společně s poruchou VOR dochází k narušení stability retinálního obrazu, což snižuje u pacientů s jednostrannou lézí dynamickou zrakovou ostrost (Starkov et al., 2021). Při pohybech hlavy tak pacienti nejsou schopni fixovat zrak na předmět a vzniká u nich oscilopsie (Bear et al., 2016). K testování se využívají speciální tabulky o šesti řádcích, které pacient nahlas předčítá nejdříve za statických podmínek a poté při pohybech hlavy s frekvencí 2Hz (Gimmon a Schubert, 2019). Při normální funkci labyrintů může dojít ke snížení ostrosti o jeden řádek, jakmile je ztráta vyšší můžeme usuzovat na poruchu jednoho z labyrintů (Fetter, 2016). Tato porucha dynamické zrakové ostrosti se zvláště projevuje při pasivních pohybech hlavy. Zhoršená dynamická zraková ostrost se tak projevuje i v chůzi a vede ke snížení posturální stability chůze (Starkov et al., 2021).

Při akutním porušení jednoho z vestibulárních aparátů dochází také k narušení posturální stability. Pacienti typicky přepadávají na stranu léze. Ke spontánní úpravě dochází během prvního měsíce od nástupu obtíží (Fetter, 2016). Pacienti s jednostrannou poruchou vestibulárního systému mají zvýšenou aktivitu extenzorových skupin kontralaterálně ke straně léze. Při vyřazení somatosenzorických vjemů z dolních končetin se objevují titubace o frekvenci 1 Hz, obdobně tomu tak je i při vyloučení zrakové kontroly (Herdman et al., 2014). Zhoršená posturální stabilita však není vždy spojená s pocitem vertiga (Nam et al., 2018).

### 3. 3 Obnova funkce

Každá porucha vestibulárního systému se projeví deficitem ve statických a dynamických funkcích. Zatímco u statických dysfunkcí je regenerace rychlá a kompletní, u dynamických funkcí je často regenerace pouze částečná a velmi pomalá (Tighilet a Chabbert, 2019). Do obnovy obou základních funkcí vestibulárního systému je zapojeno několik mechanismů. Jedním z nich je buněčná regenerace, která je založena na obnově nervových struktur a případné neuroplasticitě vestibulárního systému (Lacour et al., 2016). Na animálních modelech bylo potvrzené, že dochází k regeneraci vláskových buněk savců, k čemuž pravděpodobně dochází i u člověka (Huang et al., 2022).

Pro kompenzaci statických deficitů dochází k vyvážení excitability obou labyrintů pomocí rekonfigurace odezvy na neurotransmitery (Tighilet a Chabbert, 2019). Přesněji dochází k významnému snížení citlivosti GABA receptorů u ipsilaterálních mediálních vestibulárních neuronů (Dutia, 2010; Lacour et al., 2016). Po tomto vyrovnání aktivity obou labyrintů dochází ke snížení spontánního nystagmu, vertiga a posturální instability ve statických pozicích (Tighilet a Chabbert, 2019).

Regenerace dynamických deficitů často není kompletní. Kompenzačně se tak vytváří substituční mechanismy nahrazující ztracené funkce jinými mechanismy. Prvním mechanismem je senzorká substituce, kdy dochází k reorganizaci CNS tak, aby využívala více vjemy vizuální a somatosenzorické pro udržení posturální stability (Lacour et al., 2016). Druhým mechanismem je behaviorální substituce, kdy pacienti s poruchou vestibulárního systému vytváří kompenzační sákladický pohyb oka nahrazující VOR při rychlých pohybech hlavy (Fetter, 2016; Lacouer et al., 2016; Pogson et al, 2022). Případně centrálně předem naprogramovaný pohyb očí ve směru rotace hlavy (Hall et al., 2022).

VOR je však velmi adaptabilní a to i při kompletní resekci jednoho z labyrintů (Pogson et al., 2022). Při narušeném VOR se aferentní stimuly přicházejí do CNS z vestibulárního systému neshodují s informacemi zaznamenanými zrakovou dráhou. Dochází tak ke skluzu obrazu na sítnici, který je v CNS zaznamenán jako chyba (Rinaudo et al., 2019). Tato chyba je zpracována v Purkyňových buňkách vestibulo-cerebella, které dále posílají signál do buněk flokulárního lobulu cerebella. Z těchto flokulárních buněk je signál posílán do neuronů vestibulárních jader. Pomocí této dráhy dochází k regulaci sensitivity vestibulárních jader na

vestibulární vjemy. Při dlouhodobé expozici dochází ke změnám v synaptickém přenosu a vlastnostech centrálních vestibulárních neuronů přímé dráhy pro VOR (Schubert a Migliaccio, 2019). Mechanismus zpětného vyhodnocování vnímané chyby je primárním stimulem pro adaptaci VOR při vestibulární dysfunkci (Muntaseer Mahfuz et al., 2018).

## 4. VESTIBULÁRNÍ REHABILITACE

V dnešní době rozdělujeme vestibulární rehabilitaci na několik navzájem se doplňujících složek, které směřují k podpoře a urychlení přirozených adaptačních mechanismů. Adaptace je umožněna díky neuroplastickým schopnostem CNS (Herdman et al., 2014).

Vestibulární rehabilitace je účinným nástrojem pro zmírnění subjektivně vnímaných obtíží u jednostranné periferní poruchy vestibulárního systému. Snižuje míru závratí, subjektivně vnímaného handicapu během běžných denních činností (Arnold et al., 2017). Vestibulární rehabilitace zlepšuje funkční zdatnost pacienta, dochází ke zlepšení posturální stability stoje i chůze. (McDonnell a Hillier, 2015). Současně také zlepšuje stabilitu retinálního obrazu během pohybů hlavy u jedinců s vestibulární hypofunkcí (Hall et al., 2022). Nejlepších výsledků rehabilitace dosahuje kombinace adaptačních, substitučních a habituačních cvičení (Arnold et al., 2017).

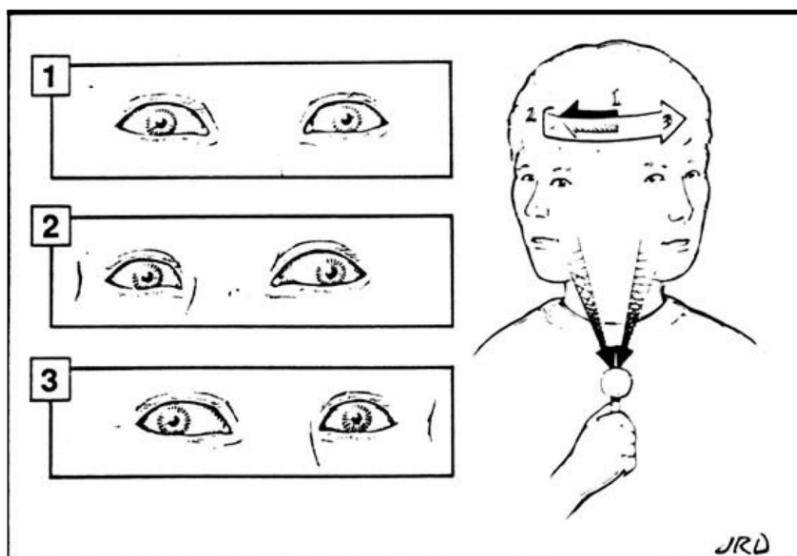
Základem pro úspěšnou vestibulární rehabilitaci je individualizovaný rehabilitační plán, který je sestaven po důkladném vyšetření pacienta. Na základě výsledků vyšetření lze určit převažující funkční deficit pacienta, kterému je následně věnována největší pozornost při praktickém provedení (Hall et al., 2022). Pro zjištění daného deficitu lze využít běžných testů hodnotící funkce pacienta, jeho úroveň aktivit a participace v běžném životě. Pro pacienty s vestibulární dysfunkcí bylo také vyvinuto několik subjektivních dotazníků hodnotící jejich symptomatologii (Hall et al., 2022).

Každý rehabilitační program v rámci vestibulární rehabilitace by měl zahrnovat tyto čtyři složky (Arnold et al., 2017; Eleftheriadou et al., 2012; Fetter, 2016):

1. Cvičení vedoucí ke zlepšení stability retinálního obrazu
2. Habituační cvičení ke snížení symptomů vyskytujících se při změnách polohy a pohybech hlavy
3. Cviky ke zlepšení posturální stability stoje a chůze za různých podmínek zevního prostředí

#### 4. Cviky ke zvýšení svalové síly a kondice pomáhající k udržení celkové fyzické zdatnosti jedince

Cvičení ke zlepšení stability retinálního obrazu jsou založené na adaptačních a substitučních mechanismech VOR (Hall et al., 2022). Základním cvičením je trénink sledovacích očních pohybů. Princip spočívá ve fixaci předmětu při jeho pohybování v prostoru. Pacient se nachází v libovolné pozici a sleduje pohybující se cíl bez souhybu hlavy. Při dobré toleranci se přechází na nácvik sakadických pohybů oka. Během tréninku přeostrňuje pacient z jednoho předmětu na druhý opět bez souhybu hlavy. Pro adaptaci VOR a jeho gainu se využívá cvičení, při kterém pacient fixuje předmět na vzdálenost natažené ruky a současně pohybuje hlavou do všech směrů, tak aby došlo pouze k mírnému rozostření obrazu. Postupně pacient zvyšuje rychlost a frekvenci pohybů hlavou, protože adaptace gainu VOR je frekvenčně selektivní pro hodnoty větší než 0,3 Hz a dochází k ní postupně (Rinaudo et al., 2019). Pokud se předmět nepohybuje, označuje se cvičení jako VORx1. Pokud se zaostřený předmět pohybuje na druhou stranu, než je pohyb hlavy, označujeme cvičení jako VORx2 (Crane et al., 2018). Efektivitu tohoto cvičení při zařazení do programu vestibulární rehabilitace potvrdilo několik studií. Doposud však nebylo jednoznačně potvrzeno, jestli dosahuje lepších výsledků než cvičení na základě habituace (Meldrum et al., 2019).



Obrázek 10: Schématické znázornění cvičení VORx1 (Meldrum et al., 2019)



Dalším teoretickým východiskem pro vestibulární rehabilitaci je proces habituace. Na základě opakovanému vystavení stimulu provokujícího středně velkou symptomatickou odezvu dochází ke snížení citlivost na tento podnět, typicky například u pocitů závratě při pohybech hlavy (Hall et al., 2022). Odlišností habituačních cvičení od tréninku stabilizace retinálního obrazu spočívá v tom, že pacient nemusí upínat svůj zrak do jednoho bodu. Naopak se snaží dosáhnout velkých a rychlých pohybů hlavy, tak aby si vytvářel dostatečnou stimulaci k potlačení symptomů vyvolávaných pohybem. Většinou se začíná s těmito pohyby vsedě, pokud je to však možné, snažíme se tyto habituační cvičení aplikovat postupně ve stoji a chůzi, tedy těžších posturálních situacích (Hall et al., 2022). Efekt habituace je největší při akutních poruchách vestibulárního systému, ale přetrvává i delší dobu po ukončení terapie a to až následujících 8 měsíců (Clément et al., 2008).

U pacientů po resekci VS dochází ke zhoršení stability chůze a stoje, převážně kvůli snížené aferentaci z vestibulárního systému a poruše stability retinálního obrazu. Zhoršení se projevuje rozšířením opěrné báze, zaujetím semiflekčního držení a zpomalením chůze (Herdman et al., 2014). Zároveň mají pacienti s jednostranným vestibulárním deficitem větší výchylky těžiště při běžném stoji a při vyloučení zrakové kontroly jsou více nestabilní (Lacour et al., 2022). Cílem rehabilitace je optimalizovat funkční systémy posturální kontroly. To zahrnuje nácvik práce s těžištěm, trénink anticipatorních a reaktivních posturálních reakcí, multisenzorický trénink a nácvik chůze (Hall et al., 2022).

Poslední složkou rehabilitace je zvýšení celkové kondice pacienta. Pacienti s vestibulárním deficitem často limitují pohybové aktivity. Pro prevenci dekonvice je doporučován pravidelný tréninkový program chůze. Současně je chůze ve vnějším prostředí vhodná pro nácvik přirozených balančních mechanismů během běžných denních aktivit (Herdman et al., 2014).

Z dostupné literatury však doposud není jasné, jaká kombinace přístupu vestibulární rehabilitace je nejvýhodnější. Zároveň doposud není zřejmé jaká frekvence, intenzita a doba trvání dosahuje maximální efektivity. Vestibulární rehabilitace je lepším nástrojem pro snížení míry závratí u pacientů s jednostrannou vestibulární dysfunkcí. Je však efektivní i při léčbě neurologických onemocnění (McDonnell a Hillier, 2015).

#### **4. 1 Virtuální realita a biofeedback ve vestibulární rehabilitaci**

I ve vestibulární rehabilitaci k inovaci nových prostředků pro zlepšení kvality péče, kterou dnes spatřujeme v podobě virtuální reality. S její zvýšenou dostupností dochází k vytvoření počítačových her a simulací podporující procesy adaptace a habituace zábavnější formou. Výhodou oproti běžnému tréninku je reprodukovatelnost nastavení, vyšší stimulace a feedback. Další výhodou je, že díky virtuální realitě lze simulovat situace z běžného denního života (Heffernan et al., 2021). Nevýhodou je samozřejmě dostupnost VR, latence systémů zajišťujících feedback, které ve výsledku mohou způsobovat modifikaci reakcí pacienta oproti realitě (Hazzaa et al., 2023). Čím větší je smyslové pohlčení do virtuální reality, tím vyšší je riziko vyvolání nevolnosti. Vyvolání těchto symptomů je však přirozeným procesem habituace a ve většině případů se upraví do 4 týdnů od započetí rehabilitace (Heffernan et al., 2021). Z doposud dostupných studií můžeme usoudit, že virtuální realita má svoje uplatnění v klinické praxi, protože snižuje míru závratí (DHI, VSS-SF) a zlepšuje posturografické parametry. Její použití s sebou nese pouze velmi mírná rizika, která nejsou dlouhodobého charakteru a je tak bezpečnou alternativou klasického rehabilitačního schématu a to i u starší populace nad 65 let (Hazzaa et al., 2023; Heffernan et al., 2021; Kanyilmaz et al., 2022).

#### **4. 2 Prehabituace gentamicinem**

Při resekci vestibulárního schwannomu dochází k deafferentaci jednoho z vestibulárních labyrintů, což způsobuje pocity závratí a posturální instability. Pro urychlení pooperačního zotavení se využívá předoperační chemické ablace vestibulárního labyrintu. Ta se provádí gentamicinem, což je aminoglykosid původně používaný jako parenterální antibiotikum se značnými ototoxickými účinky. Při jeho intratympanickém podání tak dochází ke ztrátě funkce vestibulárního aparátu. Z tohoto důvodu se využívá k prehabilitaci vestibulárního systému tak, aby došlo k urychlení mechanismu centrální kompenzace po resekci vestibulárního schwannomu. K tomu přispívá i předoperační vestibulární rehabilitační program, který podporuje adaptační mechanismy. Operace je provedena při kompletní ztrátě funkce labyrintu a po dosažení kompenzace VOR (Hrubá et al., 2019).

Účinnost prehabilitace gentamicinem hodnotila systematická review autorů Potdar a Kontorinis (2023) došlo ke statisticky významnému zlepšení parametrů posturální stability a

rychlosti zotavení po předoperačním podání gentamicinu ve 4 z 8 studií. V ostatních čtyřech studiích došlo ke zlepšení oproti kontrolní skupině, nebylo však statisticky významné. Tři z těchto osmi studií udávají dlouhodobé zlepšení posturální stability.

Dostupná data tak podporují využití gentamicinu v prehabilitaci, ale je potřeba dalších výzkumů pro přijetí do běžné praxe (Potdar a Kontorinis, 2023).

## 5. TELEREHABILITACE

Telerehabilitace je odvětví telemedicíny umožňující poskytovat vzdáleně rehabilitační služby prostřednictvím nových telekomunikačních prostředků (Susó-Martí et al., 2021). Virtuální rehabilitace se může odehrávat v reálném čase, jako obousměrná interaktivní komunikace prostřednictvím videohovoru, nebo na základě předem nahraných videí a obrázků s následnou konzultací, pak je označována jako asynchronní forma (Werneke et al., 2021).

Výsledky studií ukazují, že telerehabilitace dosahuje obdobných či lepších výsledků, než konvenční prezenční rehabilitace (Werneke et al., 2021; Seron et al., 2021). A to v rámci vyšetření, managementu bolesti, funkčnosti a edukace (Muñoz-Tomás et al., 2023). Nejlépe prokazatelné zlepšení pozorujeme u muskuloskeletálních a neurologických onemocnění (Susó-Martí et al. 2021). Vzhledem k nízké kvalitě dostupných studií je však potřeba dalšího výzkumu (Werneke et al., 2021). Stejně tak je míra spokojenosti pacientů a jejich adherence k terapiím srovnatelná s konvenční rehabilitací (Muñoz-Tomás et al., 2023). Efektivitu rehabilitace dokládá vysoká míra spokojenosti pacientů na základě měřených parametrů zaměřených na pacienta (Havran a Bidelspach, 2021). Pozitivní vliv virtuální rehabilitace se prokázal i na parametry chůze a posturální stability u obecné populace i neurologických onemocnění (Havran a Bidelspach, 2021). To je pravděpodobně zapříčiněno vyšší četností terapeutických intervencí, což je problémem převážně u neurologických onemocnění (Susó-Martí et al., 2021).

Telerehabilitace je také bezpečnou formou poskytování následné péče po absolvování standardní rehabilitace. Pro pacienta se tak otevírá možnost konzultace zdravotního stavu a zároveň může sloužit jako nástroj k udržení funkčního zlepšení (Muñoz-Tomás et al., 2023). Výhodou je také nízká časová náročnost, snížení finanční zátěže a zvýšená adherence ke cvičení (Werneke et al., 2021). Do budoucna by tak rehabilitace mohla být poskytována v rámci hybridního modelu – konvenční terapie s návazným telerehabilitačním programem jako doprovodnou složkou (Havran a Bidelspach, 2021).

Mezi největší překážky při poskytování telerehabilitačních služeb patří nepřítomnost druhé osoby pro jištění pádu při testování (94%), špatný signál/nedostatečná rychlost signálu (92%), nedostatek technické zdatnosti nebo technického vybavení na straně pacientů (89%)

a omezené možnosti vyšetření pacienta (Harrell et al., 2022). Podle dostupných údajů je však 75 procent lidí ve věku nad 65 let schopno samostatně pracovat telekomunikačními nástroji (Werneke et al., 2021).

## 6. CÍLE A HYPOTÉZY

### 6. 1 Cíle práce

Hlavním cílem práce je zhodnotit možnosti využití telerehabilitace při zajištění distančního rehabilitačního programu pro pacienty po resekci vestibulárního schwannomu.

Dílčím cílem práce je sledovat dynamiku vývoje posturální stability stoje a chůze během účasti v individualizovaném rehabilitačním programu a také zjistit, jestliže je možné provádět distanční testování sledovaných parametrů.

Dalším dílčím cílem práce je zjistit, zdali můžeme navrhnout vhodnou intenzitu terapií v rámci telerehabilitačního programu.

### 6. 2 Hypotézy

**Hypotéza H1:** *Pacienti po resekci vestibulárního schwannomu jsou schopni absolvovat specializovaný telerehabilitační program.*

**Hypotéza H2:** *Specializovaný rehabilitační program využívající telerehabilitaci povede ke statisticky signifikantnímu zlepšení sledovaných parametrů stoje a chůze.*

**Hypotéza H2<sub>A</sub>:** *Specializovaný rehabilitační program využívající telerehabilitaci povede ke statisticky signifikantnímu prodloužení času stoje spojného.*

**Hypotéza H2<sub>B</sub>:** *Specializovaný rehabilitační program využívající telerehabilitaci povede ke statisticky signifikantnímu prodloužení času tandemového stoje.*

**Hypotéza H2<sub>C</sub>:** *Specializovaný rehabilitační program využívající telerehabilitaci povede ke statisticky signifikantnímu snížení počtu chyb tandemové chůze.*

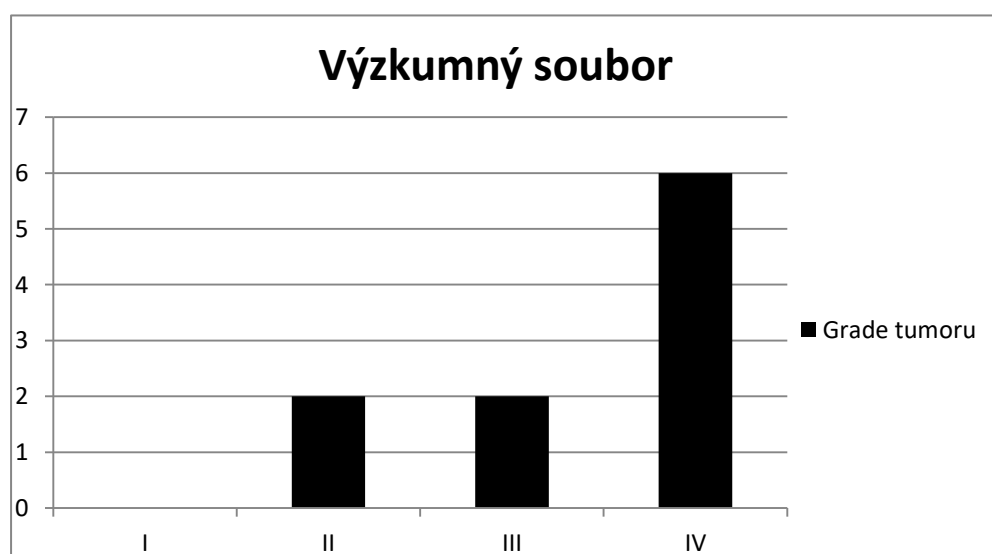
## 7. METODIKA

Praktická část této práce je zaměřena na zkoumání možnosti rozšíření fyzioterapeutické péče o pacienty po operaci vestibulárního schwannomu. Cílem je zjistit, jaká je ochota pacientů podstoupit následnou péči nad rámec standardní rehabilitace po ukončení hospitalizační fáze. Během první a poslední rehabilitační jednotky proběhne testování tak, abychom porovnali vliv rehabilitačního programu na posturální stabilitu stoje a chůze.

Zároveň zde analyzujeme, které testy posturální stability jsou vhodné pro určení míry zdatnosti jednotlivců v brzké posthospitalizační době a je možné je provádět v běžném domácím prostředí pacientů bez nutnosti dalších pomůcek.

### 7. 1 Charakteristika souboru

Pro účely této studie byli osloveni pacienti z Kliniky otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK a FN Motol v období od května 2022 do března 2024 a vyhovovali vstupním kritériím. Zájemcům o participaci ve studii byla nabídnuta účast a během osobního rozhovoru s fyzioterapeutem během návštěvy na oddělení byli seznámeni s podmínkami a principy diplomové práce. Osloveno bylo 19 pacientů splňujících vstupní kritéria, z toho 9 odmítlo účast. 7 z nich nemělo zájem se podílet na výzkumu, 2 probandi neměli dostatečné technické vybavení a technickou zdatnost. Do studie tak bylo nakonec zařazeno 10 účastníků (7 žen, 3 muži). Průměrný věk byl v této skupině  $50,3 \pm 9,1$  let. Věkový rozptyl pacientů byl od 39 do 67 let.



Graf 1: Četnosti grade tumorů výzkumného souboru

Ve výzkumném souboru se vyskytovalo šest grade IV tumorů, dva grade III a dva grade II tumory dle Koosovy škály. Ve výše uvedeném grafu jsou zaznamenány jednotlivé stupně v závislosti na četnosti.

Vstupní kritéria:

- Pacienti po resekci vestibulárního schwannomu
- Věk nad 18 let
- Schopni využívat moderní technologie
- Schopni samostatného stoje a chůze

Vylučovací kritéria pro probandy:

- Další neurologická onemocnění v anamnéze (vyjma pooperačních komplikací nervus facialis)
- Další onemocnění mající vliv na posturální stabilitu stoje
- Odmítnutí účasti na studii

## **7. 2 Průběh rehabilitačního programu**

Rehabilitační program byl po dohodě s účastníky zahájen během prvních dní po návratu do domácího prostředí. Studii dokončilo všech 10 probandů. Průměrná doba dokončení rehabilitačního programu od operace byla  $36,6 \pm 4,8$  dní. Nejčastějším důvodem pro prodloužení doby k dokončení bylo krátkodobé onemocnění, kvůli kterému bylo nutné odložit rehabilitační jednotku (nejdéle 5 dní). Během rehabilitačního programu byli pacienti instruováni ke každodennímu cvičení i během dnů, kdy nebyl naplánovaný videohovor s fyzioterapeutem.

Celkově podstoupili všichni účastníci šest rehabilitačních jednotek, jejichž doba se pohybovala od 25 do 35 minut v závislosti na míře únavy a schopnostech daného jedince. Během prvního a posledního sezení proběhlo testování posturální stability, po kterém následovala zkrácená verze rehabilitační jednotky (blíže popsané v následující kapitole). V závěru každé rehabilitační jednotky proběhla krátká rekapitulace prováděných cviků



s individualizovanými doporučeními pro samostatné domácí cvičení, které bylo každému probandovi doporučeno provádět dvakrát denně po celkovou dobu cvičení 30 minut.

Rehabilitační program byl zkonstruován tak, aby zahrnul cvičení k ovlivnění těchto složek:

1. Zlepšení zrakové ostrosti a stability retinálního obrazu
2. Zvýšení stability stoje a chůze
3. Rozvoj koordinace a síly
4. Podpora kompenzačních a habituačních mechanismů CNS

Konkrétní rehabilitační jednotka vždy obsahovala krátké zahřátí v rámci prvních pěti minut terapie. Pacienti zde prováděli jednoduché dynamické protažení a cviky pro zvýšení mobility. Hlavní část vždy zahrnovala adaptační cvičení pro zvýšení gainu VOR – přesněji se začínalo cvičením VORx1 a při dobré toleranci se postupně přecházelo ve cvičení VORx2, u kterého probandi zrakem fixovali jimi zvolený předmět schválený fyzioterapeutem. Další součástí terapie byl trénink plynulých sledovacích očních pohybů. Nácvik sakadických pohybů oka byl prováděn na základě pokynů terapeuta, tak aby pacienti museli rychle reagovat na zvolený předmět a došlo tak ideálně k mimikování podmínek běžného denního života. Terapeutická intervence byla zaměřena i na nácvik dynamické zrakové ostrosti, při které si pacienti připravili dostatečně velký text, který nahlas předčítali za současných pohybů hlavy v sagitální či transverzální rovině. Poté následovala část nácviku stability stoje a chůze. Zde prováděli probandi různé statické pozice i dynamické cvičení volené tak, aby byly postupně kladeny vyšší nároky na udržení posturální stability jedinců. Pro trénink chůze byly voleny různé modifikace, jako například překračování předmětů, chůze pozpátku nebo tandemová chůze. Habituační cvičení, bylo prováděné tak, aby docházelo ke zvýšení tolerance pohybů vyvolávajících pocity závratě. Toto cvičení bylo prováděno na konci hlavní fáze tak, aby v případě vzniku symptomů bylo možné lekci dokončit. Během terapeutického programu však k takové situaci nedošlo. Na konci každé jednotky proběhla krátká cool-down fáze, během které prováděli pacienti krátké vydýchání a statické protažení. Během toho měli možnost se ptát na doplňující otázky ohledně cvičení či jejich diagnózy. Zároveň

fyzioterapeut provedl krátkou rekapitulaci terapeutické jednotky s doporučením cviků pro následné domácí cvičení.



Obrázek 11, 12: Ukázka cvičení VORx2

### 7. 3 Testování

Testování probíhalo vždy na první a poslední rehabilitační jednotce, která se uskutečnila na bezplatné platformě Google Meets. K tomu byli účastníci studie předem informováni, aby si založili účet Google. Při prvním připojení bylo možné využít telefonické asistence fyzioterapeuta. Po vyloučení exkluzivních kritérií proběhla krátká instruktáž účastníků o průběhu měření. Samotné testování trvalo v rozmezí 10 až 15 minut v závislosti na dosažených výsledcích jednotlivých testů. Během testování byla průběžně zaznamenávána data do tabulky vytvořené v programu Microsoft Excel. Při měření časových údajů bylo testování započaté odpočtem fyzioterapeuta s následným spuštěním digitálních stopek.

K testování posturální stability byly měřeny následující parametry:

- Stoj spojný
  - Standardní
  - S pohyby hlavy
  - S vyloučením zrakové kontroly



Obrázek 13: Stoj spojný



Obrázek 14: Stoj spojný s pohyby hlavy

- Tandemový stoj
  - Standardní
  - S pohyby hlavy
  - S vyloučením zrakové kontroly



Obrázek 15: Tandemový stoj

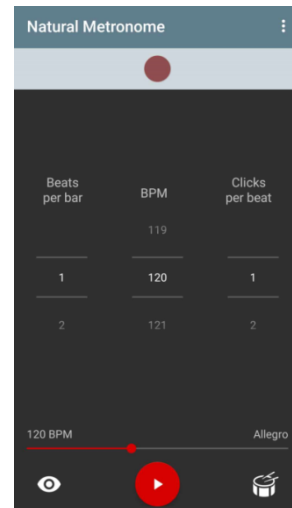
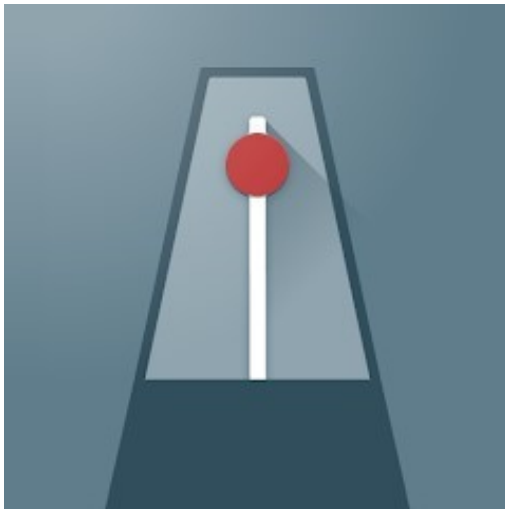


Obrázek 16: Tandemový stoj s pohyby hlavy

- Stoj na 1 dolní končetině

Každý test byl měřen na čas pomocí digitálních stopek, přičemž maximum bylo stanoveno na 30 s. Při každém prováděném testu měli probandi vždy tři pokusy, ze kterých byla vybrána nejvyšší hodnota. K přerušení testu došlo, pakliže se probandi dopustili jedné z následujících chyb: vykročení z opěrné báze, využití horní končetiny k udržení stability zachycením okolního prostředí, porušení rytmu určeného metronomem při testech s pohyby hlavy.

Pro objektivizaci testování parametrů s pohyby hlavy byla použita mobilní aplikace Natural Metronome.



Obrázek 17, 18: Mobilní aplikace Natural Metronome

K hodnocení stability chůze byly využity následující testy:

- Tandemová chůze
  - Standardní
  - S vyloučením zrakové kontroly

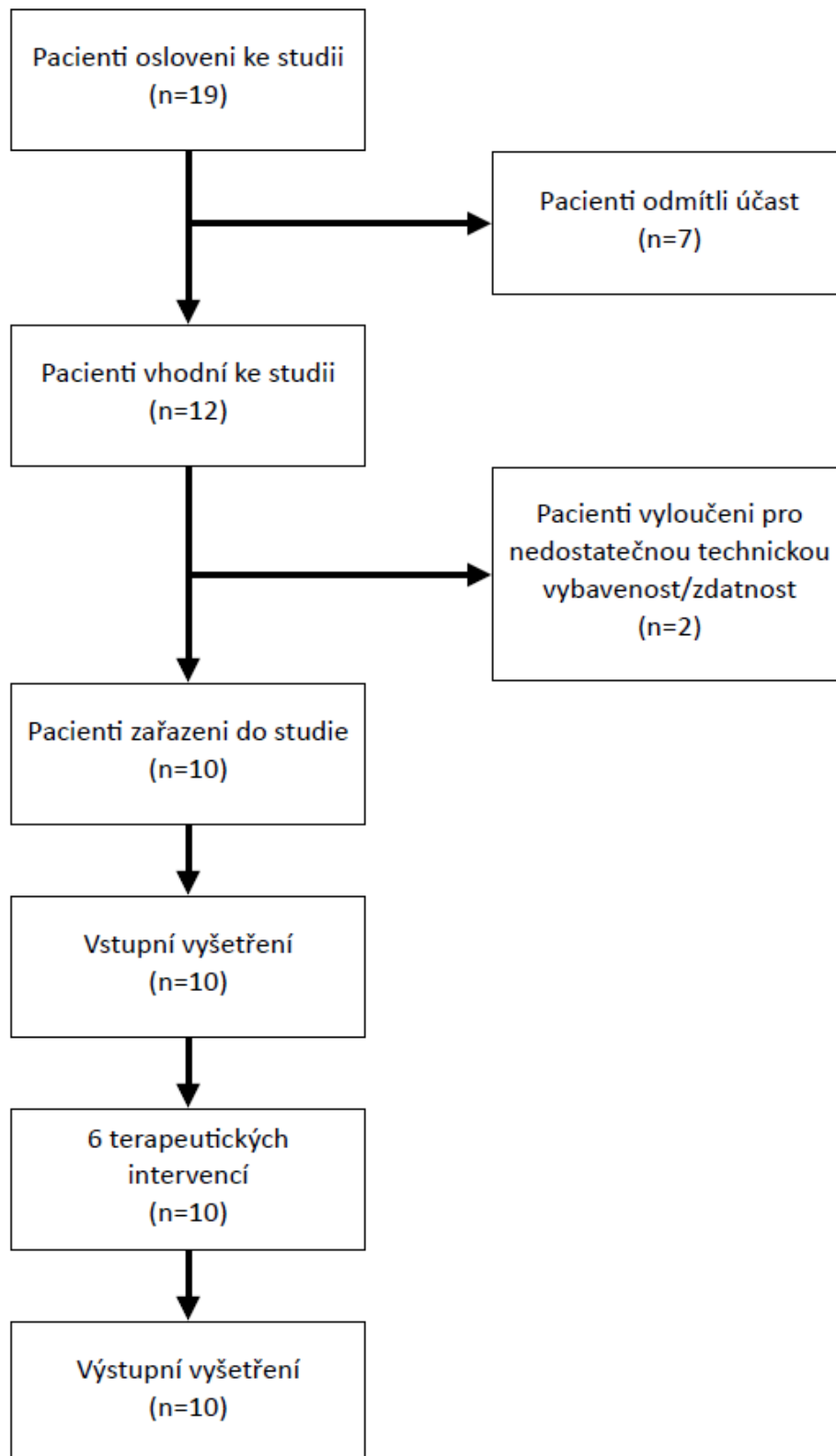
V tandemové chůzi byl hodnocen počet chyb, kterých se pacient dopustil během 20 kroků. Tandemová chůze byla prováděna po dvou sériích o deseti krocích po přímé linii určené na zemi. Při chůzi bylo dbáno na správné provedení, aby účastníci pokládali nohy v přímé linii a vždy došlo ke kontaktu paty se špičkou druhé nohy. Jako chyba se počítá vykročení z této linie, zachycení okolního prostředí pomocí horní končetiny, případně pokud nedošlo ke kontaktu paty se špičkou. Pacientům nebyl určen časový limit pro splnění úkolu, rychlost chůze si tak mohli zvolit sami podle preference.



Obrázek 19: Tandemová chůze



Obrázek 20: Tandemová chůze s pohyby



## 8. STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Všechna data z měření byla zaznamenávána do tabulky Microsoft Excel. Výsledky byly zpracovány v programu R. Pro porovnání výsledku prvního a druhého měření byl použitý párový Willcoxonův test. Hodnoty  $p < 0.05$  byly interpretovány jako statisticky významné.



## 9. VÝSLEDKY

**Hypotéza H1:** *Pacienti po resekci vestibulárního schwannomu jsou schopni absolvovat specializovaný telerehabilitační program.*

Do rehabilitačního programu vstoupilo 10 probandů a všichni z něj úspěšně dokončili rehabilitační program. Doba dokončení rehabilitačního programu se pohybovala mezi 31 až 48 dnů od operace. Všechny rehabilitační jednotky byly bez komplikací dokončeny u všech probandů. Dva pacienti oslovení do studie nebyli schopni rehabilitační program podstoupit z důvodu nedostatečné technické vybavenosti a zdatnosti.

Počet probandů	Úspěšně dokončilo	Průměrná doba ukončení (dny od operace)
10	10 (100%)	36,6 ± 4,8

Vzhledem ke stoprocentnímu dokončení rehabilitačního programu, během kterého se neobjevily žádné komplikace, můžeme hypotézu **H1** potvrdit.

**Hypotéza H2:** *Specializovaný rehabilitační program využívající telerehabilitaci povede ke statisticky signifikantnímu zlepšení sledovaných parametrů stoje a chůze.*

Ke zhodnocení jestli došlo ke statisticky významné změně v testovaných parametrech posturální stability byl použit párový Willcoxonův test, který porovnával hodnoty získané při vstupním vyšetření získaném na první terapeutické jednotce s výsledky změřených při poslední (šesté) intervenci.

**Hypotéza H2<sub>A</sub>:** *Specializovaný rehabilitační program využívající telerehabilitaci povede ke statisticky signifikantnímu prodloužení času stoje spojného.*

Z celkového množství 10 probandů všichni dosáhli maximální možné hodnoty ve všech variantách stoje spojného (30 s), které si zachovali i při poslední kontrole. Stejně tak i u testovaného stoje na jedné dolní končetině. Můžeme tak říci, že tyto zvolené testy mají nízkou rozlišovací schopnost, protože všichni účastníci dosáhli takzvaného efektu stropu.

Stoj spojný	Před	Po	Zdravá populace
Standardní (s)	30	30	30
S pohyby hlavy (s)	30	30	30
S vyloučením zrakové kontroly (s)	30	30	30

Vzhledem k dosaženým výsledkům lze vidět, že nemohlo dojít ke zlepšení daných parametrů a můžeme tak hypotézu **H2<sub>A</sub>** zamítnout.

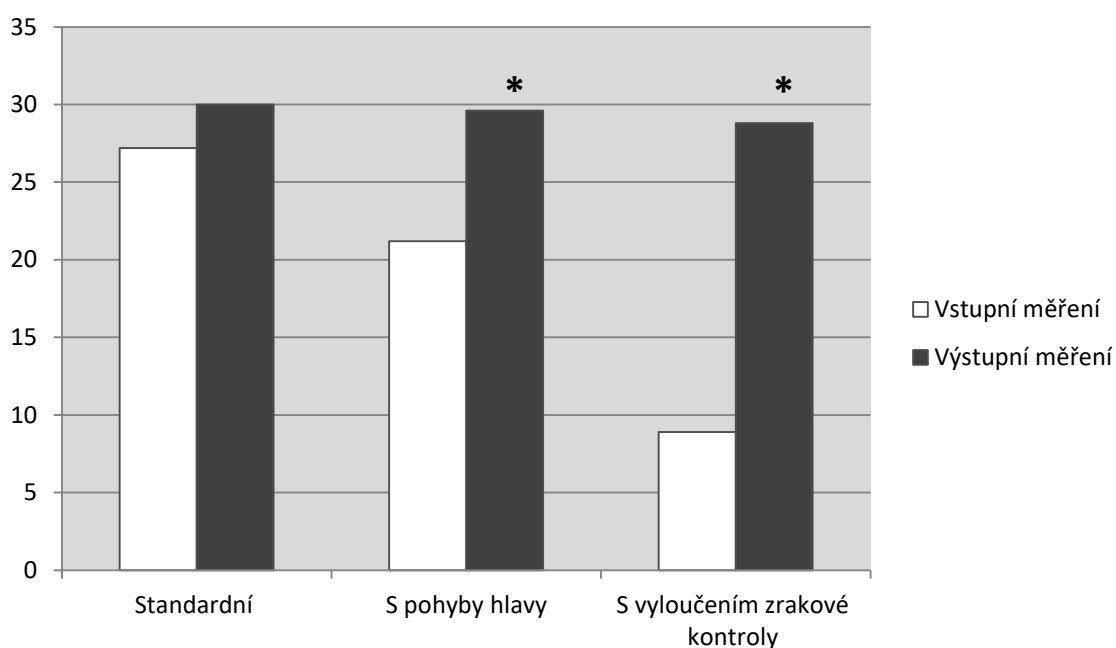
**Hypotéza H2<sub>B</sub>:** *Specializovaný rehabilitační program využívající telerehabilitaci povede ke statisticky signifikantnímu prodloužení času tandemového stoje.*

Při hodnocení výsledků testů tandemového stoje ve standardním provedení nedošlo k signifikantní změně ( $p = 0,371$ ). Nicméně vzhledem k tomu, že vstupní hodnoty byly vysoké a při výstupní kontrol opět dosáhli všichni účastníci maximální naměřené hodnoty, můžeme test označit jako nedostatečný.

Při testování tandemového stoje s pohyby hlavy podle zvukového metronomu (podrobně popsáno v kapitole metodika), měla hodnota Wilcoxonova párového testu  $p = 0,034$  a byla tak statisticky signifikantní. Statisticky signifikantní změnu pozorujeme i u tandemového stoje s vyloučením zrakové kontroly, zde je hodnota  $p = 0,006$ , čímž můžeme s jistotou potvrdit vliv rehabilitačního programu.

Vzhledem k tomu, že účastníci opakovaně dosáhli maximálních hodnot v měřených parametrech, nemohlo tak dojít ke statisticky signifikantní změně. Nicméně pokud vezmeme v úvahu pouze vypovídající testy, můžeme říci, že došlo ke statisticky významnému zlepšení. Výsledkem tak je, že můžeme hypotézu **H2<sub>B</sub>** potvrdit. Obecně tak můžeme říci, že vlivem rehabilitačního programu a spontánní vestibulární adaptace dojde ke zlepšení posturální stability stoje.

Tandemový stoj	Před	Po	Zdravá populace	Hodnota Wilcoxonova párového testu
Standardní (s)	27,2 ± 6,0	30 ± 0	30	0,371
S pohyby hlavy (s)	21,2 ± 8,7	29,6 ± 1,3	30	<0,05
S vyloučením zrakové kontroly (s)	8,9 ± 5,5	28,8 ± 3,8	30	<0,05



Graf 2: Sloupcový graf porovnávající hodnoty tandemového stoje  
(\* statisticky signifikantní hodnoty)

**Hypotéza H2c:** *Specializovaný rehabilitační program využívající telerehabilitaci povede ke statisticky signifikantnímu snížení počtu chyb tandemové chůze.*

Pro porovnání rozdílů měření byl využit párový Wilcoxonův test. Jak je uvedeno v metodice, pro hodnocení testu byl zaznamenán počet chyb, kterých se probandi dopustili na délku 20 kroků.

Z výsledků v níže přiložené tabulce vidíme, že došlo ke zlepšení v obou sledovaných variantách tandemové chůze. S hodnotami Wilcoxonova testu  $p = 0,035$  a  $p = 0,005$ .

Můžeme tedy potvrdit hypotézu **H2<sub>c</sub>**. Lze tak potvrdit, že vlivem rehabilitace došlo ke zlepšení stability tandemové chůze.

<b>Tandemová chůze</b>	<b>Před</b>	<b>Po</b>	<b>Zdravá populace</b>	<b>Hodnota Wilcoxonova párového testu</b>
<b>Standardní</b>	2,1 ± 3,2	0,6 ± 1,3	0	<b>&lt;0,05</b>
<b>S vyloučením zrakové kontroly</b>	6,0 ± 2,6	3,7 ± 2,2	0	<b>&lt;0,05</b>

Během absolvovaných vyšetření a terapeutických intervencí nebyly zaznamenány žádné nechtěné vedlejší účinky. Můžeme tak program označit za bezpečnou variantu testování a rehabilitace pro pacienty po resekci vestibulárního schwannomu.

## 10. DISKUZE

**Hypotéza H1:** *Pacienti po resekci vestibulárního schwannomu jsou schopni absolvovat specializovaný telerehabilitační program.*

V naší studii jsme se zaměřili na možnosti využití telerehabilitace během posthospitalizační fáze rehabilitace pacientů po resekci vestibulárního schwannomu. Do studie bylo osloveno 19 pacientů, z nichž 10 souhlasilo s účastí na studii. Studii dokončilo všech 10 zúčastněných pacientů. 2 z oslovených 19 pacientů se nemohli studii zúčastnit z důvodu nedostatečného technického vybavení či technické zdatnosti.

Telerehabilitace je výhodnou možností poskytování vestibulární rehabilitace. Klade menší časové nároky na pacienta a zároveň díky bezplatným platformám pro videohovory není finančně nákladná. Díky těmto benefitům tak lze očekávat vyšší adherenci než k běžným rehabilitačním programům. Tento fakt potvrzuje i studie Aldawsary et al., 2023, která zkoumala vliv cvičení ke zlepšení stability retinálního obrazu a rovnováhy pomocí telerehabilitace. Do studie bylo osloveno 14 pacientů, z čehož 4 byli vyloučeni na základě exkluzivních kritérií (komplikace zdravotního stavu, nedostatek času podstoupit program). Do studie se tak zapojilo 10 pacientů (5 mužů a 5 žen) ve věku 25 až 60 let. Rehabilitační program trval 4 týdny, během kterých probíhala jednou týdně rehabilitační jednotka pod kontrolou fyzioterapeuta. Vstupní vyšetření, kontrolní terapie a výstupní vyšetření bylo prováděno pomocí videohovorů. Rehabilitační program dokončilo všech 10 pacientů. Vysoká míra compliance k programu obdobně jako v naší studii by mohla poukazovat na vysokou efektivitu videohovorů pro udržení adherence pacientů k terapii. Oproti ostatním formám telerehabilitace je však časově náročnější.

Naopak k velmi nízkým hodnotám dospěla studie Van Vugt et al., 2019, která rozdělila pacienty do 3 skupin terapie. První skupina obdržela běžnou péči. Druhá skupina běžnou péči s vestibulární telerehabilitací (n=98). Tato skupina obdržela jednu supervizovanou terapii týdně po dobu 6 týdnů s doporučením samostatného cvičení jednou denně. Alespoň jednu terapeutickou intervenci podstoupilo 71% probandů, avšak všech šest rehabilitačních jednotek dokončilo pouze 48% probandů. Třetí skupina absolvovala stejný program vestibulární telerehabilitace obohacený o dvě domácí návštěvy fyzioterapeutem během prvního a třetího týdne. Jednou terapeutickou intervenci podstoupilo 80% účastníků

a obě návštěvy fyzioterapeuta podstoupilo 82% probandů. Všech šest telerehabilitací společně s dvěma návštěvami fyzioterapeuta dokončilo 53% pacientů. Je tak jednoznačně vidět klesající míra adherence k terapii s délkou rehabilitačního programu. Navazující studie provedla kvalitativní interview analýzu přechozí studie s cílem zjistit, zdali jsou návštěvy fyzioterapeutem přínosné pro adherenci k terapii. Z dostupných výsledků lze konstatovat, že nutnosti návštěv závisí na míře disability pacienta a měly by být vždy individuálně konzultovány. Návštěvy však mohou zvyšovat adherenci k terapii, přináší benefit personální konzultace a pocitu jistoty při provádění cvičení (Van Vugt et al., 2020).

Studie Smaerup et al., 2015 zkoumala vliv individualizovaného rehabilitačního plánu pomocí internetové aplikace oproti kontrolní skupině. Rehabilitační program trval 16 týdnů s doporučením jedné cvičební jednotky denně a ambulantní návštěvou terapeuta dvakrát týdně pro obě skupiny. Pacienti zaznamenávali své cvičení pomocí webkamery, který vyhodnocoval interaktivní tréninkový systém aplikace. Skupina podstupující rehabilitaci s internetovou aplikací měla hodnotu compliance s terapií 57%, která se neliší od compliance pacientů u kontrolních skupin z ostatních studií (30-57%). Nejvyšší adherence k terapii se objevila mezi prvním a druhým měsícem programu, po kterém se začala snižovat. Dle autorů tak nelze potvrdit, že telerehabilitační programy mají vyšší míru compliance pacientů než běžná rehabilitace. Navazující studie Smaerup et al., 2016 zkoumala vliv následného 12 týdenního programu založeného pouze na cvičení pomocí internetové aplikace bez ambulantních terapií. Výsledky prokázaly klesající trend adherence k terapii s délkou trvání rehabilitačního programu. Výsledná adherence pacientů k terapii dosahovala pouhých 41%. Snížení compliance pacientů by mohlo být způsobeno stagnací progresu a tím pádem i snížení zájmu pokračovat v rehabilitaci.

Další studie (Geraghty et al., 2017) posuzovala vliv vestibulární rehabilitace poskytované prostřednictvím internetových stránek. Do studie se zapojilo 296 pacientů (197 žen, 99 mužů), kteří byli rozděleni do skupiny telerehabilitace (n=160) a kontrolní skupiny podstupující běžnou ambulantní rehabilitaci (n=136). Během studie byly provedeny kontrolní vyšetření po 3 a 6 měsících. Adherence k programu byla výrazně nižší u internetové skupiny. Během 3 měsíční kontroly odstoupilo 23,1% (37 ze 160) pacientů a při 6 měsíční kontrole program nedokončilo 30% (48 ze 160) pacientů. V kontrolní skupině program nedokončilo

6,6% po 3 měsících a 13,2% po 6 měsících. Nevýhodou studie byla nepřítomnost terapeuta ve skupině telerehabilitace, což je jeden z možných důvodů nižší adherence k programu.

Z dosavadních studií lze usoudit, že adherence k terapii pacientů během telerehabilitace záleží na délce trvání rehabilitačního programu. K největšímu poklesu adherence k terapii dochází po druhém měsíci telerehabilitace (Smaerup et al., 2015; Smaerup et al., 2016). Ideální délka telerehabilitačního programu z hlediska adherence k terapii by tak neměla překročit dobu 8 týdnů. Vyšší počet podstoupených terapií se také pojí s přítomností fyzioterapeuta (Aldawsary et al., 2023). Supervizované cvičební jednotky doplněné domácím cvičením dle předlohy se tak jeví jako nejefektivnější možností terapie (Van Vugt et al., 2020).

**Hypotéza H2:** *Specializovaný rehabilitační program využívající telerehabilitaci povede ke statisticky signifikantnímu zlepšení sledovaných parametrů stoje a chůze.*

Individualizovaná vestibulární rehabilitace vede ke zlepšení statické i dynamické posturální stability u pacientů po jednostranné ztrátě vestibulární funkce, s nejlepšími výsledky při brzkém započatí rehabilitace (Hall et al., 2022; Lacour et al., 2022; Kamo et al., 2023).

Dostupné vědecké práce potvrzují, že při absolvování vestibulární rehabilitace dochází snížením subjektivních symptomů i ke zlepšení parametrů posturální stability (McDonnell a Hillier, 2015; Van Vugt et al., 2019).

V naší studii jsme zkoumali vliv individualizovaného telerehabilitačního programu obsahujícího 6 cvičebních jednotek u pacientů po resekci vestibulárního schwannomu. Rehabilitační program obsahoval cvičení ke zlepšení stability retinálního obrazu, cvičení pro podporu habituačních a kompenzačních mechanismů CNS, cviky ke zvýšení svalové síly a kondice a cvičení pro zlepšení stability stoje a chůze. Jedna rehabilitační jednotka pod dohledem fyzioterapeuta trvala 25 až 35 minut. Během dní kdy nebyla naplánovaná terapie, bylo pacientům doporučeno provádět cvičení dvakrát denně po celkovou dobu 30 minut. Při testování stoje spojného a jeho variant dosáhli všichni probandi maximálního výsledku a nebylo tedy možné dosáhnout zlepšení. Naopak k signifikantnímu zlepšení došlo v měřených parametrech tandemového stoje s pohyby hlavy ( $p = 0,034$ ) a s vyloučením zrakové kontroly ( $p = 0,006$ ). K signifikantnímu snížení počtu chyb došlo i v parametrech tandemové chůze ( $p = 0,035$ ) a tandemové chůze s vyloučením zrakové kontroly ( $p = 0,005$ ).

Test tandemového stoje u pacientů s unilaterální vestibulární hypofunkcí využila studie Sever et al., 2022. Rehabilitační program se skládal z denního domácího cvičení po dobu 8 týdnů s kontrolními návštěvami fyzioterapeuta každé 2 týdny. Autoři došli k obdobnému závěru, kdy po dokončení rehabilitačního programu došlo k signifikantnímu zlepšení ve standardním provedení z hodnot  $25,70s \pm 8,84s$  na  $30,00s \pm 0,00s$ . Při variantě se zavřením očí z hodnot  $10,99s \pm 11,10s$  na  $27,66s \pm 5,20s$ . Tato studie tak jednoznačně prokázala, že tandemový stoj je senzitivním testem posturální stability pro pacienty s unilaterální vestibulární dysfunkcí. Vzhledem k jednoduchosti testu a jeho možnosti provedení bez dalších pomůcek jsme tento test zvolili i v naší studii a potvrdili jsme, že může



být vhodným nástrojem pro kvantifikaci posturální stability pacienta při telerehabilitaci. K signifikantnímu zlepšení došlo i v parametrech tandemové chůze, kterou bychom mohli využít při distančním testování pacientů.

Kladný efekt telerehabilitace na posturální stabilitu potvrdila studie Alswary et al., 2023, ve které došlo k signifikantnímu zlepšení rovnováhy v dotazníku Berg Balance Scale (BBS) po 4 týdnech rehabilitačního programu ( $p < 0,001$ ). Na rozdíl od naší studie obsahoval jejich rehabilitační program pouze cvičení ke zvýšení stability retinálního obrazu a balanční cvičení, ale s delší dobou terapeutické jednotky, která se pohybovala v rozmezí 45 až 60 minut. Tato skutečnost by mohla poukazovat na to, že pacienti jsou schopni absolvovat delší terapeutické jednotky bez zvýšeného výskytu nežádoucích symptomů. Prodloužení cvičební jednotky by tak mohlo přinést větší efektivitu rehabilitačního programu. Po dokončení telerehabilitace také došlo k signifikantnímu snížení vnímané disability pacientů v dotazníku Dizziness Handicap Inventory ( $p < 0,001$ ).

Snížení míry závratí u pacientů uvádí i studie Van Vugt et al., 2019. Ta srovnávala efektivitu 6 týdnů samostatné telerehabilitační vestibulární rehabilitace oproti skupině, která navíc obdržela dvě návštěvy fyzioterapeuta a oproti kontrolní skupině mající standardní péči. U obou experimentálních skupin došlo k signifikantnímu zlepšení vnímaných závratí dle dotazníku Vertigo symptom scale – short form (VSS-SF) a to jak při tříměsíční, tak šestiměsíční kontrole. Při vzájemném porovnání výsledků experimentálních skupin nedošlo ke statisticky signifikantním změnám. Z těchto výsledků vyplývá, že samostatná telerehabilitace je tak účinnou formou vestibulární rehabilitace. Navíc lze vidět, že osobní návštěva fyzioterapeuta nepřináší signifikantní benefit pro pacienta v rámci rehabilitace a je možné dosáhnout stejných výsledků pouze distanční formou. Mohli bychom tak uvažovat o využití telerehabilitace jako primární formy pro poskytování rehabilitace pro pacienty po resekci VS a osobní návštěvy terapeuta používat pouze u komplikovanějších případů.

Ke zlepšení posturální stability stoje i chůze došlo ve studii Smaerup et al., 2015. Dvě skupiny pacientů podstoupily 16 týdenní rehabilitační program. Experimentální skupina využívala pro terapii internetovou aplikaci a kontrolní skupina obdržela běžnou péči (tištěné instrukce pro domácí cvičení). Po absolvování rehabilitačního programu došlo u obou skupin k signifikantnímu zlepšení časových hodnot stoje na jedné dolní končetině oproti původním

hodnotám. K signifikantnímu zlepšení oproti původním hodnotám došlo i v testu Dynamic Gait Index (DGI) hodnotící posturální stabilitu chůze. Mezi skupinami však nebyl pozorován statisticky signifikantní rozdíl. Statisticky významných výsledků nebylo dosaženo ani po dalších 12 týdnech stejného rehabilitačního programu bez návštěv fyzioterapeuta (Smaerup et al., 2016). Výsledky této studie jsou tak v rozporu s předchozí studií. To by mohlo být způsobeno nedostatečnou adaptací aplikace pro úroveň schopností pacienta. Využití internetových aplikací tak není efektivnější metodou oproti jiným formám telerehabilitace.

Studie Geraghty et al., 2019 zkoumala vliv šesti týdnů vestibulární rehabilitace s jednou terapeutickou intervencí týdně pomocí předem připraveného individualizovaného plánu s video demonstracemi daných cvičení v porovnání se kontrolní skupinou. Výsledky experimentální skupiny prokázaly snížení počtu závratí u pacientů s chronickou vestibulární dysfunkcí v dotazníku VSS-SF po třech i šesti měsících od začátku terapie.

Výsledky prokázaly efektivitu telerehabilitačního programu pro zlepšení posturální stability stoje a chůze. Test stoje spojného a jeho variant se ukázal jako nedostatečně citlivý pro domácí testování pacientů po resekci vestibulárního schwannomu. Test tandemového stoje a jeho variant společně s testem tandemové chůze a jejích variant lze označit jako efektivní nástroj pro bezpečné distanční testování posturální stability jedinců po resekci vestibulárního schwannomu.

## 10. 1 Limitace práce

Největší limitací výzkumné části této práce je malý počet pacientů zapojených do studie. K zvýšení kvality dat je potřeba rozsáhlejšího výzkumného vzorku, tak aby bylo možné porovnat hodnoty dosahované v testech posturální stability u jedinců podstupující rehabilitační program oproti kontrolní skupině provádějící domácí cvičení pouze na základě doporučení udělovaných během hospitalizace. Při porovnání těchto dvou skupin by bylo možné vyhodnotit vliv terapeutické intervence bez vlivu spontánní adaptace organismu, kterou takto nemůžeme přesně určit. Pokud bychom měli větší počet účastníků výzkumu, mohli bychom určit další faktory predikující sníženou úroveň posturální stability, jako je věk či pohlaví. Další limitací způsobenou nedostatečným počtem probandů je srovnání výsledků posturální stability v závislosti na velikosti tumoru hodnoceného pomocí Koos škály. Tato informace by mohla posloužit k odhalení závislosti mezi velikostí léze a posturální stabilitou pacienta, čímž bychom v klinické praxi mohli vytipovat pacienty vhodné pro následnou rehabilitaci.

Dalším limitujícím faktorem je, že testování posturální stability bylo prováděno autorem této práce. Pro zvýšení objektivity studie by bylo ideální, aby měření prováděl zaslepený hodnotitel. Vzhledem k designu studie byly nevýhodou i zvolené testované parametry, při kterých terapeut vyhodnocoval chyby, jichž se pacienti dopustili. Limitací zvolených testů je také nedostatek vybavení a prostoru v rámci domácího prostředí probandů, které většinou není vhodné k využití standardizovaných škál hodnotících posturální stabilitu pacientů. Pro další zlepšení kvality výzkumu bychom v budoucnu mohli použít objektivnější metody měření posturální stability, jako je například počítačová dynamická posturografie (PDP). Měření by se však muselo provádět v jiných časových obdobích a to před ukončením hospitalizace a poté v rámci pooperační kontroly v následujících měsících.

## 11. ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce bylo zhodnotit možnosti využití telerehabilitace při zajištění distančního rehabilitačního programu pro pacienty po resekci vestibulárního schwannomu. Výsledky praktické části ukazují, že telerehabilitace je efektivní možností poskytování vestibulární rehabilitace. Do studie bylo přijato 10 probandů, z nichž všichni úspěšně studii dokončili. Vedlejším cílem práce bylo sledovat změny posturální stability stoje a chůze během individualizované telerehabilitace a dále vyhodnotit, zdali lze provádět testování těchto parametrů distanční formou. Z výsledků vyplývá, že během individualizovaného rehabilitačního programu dochází ke zlepšení posturální stability stoje i chůze. Dále lze potvrdit, že testování posturální stability stoje a chůze lze provádět distančně. Při použití testu stoje spojného bylo dosaženo efektu stropu a všech 10 probandů dosáhlo maximálních výsledků. Z tohoto důvodu lze test považovat za nedostatečný. Test tandemového stoje a tandemové chůze se však ukázaly jako efektivní pro vzdálené testování.

Výsledky studie jednoznačně podporují zavedení posthospitalizačního telerehabilitačního programu pro pacienty po resekci vestibulárního schwannomu do běžné praxe. Tato práce prokazuje, že pacienti jsou schopni absolvovat rehabilitační program pomocí videohovorů. Zároveň jsme prokázali, že testování posturální stability lze provádět distanční formou. Pro zhodnocení míry posturální stability jsou vhodné testy tandemového stoje a jeho varianty a testy tandemové chůze s jejími variantami. Vzhledem k omezené soběstačnosti pacientů představuje telerehabilitace dostupnou formu terapie. Dále také snižuje časové a finanční náklady pro pacienta i terapeuta. Do budoucna by tak telerehabilitace pomocí videohovorů mohla sloužit jako primární volba v následné péči pro pacienty z celé republiky. Zároveň by bylo možné sledovat vývoj parametrů posturální stability v čase.

V rámci budoucí studie by bylo vhodné rozšířit výzkumný soubor pro zkvalitnění získaných dat. Dalším obohacením studie by bylo zavedení kontrolní skupiny absolvující běžnou péči a skupiny podstupující ambulantní rehabilitaci. Bylo by tak možné zhodnotit efektivitu terapie vzájemně mezi jednotlivými skupinami. Rozdělení probandů do skupin by probíhalo náhodně. Vyšetření posturální stability na začátku i na konci studie by bylo prováděno zaslepeným pracovníkem, tak aby nedocházelo ke zkreslení dat zaujatostí

hodnotícího. Vhodným rozšířením by také bylo zavedení záznamů samostatného domácího cvičení, tak aby došlo k jednoznačné objektivizaci počtu rehabilitačních jednotek. Pro další zhodnocení efektu terapie bychom mohli využít subjektivních dotazníků pro pacienty. Pro zjednodušení domácího cvičení by bylo vhodné nahrávat provedené terapeutické jednotky, tak aby sloužily jako předloha pro pacienty při domácím cvičení. Případně vytvořit videoknihovnu jakožto zásobník cviků pro tyto pacienty.

## SEZNAM ZDROJŮ

ALDAWSARY, Nada; ALMARWANI, Maha a ABDELBASSET, Walid Kamal, 2023. The combined effect of gaze stability and balance exercises using telerehabilitation in individuals with vestibular disorders during the COVID-19 pandemic: A pilot study. Online. *PLOS ONE*. 2023-5-5, roč. 18, č. 5. ISSN 1932-6203. Dostupné z: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282189>. [cit. 2024-04-16].

ANDERSEN, Jan Fredrik; NILSEN, Kathrin Skorpa; VASSBOTN, Flemming Slinning; MØLLER, Per; MYRSETH, Erling et al., 2015. Predictors of Vertigo in Patients With Untreated Vestibular Schwannoma. Online. *Otology & Neurotology*. Roč. 36, č. 4, s. 647-652. ISSN 1531-7129. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000000668>. [cit. 2024-05-18].

AMBLER, Zdeněk. *Základy neurologie: [učebnice pro lékařské fakulty]*. 7. vyd. Praha: Galén, c2011. ISBN 978-80-7262-707-3.

ANSARI, Shaheryar F.; TERRY, Colin a COHEN-GADOL, Aaron A., 2012. Surgery for vestibular schwannomas: a systematic review of complications by approach. Online. *Neurosurgical Focus*. Roč. 33, č. 3. ISSN 1092-0684. Dostupné z: <https://doi.org/10.3171/2012.6.FOCUS12163>. [cit. 2023-10-26].

ARNOLD, Scott A.; STEWART, Aaron M.; MOOR, Heather M.; KARL, Rita C. a RENEKER, Jennifer C., 2017. The Effectiveness of Vestibular Rehabilitation Interventions in Treating Unilateral Peripheral Vestibular Disorders: A Systematic Review. Online. *Physiotherapy Research International*. Roč. 22, č. 3. ISSN 13582267. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/pri.1635>. [cit. 2024-06-16].

ATCHLEY, Travis J.; ERICKSON, Nicholas; CHAGOYA, Gustavo; FORT, Matthew; WALTERS, Beverly C. et al., 2022. Hannover Classification of Vestibular Schwannomas: A Reliability Study. Online. *World Neurosurgery*. Roč. 158, s. e179-e183. ISSN 18788750. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.10.151>. [cit. 2024-05-18].

BACHIR, Suha; SHAH, Sanjit; SHAPIRO, Scott; KOEHLER, Abigail; MAHAMMEDI, Abdelkader et al., 2021. Neurofibromatosis Type 2 (NF2) and the Implications for Vestibular Schwannoma and Meningioma Pathogenesis. Online. *International Journal of Molecular Sciences*. Roč. 22, č. 2. ISSN 1422-0067. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijms22020690>. [cit. 2024-05-04].

BEAR, Mark F.; CONNORS, Barry W. a PARADISO, Michael A., [2016]. *Neuroscience: exploring the brain*. Enhanced fourth edition. Burlington: Jones & Bratlett learning. ISBN 978-1-284-21128-3.

BETKA, Jan; ZVĚŘINA, Eduard; BALOGOVÁ, Zuzana; PROFANT, Oliver; SKŘIVAN, Jiří et al., 2014. Complications of Microsurgery of Vestibular Schwannoma. Online. *BioMed Research International*. Roč. 2014, s. 1-10. ISSN 2314-6133. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2014/315952>. [cit. 2023-10-26].

BORYSENKO, Oleg; MELNYKOV, Oleg; PRILUTSKAYA, Alexandra a BURACOVSKI, Marin, 2023. Immunological Analysis of Vestibular Schwannoma Patients. Online. *The Journal of International Advanced Otolaryngology*. 2023-01-16, roč. 19, č. 1, s. 1-4. ISSN 21483817. Dostupné z: <https://doi.org/10.5152/iao.2023.22581>. [cit. 2024-05-04].

BREUN, Maria; NICKL, Robert; PEREZ, Jose; HAGEN, Rudolf; LÖHR, Mario et al. Vestibular Schwannoma Resection in a Consecutive Series of 502 Cases via the Retrosigmoid Approach: Technical Aspects, Complications, and Functional Outcome. Online. *World Neurosurgery*. 2019, roč. 129, s. e114-e127. ISSN 18788750. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.05.056>. [cit. 2023-10-26].

CHOVANEC, Martin; ZVĚŘINA, Eduard; KLUH, Jan; BOUČEK, Jan; PROFANT, Oliver; BALOGOVÁ, Zuzana; SYKA, Josef; BETKA, Jan. Zachování sluchu při mikrochirurgické léčbě vestibulárního schwannomu. Online. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*. 2015, roč 78/11, č. 4, s. 435-441. Dostupné z: <https://www.csnn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/archiv-cisel/2015-4>

CLÉMENT, Gilles; TILIKETE, Caroline a COURJON, Jean-Hubert, 2008. Retention of habituation of vestibulo-ocular reflex and sensation of rotation in humans. Online. *Experimental Brain Research*. Roč. 190, č. 3, s. 307-315. ISSN 0014-4819. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1471-0>. [cit. 2024-03-15].

CRANE, Benjamin T. a SCHUBERT, Michael C., 2018. An adaptive vestibular rehabilitation technique. Online. *The Laryngoscope*. Roč. 128, č. 3, s. 713-718. ISSN 0023-852X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/lary.26661>. [cit. 2024-04-18].

ČIHÁK, Radomír; DRUGA, Rastislav a GRIM, Miloš, 2004. *Anatomie 3. 2., upr. a dopl. vyd.*  
Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1132-4.

DESHPANDE, Shruti N.; HOUSTON, Lisa a KEITH, Robert W., 2013. Hearing Testing, Auditory Brainstem Response (ABR). Online. In: KOUNTAKIS, Stilianos E. (ed.). *Encyclopedia of Otolaryngology, Head and Neck Surgery*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, s. 1151-1158. ISBN 978-3-642-23498-9. Dostupné z: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23499-6\\_560](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23499-6_560). [cit. 2024-05-12].

DHAYALAN, Dhanushan; LUND-JOHANSEN, Morten; FINNKIRK, Monica a TVEITEN, Øystein Vesterli, 2019. Fatigue in patients with vestibular schwannoma. Online. *Acta Neurochirurgica*. Roč. 161, č. 9, s. 1809-1816. ISSN 0001-6268. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00701-019-04003-2>. [cit. 2024-05-18].

DURHAM, Allison R.; TOOKER, Evan L.; PATEL, Neil S. a GURGEL, Richard K., 2023. Epidemiology and Risk Factors for Development of Sporadic Vestibular Schwannoma. Online. *Otolaryngologic Clinics of North America*. Roč. 56, č. 3, s. 413-420. ISSN 00306665. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.otc.2023.02.003>. [cit. 2024-05-04].

DUTIA, Mayank B, 2010. Mechanisms of vestibular compensation: recent advances. Online. *Current Opinion in Otolaryngology & Head & Neck Surgery*. Roč. 18, č. 5, s. 420-424. ISSN 1068-9508. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/MOO.0b013e32833de71f>. [cit. 2024-06-15].

ELEFTHERIADOU, Anna; SKALIDI, Nikoleta a VELEGRAKIS, Georgios A., 2012. Vestibular rehabilitation strategies and factors that affect the outcome. Online. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. Roč. 269, č. 11, s. 2309-2316. ISSN 0937-4477. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00405-012-2019-2>. [cit. 2024-04-18].

ERICKSON, Nicholas J; SCHMALZ, Philip G R; AGEE, Bonita S; FORT, Matthew; WALTERS, Beverly C et al., 2019. Koos Classification of Vestibular Schwannomas: A Reliability Study. Online. *Neurosurgery*. Roč. 85, č. 3, s. 409-414. ISSN 0148-396X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/neuros/nyy409>. [cit. 2024-04-02].

FERNÁNDEZ-MÉNDEZ, Rocío; WAN, Yizhou; AXON, Patrick a JOANNIDES, Alexis, 2023. Incidence and presentation of vestibular schwannoma: a 3-year cohort registry study. Online. *Acta Neurochirurgica*. Roč. 165, č. 10, s. 2903-2911. ISSN 0942-0940. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00701-023-05665-9>. [cit. 2024-05-04].



FETTER, M., 2016. Acute unilateral loss of vestibular function. Online. In: *Neuro-Otology. Handbook of Clinical Neurology*. Elsevier, s. 219-229. ISBN 9780444634375. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63437-5.00015-7>. [cit. 2024-05-24].

GERAGHTY, Adam W. A.; ESSERY, Rosie; KIRBY, Sarah; STUART, Beth; TURNER, David et al., 2017. Internet-Based Vestibular Rehabilitation for Older Adults With Chronic Dizziness: A Randomized Controlled Trial in Primary Care. Online. *The Annals of Family Medicine*. 2017-05-08, roč. 15, č. 3, s. 209-216. ISSN 1544-1709. Dostupné z: <https://doi.org/10.1370/afm.2070>. [cit. 2024-04-21].

GERMANO, Isabelle M; SHEEHAN, Jason; PARISH, Johnathan; ATKINS, Tyler; ASHER, Anthony et al., 2018. Congress of Neurological Surgeons Systematic Review and Evidence-Based Guidelines on the Role of Radiosurgery and Radiation Therapy in the Management of Patients With Vestibular Schwannomas. Online. *Neurosurgery*. Roč. 82, č. 2, s. E49-E51. ISSN 0148-396X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/neuros/nyx515>. [cit. 2024-03-23].

GIMMON, Yoav a SCHUBERT, Michael C., 2019. Vestibular Testing-Rotary Chair and Dynamic Visual Acuity Tests. Online. In: LEA, Jane a POTHIER, David (ed.). *Vestibular Disorders. Advances in Oto-Rhino-Laryngology*. S. Karger, s. 39-46. ISBN 978-3-318-06370-7. Dostupné z: <https://doi.org/10.1159/000490270>. [cit. 2024-06-09].

GOLDBRUNNER, Roland; WELLER, Michael; REGIS, Jean; LUND-JOHANSEN, Morten; STAVRINO, Pantelis et al., 2020. EANO guideline on the diagnosis and treatment of vestibular schwannoma. Online. *Neuro-Oncology*. 2020-01-11, roč. 22, č. 1, s. 31-45. ISSN 1522-8517. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/neuonc/noz153>. [cit. 2024-04-02].

GUPTA, Vinay Kumar; THAKKER, Arjuna a GUPTA, Keshav Kumar, 2020. Vestibular Schwannoma: What We Know and Where We are Heading. Online. *Head and Neck Pathology*. Roč. 14, č. 4, s. 1058-1066. ISSN 1936-0568. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12105-020-01155-x>. [cit. 2024-05-04].

GUREWITZ, Jason; SCHNURMAN, Zane; NAKAMURA, Aya; NAVARRO, Ralph E.; PATEL, Dev N. et al., 2022. Hearing loss and volumetric growth rate in untreated vestibular schwannoma. Online. *Journal of Neurosurgery*. Roč. 136, č. 3, s. 768-775. ISSN 0022-3085. Dostupné z: <https://doi.org/10.3171/2021.2.JNS203609>. [cit. 2024-05-18].

HALL, Courtney D.; HERDMAN, Susan J.; WHITNEY, Susan L.; ANSON, Eric R.; CARENDER, Wendy J. et al., 2022. Vestibular Rehabilitation for Peripheral Vestibular Hypofunction: An Updated Clinical Practice Guideline From the Academy of Neurologic Physical Therapy of the American Physical Therapy Association. Online. *Journal of Neurologic Physical Therapy*. Roč. 46, č. 2, s. 118-177. ISSN 1557-0576. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000382>. [cit. 2024-06-15].

HALLIDAY, Jane; RUTHERFORD, Scott A.; MCCABE, Martin G. a EVANS, Dafydd G., 2017. An update on the diagnosis and treatment of vestibular schwannoma. Online. *Expert Review of Neurotherapeutics*. 2017-11-14, roč. 18, č. 1, s. 29-39. ISSN 1473-7175. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14737175.2018.1399795>. [cit. 2024-05-04].

HAN, Byung In; SONG, Hyun Seok a KIM, Ji Soo, 2011. Vestibular Rehabilitation Therapy: Review of Indications, Mechanisms, and Key Exercises. Online. *Journal of Clinical Neurology*. Roč. 7, č. 4. ISSN 1738-6586. Dostupné z: <https://doi.org/10.3988/jcn.2011.7.4.184>. [cit. 2024-04-28].

HANNAN, Cathal J.; LEWIS, Daniel; O'LEARY, Claire; DONOFRIO, Carmine A.; EVANS, Dafydd G. et al., 2022. Beyond Antoni: A Surgeon's Guide to the Vestibular Schwannoma Microenvironment. Online. *Journal of Neurological Surgery Part B: Skull Base*. 2022-02-08, roč. 83, č. 01, s. 001-010. ISSN 2193-6331. Dostupné z: <https://doi.org/10.1055/s-0040-1716688>. [cit. 2024-05-04].

HARRELL, Regan G.; SCHUBERT, Michael C.; OXBOROUGH, Sara a WHITNEY, Susan L., 2022. Vestibular Rehabilitation Telehealth During the SAEA-CoV-2 (COVID-19) Pandemic. Online. *Frontiers in Neurology*. 2022-1-20, roč. 12. ISSN 1664-2295. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.781482>. [cit. 2024-04-16].

HAVRAN, Mark A. a BIDELESPACH, Douglas E., 2021. Virtual Physical Therapy and Telerehabilitation. Online. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*. Roč. 32, č. 2, s. 419-428. ISSN 10479651. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2020.12.005>. [cit. 2024-06-08].

HAZZAA, Nagwa Mohamed; MANZOUR, Ayat Farouk; YAHIA, Eman a MOHAMED GALAL, Eman, 2023. Effectiveness of virtual reality-based programs as vestibular rehabilitative therapy in peripheral vestibular dysfunction: a meta-analysis. Online. *European Archives of*

*Oto-Rhino-Laryngology*. Roč. 280, č. 7, s. 3075-3086. ISSN 0937-4477. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00405-023-07911-3>. [cit. 2024-04-21].

HEFFERNAN, Austin; ABDELMALEK, Mohammed a NUNEZ, Desmond A., 2021. Virtual and augmented reality in the vestibular rehabilitation of peripheral vestibular disorders: systematic review and meta-analysis. Online. *Scientific Reports*. Roč. 11, č. 1. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-97370-9>. [cit. 2024-06-16].

HERDMAN, Susan a Susan WHITNEY, 2014. Physical Therapy Treatment of Vestibular Hypofunction. In: HERDMAN SUSAN a CLENDANIEL RICHARD Vestibular rehabilitation. Fourth Edition. Philadelphia: F.A. Davis Company, Contemporary Perspectives in Rehabilitation. ISBN 9780803639706

HRUBÁ, Silvie; CHOVANEC, Martin; ČADA, Zdeněk; BALATKOVÁ, Zuzana; FÍK, Zdeněk et al., 2019. The evaluation of vestibular compensation by vestibular rehabilitation and prehabilitation in short-term postsurgical period in patients following surgical treatment of vestibular schwannoma. Online. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. Roč. 276, č. 10, s. 2681-2689. ISSN 0937-4477. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00405-019-05503-8>. [cit. 2024-06-16].

HUANG, Cheng-Wei; TU, Hsien-Tang; CHUANG, Chun-Yi; CHANG, Cheng-Siu; CHOU, Hsi-Hsien et al., 2018. Gamma Knife radiosurgery for large vestibular schwannomas greater than 3 cm in diameter. Online. *Journal of Neurosurgery*. Roč. 128, č. 5, s. 1380-1387. ISSN 0022-3085. Dostupné z: <https://doi.org/10.3171/2016.12.JNS161530>. [cit. 2024-05-18].

HUANG, Yikang; MAO, Huanyu a CHEN, Yan, 2022. Regeneration of Hair Cells in the Human Vestibular System. Online. *Frontiers in Molecular Neuroscience*. 2022-3-24, roč. 15. ISSN 1662-5099. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnmol.2022.854635>. [cit. 2024-06-16].

INGELFINGER, Julie R.; CARLSON, Matthew L. a LINK, Michael J., 2021. Vestibular Schwannomas. Online. *New England Journal of Medicine*. 2021-04-08, roč. 384, č. 14, s. 1335-1348. ISSN 0028-4793. Dostupné z: <https://doi.org/10.1056/NEJMra2020394>. [cit. 2024-04-02].

].

KALITOVÁ, Petra; ČAKRT, Ondřej; ČADA, Zdeněk; PROFANT, Oliver; CHOVANEC Martin; BETKA, Jan; JEŘÁBEK, Jaroslav. Význam vestibulárního a posturografického vyšetření u pacientů s vestibulárním schwannomem. Online. *Česká a slovenská neurologie a neurochirurgie*. 2013, roč. 76/109, č. 4, s. 469-474. Dostupné z: <https://www.csn.eu/casopisy/ceska-slovenska-neurologie/archiv-cisel/2013-4-4>

KAMO, Tomohiko; OGIHARA, Hirofumi; AZAMI, Masato; MOMOSAKI, Ryo a FUSHIKI, Hiroaki, 2023. Effects of Early Vestibular Rehabilitation in Patients With Acute Vestibular Disorder: A Systematic Review and Meta-Analysis. Online. *Otology & Neurotology*. Roč. 44, č. 9, s. e641-e647. ISSN 1537-4505. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000004006>. [cit. 2024-06-24].

KANYILMAZ, Tuba; TOPUZ, Oya; ARDIÇ, Fazıl Necdet; ALKAN, Hakan; ÖZTEKIN, Saadet Nur Sena et al., 2022. Effectiveness of conventional versus virtual reality-based vestibular rehabilitation exercises in elderly patients with dizziness: a randomized controlled study with 6-month follow-up. Online. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*. Roč. 88, s. S41-S49. ISSN 18088694. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2021.08.010>. [cit. 2024-04-21].

KOOS, Wolfgang T.; DAY, J. Diaz; MATULA, Christian a LEVY, David I., 1998. Neurotopographic considerations in the microsurgical treatment of small acoustic neurinomas. Online. *Journal of Neurosurgery*. Roč. 88, č. 3, s. 506-512. ISSN 0022-3085. Dostupné z: <https://doi.org/10.3171/jns.1998.88.3.0506>. [cit. 2024-05-12].

KOORS, Paul D.; THACKER, Leroy R. a COELHO, Daniel H., 2013. ABR in the diagnosis of vestibular schwannomas: A meta-analysis. Online. *American Journal of Otolaryngology*. Roč. 34, č. 3, s. 195-204. ISSN 01960709. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2012.11.011>. [cit. 2024-05-12].

LACOUR, Michel; HELMCHEN, Christoph a VIDAL, Pierre-Paul, 2016. Vestibular compensation: the neuro-otologist's best friend. Online. *Journal of Neurology*. Roč. 263, č. S1, s. 54-64. ISSN 0340-5354. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00415-015-7903-4>. [cit. 2024-06-15].

LACOUR, Michel; TARDIVET, Laurent a THIRY, Alain, 2022. Posture Deficits and Recovery After Unilateral Vestibular Loss: Early Rehabilitation and Degree of Hypofunction Matter. Online. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022-2-4, roč. 15. ISSN 1662-5161. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.776970>. [cit. 2024-06-16].

LASSALETTA, Luis; ACLE CERVERA, Leticia; ALTUNA, Xabier; AMILIBIA CABEZA, Emilio; ARÍSTEGUI RUIZ, Miguel et al., 2024. Clinical practice guideline on the management of vestibular schwannoma. Online. *Acta Otorrinolaringologica (English Edition)*. Roč. 75, č. 2, s. 108-128. ISSN 21735735. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.otoeng.2023.10.005>. [cit. 2024-05-12].

LIN, E.P. a CRANE, B.T., 2017. The Management and Imaging of Vestibular Schwannomas. Online. *American Journal of Neuroradiology*. 2017-11-15, roč. 38, č. 11, s. 2034-2043. ISSN 0195-6108. Dostupné z: <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5213>. [cit. 2024-05-12].

MARINELLI, John P.; BEELER, Cynthia J.; CARLSON, Matthew L.; CAYE-THOMASEN, Per; SPEAR, Samuel A. et al., 2022. Global Incidence of Sporadic Vestibular Schwannoma: A Systematic Review. Online. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery*. Roč. 167, č. 2, s. 209-214. ISSN 0194-5998. Dostupné z: <https://doi.org/10.1177/01945998211042006>. [cit. 2024-05-04].

MCDONNELL, Michelle N a HILLIER, Susan L, 2015. Vestibular rehabilitation for unilateral peripheral vestibular dysfunction. Online. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. ISSN 14651858. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005397.pub4>. [cit. 2024-06-16].

MELDRUM, Dara a JAHN, Klaus, 2019. Gaze stabilisation exercises in vestibular rehabilitation: review of the evidence and recent clinical advances. Online. *Journal of Neurology*. Roč. 266, č. S1, s. 11-18. ISSN 0340-5354. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00415-019-09459-x>. [cit. 2024-04-28].

MULLER, Mees, 2020. Mechanical aspects of the semicircular ducts in the vestibular system. Online. *Biological Cybernetics*. Roč. 114, č. 4-5, s. 421-442. ISSN 0340-1200. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00422-020-00842-w>. [cit. 2024-05-19].

MUÑOZ-TOMÁS, M<sup>a</sup> Teresa; BURILLO-LAFUENTE, Mario; VICENTE-PARRA, Araceli; SANZ-RUBIO, M<sup>a</sup> Concepción; SUAREZ-SERRANO, Carmen et al., 2023. Telerehabilitation as a Therapeutic Exercise Tool versus Face-to-Face Physiotherapy: A Systematic Review. Online. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. Roč. 20, č. 5. ISSN 1660-4601. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/ijerph20054358>. [cit. 2024-06-08].

MUNTASEER MAHFUZ, M.; SCHUBERT, Michael C.; FIGTREE, William V. C.; TODD, Christopher J. a MIGLIACCIO, Americo A., 2018. Human Vestibulo-Ocular Reflex Adaptation Training: Time Beats Quantity. Online. *Journal of the Association for Research in Otolaryngology*. Roč.

19, č. 6, s. 729-739. ISSN 1525-3961. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s10162-018-00689-w>. [cit. 2024-06-15].

NAM, Gi-Sung; JUNG, Chan Min; KIM, Ji Hyung a SON, Eun Jin, 2018. Relationship of Vertigo and Postural Instability in Patients With Vestibular Schwannoma. Online. *Clinical and Experimental Otorhinolaryngology*. Roč. 11, č. 2, s. 102-108. ISSN 1976-8710. Dostupné z: <https://doi.org/10.21053/ceo.2017.01277>. [cit. 2024-06-03].

Nelson JA, Viirre E. The clinical differentiation of cerebellar infarction from common vertigo syndromes. Online. *Western Journal of Emergency Medicine*. 2009, č.4, s. 273-277. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2791733/>

PALDOR, Iddo; CHEN, Annie S. a KAYE, Andrew H., 2016. Growth rate of vestibular schwannoma. Online. *Journal of Clinical Neuroscience*. Roč. 32, s. 1-8. ISSN 09675868. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2016.05.003>. [cit. 2024-05-18].

PARK, Marn Joon; AHN, Joong Ho; PARK, Hong Ju; CHUNG, Jong Woo a KANG, Woo Seok, 2022. Diagnostic Validity of Auditory Brainstem Response for the Initial Screening of Vestibular Schwannoma. Online. *Journal of Audiology and Otology*. Roč. 26, č. 1, s. 36-42. ISSN 2384-1621. Dostupné z: <https://doi.org/10.7874/jao.2021.00374>. [cit. 2024-05-12].

PIALAT, Pierre-Marie; FIEUX, Maxime; TRINGALI, Stéphane; BELDJOURI, Guillaume; POMMIER, Pascal et al., 2021. Vestibular Schwannoma: Results of Hypofractionated Stereotactic Radiation Therapy. Online. *Advances in Radiation Oncology*. Roč. 6, č. 4. ISSN 24521094. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.adro.2021.100694>. [cit. 2024-05-18].

POGSON, Jacob M.; TAYLOR, Rachael L.; BRADSHAW, Andrew P.; MCGARVIE, Leigh; D'SOUZA, Mario et al., 2022. The human vestibulo-ocular reflex and compensatory saccades in schwannoma patients before and after vestibular nerve section. Online. *Clinical Neurophysiology*. Roč. 138, s. 197-213. ISSN 13882457. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2022.02.014>. [cit. 2024-06-15].

POTDAR, T a KONTORINIS, G, 2023. Pre-habilitation with intratympanic gentamicin in vestibular schwannomas: a systematic review. Online. *The Journal of Laryngology & Otology*. Roč. 137, č. 9, s. 985-991. ISSN 0022-2151. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/S0022215123000725>. [cit. 2024-06-16].

PURVES, Dale; AUGUSTINE, George J.; FITZPATRICK, David; HALL, William C.; LAMANTIA, Anthony-Samuel et al., 2018. *Neuroscience*. 6. Oxford University Press. ISBN 9781605353807.

RINAUDO, Carlo N.; SCHUBERT, Michael C.; FIGTREE, William V. C.; TODD, Christopher J. a MIGLIACCIO, Americo A., 2019. Human vestibulo-ocular reflex adaptation is frequency selective. Online. *Journal of Neurophysiology*. 2019-09-01, roč. 122, č. 3, s. 984-993. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jn.00162.2019>. [cit. 2024-06-16].

SALEM, Nervana; GALAL, Ahmed; MASTRONARDI, Valentina; TALAAT, Mohamed; SOBHY, Ossama et al., 2019. Audiological Evaluation of Vestibular Schwannoma Patients with Normal Hearing. Online. *Audiology and Neurotology*. 2019-8-13, roč. 24, č. 3, s. 117-126. ISSN 1420-3030. Dostupné z: <https://doi.org/10.1159/000500660>. [cit. 2024-05-12].

Salmon MK, Brant J, Hohman MH, et al. Audiogram Interpretation. [Updated 2023 Mar 1]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK578179/>. [cit. 2024-05-12].

SAMII, Madjid; GERGANOV, Venelin a SAMII, Amir, 2006. Improved preservation of hearing and facial nerve function in vestibular schwannoma surgery via the retrosigmoid approach in a series of 200 patients. Online. *Journal of Neurosurgery*. Roč. 105, č. 4, s. 527-535. ISSN 0022-3085. Dostupné z: <https://doi.org/10.3171/jns.2006.105.4.527>. [cit. 2023-10-19].

SCHUBERT, Michael C. a MIGLIACCIO, Americo A., 2019. New advances regarding adaptation of the vestibulo-ocular reflex. Online. *Journal of Neurophysiology*. 2019-08-01, roč. 122, č. 2, s. 644-658. ISSN 0022-3077. Dostupné z: <https://doi.org/10.1152/jn.00729.2018>. [cit. 2024-06-15].

SERON, Pamela; OLIVEROS, María-Jose; GUTIERREZ-ARIAS, Ruvistay; FUENTES-ASPE, Rocío; TORRES-CASTRO, Rodrigo C et al., 2021. Effectiveness of Telerehabilitation in Physical Therapy: A Rapid Overview. Online. *Physical Therapy*. 2021-06-01, roč. 101, č. 6. ISSN 0031-9023. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab053>. [cit. 2024-06-08].

SEVER, Ebru; KILIÇ, Gamze a ALGUN, Zeliha Candan, 2022. The Effects of Vestibular Rehabilitation on Kinesiophobia and Balance with Individuals Who has Vestibular Hypofunction. Online. *Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery*. Roč. 74, č.

S3, s. 4319-4324. ISSN 2231-3796. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s12070-021-02979-x>. [cit. 2024-06-24].

SMAERUP, Michael; GRÖNVALL, Erik; LARSEN, Simon B.; LAESSOE, Uffe; HENRIKSEN, Jens-Jacob et al., 2015. Computer-Assisted Training as a Complement in Rehabilitation of Patients With Chronic Vestibular Dizziness—A Randomized Controlled Trial. Online. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. Roč. 96, č. 3, s. 395-401. ISSN 00039993. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.10.005>. [cit. 2024-06-23].

SMAERUP, Michael; LAESSOE, Uffe; GRÖNVALL, Eric; HENRIKSEN, Jens-Jacob a DAMSGAARD, Else Marie, 2016. The Use of Computer-Assisted Home Exercises to Preserve Physical Function after a Vestibular Rehabilitation Program: A Randomized Controlled Study. Online. *Rehabilitation Research and Practice*. Roč. 2016, s. 1-7. ISSN 2090-2867. Dostupné z: <https://doi.org/10.1155/2016/7026317>. [cit. 2024-06-23].

STARKOV, Dmitrii; STRUPP, Michael; PLESHKOV, Maksim; KINGMA, Herman a VAN DE BERG, Raymond, 2021. Diagnosing vestibular hypofunction: an update. Online. *Journal of Neurology*. Roč. 268, č. 1, s. 377-385. ISSN 0340-5354. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00415-020-10139-4>. [cit. 2024-06-09].

STRUPP, Michael; BISDORFF, Alexandre; FURMAN, Joseph; HORNIBROOK, Jeremy; JAHN, Klaus et al., 2022. Acute unilateral vestibulopathy/vestibular neuritis: Diagnostic criteria. Online. *Journal of Vestibular Research*. 2022-10-20, roč. 32, č. 5, s. 389-406. ISSN 09574271. Dostupné z: <https://doi.org/10.3233/VES-220201>. [cit. 2024-06-09].

SUSO-MARTÍ, Luis; LA TOUCHE, Roy; HERRANZ-GÓMEZ, Aida; ANGULO-DÍAZ-PARREÑO, Santiago; PARIS-ALEMANY, Alba et al., 2021. Effectiveness of Telerehabilitation in Physical Therapist Practice: An Umbrella and Mapping Review With Meta–Meta-Analysis. Online. *Physical Therapy*. 2021-05-01, roč. 101, č. 5. ISSN 0031-9023. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab075>. [cit. 2024-06-08].

TESAŘOVÁ, Michaela; PETERKOVÁ, Lenka; ŠŤASTNÁ, Monika; KOLÁŘ, Michal; LACINA, Lukáš et al., 2023. Tumor Biology and Microenvironment of Vestibular Schwannoma-Relation to Tumor Growth and Hearing Loss. Online. *Biomedicines*. Roč. 11, č. 1. ISSN 2227-9059. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/biomedicines11010032>. [cit. 2024-05-04].

THAI, Nghia Le Ba; MAI, Nhu Y.; VUONG, Nguyen Lam; TIN, Nguyen Minh; KARAM, Dina et al., 2022. Treatment for vestibular schwannoma: Systematic review and single arm meta-



analysis. Online. *American Journal of Otolaryngology*. Roč. 43, č. 2. ISSN 01960709. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2021.103337>. [cit. 2024-05-17].

TIGHILET, Brahim a CHABBERT, Christian, 2019. Adult neurogenesis promotes balance recovery after vestibular loss. Online. *Progress in Neurobiology*. Roč. 174, s. 28-35. ISSN 03010082. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2019.01.001>. [cit. 2024-06-15].

VAN VUGT, Vincent A; DE KRUIF, Anja JThCM; VAN DER WOUDE, Johannes C; VAN DER HORST, Henriëtte E a MAARSINGH, Otto R, 2020. Experiences of patients and physiotherapists with blended internet-based vestibular rehabilitation: a qualitative interview study. Online. *BJGP Open*. 2020-12-15, roč. 4, č. 5. ISSN 2398-3795. Dostupné z: <https://doi.org/10.3399/bjgpopen20X101092>. [cit. 2024-06-24].

VAN VUGT, Vincent A; VAN DER WOUDE, Johannes C; ESSERY, Rosie; YARDLEY, Lucy; TWISK, Jos W R et al. Internet based vestibular rehabilitation with and without physiotherapy support for adults aged 50 and older with a chronic vestibular syndrome in general practice: three armed randomised controlled trial. Online. *BMJ*. ISSN 0959-8138. Dostupné z: <https://doi.org/10.1136/bmj.l5922>. [cit. 2024-04-21].

WASANO, Koichiro; OISHI, Naoki; NOGUCHI, Masaru; HENTONA, Ko; SHINDEN, Seiichi et al., 2021. Sudden sensorineural hearing loss in patients with vestibular schwannoma. Online. *Scientific Reports*. Roč. 11, č. 1. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80366-2>. [cit. 2024-05-18].

WERNEKE, Mark W; DEUTSCHER, Daniel; GRIGSBY, David; TUCKER, Carole A; MIODUSKI, Jerome E et al., 2021. Telerehabilitation During the COVID-19 Pandemic in Outpatient Rehabilitation Settings: A Descriptive Study. Online. *Physical Therapy*. 2021-07-01, roč. 101, č. 7. ISSN 0031-9023. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab110>. [cit. 2024-06-08].

YAO, Longping; ALAHMARI, Mohammed; TEMEL, Yasin a HOVINGA, Koos, 2020. Therapy of Sporadic and NF2-Related Vestibular Schwannoma. Online. *Cancers*. Roč. 12, č. 4. ISSN 2072-6694. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/cancers12040835>. [cit. 2024-04-02].

ZUNIGA, Steven A. a ADAMS, Meredith E., 2021. Efficient Use of Vestibular Testing. Online. *Otolaryngologic Clinics of North America*. Roč. 54, č. 5, s. 875-891. ISSN 00306665. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.otc.2021.05.011>. [cit. 2024-06-09].

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Audiogram u zdravé strany (modrá) a audiogram u VS (červená), (Salmon et al., 2023)

Obrázek 2: Fyziologická křivka (Deshpande et al., 2013)

Obrázek 3: Křivka u pacienta s VS (Deshpande et al., 2013)

Obrázek 4: MRI snímek vestibulárního schwannomu (Lassaleta et al., 2024)

Obrázek 5: MRI snímek vestibulárního schwannomu (Lin a Crane, 2017)

Obrázek 6: Hodnotící škála dle Koose (Kalitová et al., 2019)

Obrázek 7: Hannoverská klasifikační škála

Obrázek 8: Schématické znázornění neurální aktivity (sp/s – počet impulsů za sekundu) vestibulárních nervů obou labyrintů. **(A)** Příklad při zdravém labyrintu bez pohybu hlavy – symetrické tonické pálení labyrintů. **(B)** při rotaci hlavy k levé straně dochází ke zvýšení počtu impulsů z levého labyrintu. (Fetter, 2016)

Obrázek 9: Head-Impulse test a jeho provedení (Nelson et al., 2009)

Obrázek 10: Schématické znázornění cvičení VORx1 (Meldrum et al., 2019)

Obrázek 11, 12: Ukázka cvičení VORx2

Obrázek 13: Stoj spojný

Obrázek 14: Stoj spojný s pohyby hlavy

Obrázek 15: Tandemový stoj

Obrázek 16: Tandemový stoj s pohyby hlavy

Obrázek 17, 18: Mobilní aplikace Natural Metronome

Obrázek 19: Tandemová chůze

Obrázek 20: Tandemová chůze s pohyby hlavy