

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 6: Zdravotnictví

Vliv věku na rychlost stabilizace hladiny sluchového prahu u dětí s kochleárním implantátem

**Terezie Růžičková
Jihomoravský kraj**

Brno 2025

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

Obor č. 6: Zdravotnictví

Vliv věku na rychlost stabilizace hladiny sluchového prahu u dětí s kochleárním implantátem

The Influence of Age on the Speed of Stabilization of Hearing Threshold Levels in Children with a Cochlear Implant

Autoři: Terezie Růžičková

Škola: Gymnázium Matyáše Lercha, Brno, Žižkova 55

Kraj: Jihomoravský kraj

Konzultant: Ing. Jan Šíma

Brno 2025

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou práci SOČ vypracovala samostatně a použila jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná verze a elektronická verze soutěžní práce SOČ jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

V Brně dne 20.2.2025

Terezie Růžicková

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Janu Šimovi za cenné rady, trpělivost a odborné vedení, které mi pomohlo nejen při psaní této práce, ale i v rozvíjení sama sebe. Vaše ochota sdílet znalosti a zkušenosti pro mě bude inspirací i do budoucna.

Mé hluboké díky patří také mým rodičům, kteří mě vždy podporovali, povzbuzovali a věřili ve mě i v okamžicích, kdy jsem o sobě pochybovala. Bez jejich trpělivosti, lásky a nekonečné podpory by tato práce nikdy nevznikla.

Děkuji i bratrovi a všem ostatním, kteří mi na této cestě pomohli – ať už radou, povzbuzením, nebo jen obyčejným zájmem. Vaše podpora pro mě znamená víc, než slova dokážou vyjádřit.

Tato práce byla provedena za finanční podpory Jihomoravského kraje.



Anotace

Předložená práce SOČ se zaměřuje na analýzu a statistický rozbor dat od dětských pacientů, u kterých proběhla kochleární implantace. Cílem práce bylo porovnat vliv věku dítěte při implantaci kochleárního implantátu na dobu, během níž došlo k ustálení sluchového prahu, tedy na časovou stabilizaci.

Nejprve byla provedena literární rešerše zaměřená na kochleární implantáty, kochleární implantaci a audiologická vyšetření. Praktickým krokem bylo prozkoumání patientské dokumentace, získání hodnot z audiologických vyšetření (zejména audiogramů) a analýza těchto dat, která byla poskytnuta Klinikou dětské otorinolaryngologie FN Brno.

Výsledky analýzy ukázaly, že věk při implantaci má významný vliv na rychlost stabilizace sluchového prahu. Děti implantované do 2,4 let vykazovaly rychlejší a stabilnější adaptaci na nový sluchový stimul, zatímco u starších dětí byla stabilizace pomalejší a výsledky vykazovaly větší variabilitu. Tato zjištění naznačují, že včasná implantace vede k rychlejší stabilizaci sluchového prahu.

Ve statistickém rozboru jsem použila metody analýzy dat, které potvrdily vliv věku na rychlost stabilizace sluchového prahu. Tento výzkum přináší cenné informace pro optimalizaci rehabilitace dětí po kochleární implantaci a poskytuje základ pro další výzkum v oblasti kochleárních implantací a rehabilitace sluchového vnímání u dětí.

Klíčová slova

Kochleární implantáty, stabilizace sluchového prahu, audiogramy, statistika

Annotation

The presented SOČ thesis focuses on the analysis and statistical evaluation of data from paediatric patients who underwent cochlear implantation. The study aimed to compare the impact of the child's age at the time of cochlear implantation on the time it took for the hearing threshold to stabilize, i.e., the temporal stabilization.

First, a literature review focused on cochlear implants, cochlear implantation and audiological assessments. A practical step involved reviewing patient documentation, obtaining values from audiological tests (especially audiograms), and analysing the data provided by the Department of Paediatric Otorhinolaryngology at FN Brno.

The analysis results showed that the age at implantation significantly influences the speed of hearing threshold stabilization. Children implanted before 2.4 years exhibited a faster and more stable adaptation to the new auditory stimulus, while older children showed slower stabilization, and their results exhibited more significant variability. These findings suggest that early implantation leads to faster stabilization of the hearing threshold.

In the statistical analysis, I applied data analysis methods that confirmed the effect of age on the speed of hearing threshold stabilization. This research provides valuable information for optimizing rehabilitation in children after cochlear implantation. It lays the foundation for further study in the field of cochlear implants and auditory perception rehabilitation in children.

Keywords

Cochlear implants, Stabilization of hearing threshold, Audiograms, Statistics

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Teoretická část	10
2.1	Sluchové vady u dětí.....	10
2.1.1	Periferní nedoslýchavost	10
2.1.2	Centrální nedoslýchavost.....	13
2.2	Doba ztráty sluchu	15
2.2.1	Prelingvální.....	15
2.2.2	Postlingvální	15
2.2.3	Perilingvální.....	15
2.3	Kochleární implantáty	15
2.3.1	Historie	15
2.3.2	Kochleární implantáty v Česku.....	18
2.3.3	Stavba	19
2.3.4	Funkce	20
2.3.5	Výrobci.....	20
2.4	Audiologická vyšetření	20
2.4.1	Objektivní audiometrie.....	21
2.4.2	Subjektivní audiometrie.....	22
2.5	Kochleární implantace	23
2.5.1	Předoperační vyšetření	23
2.5.2	Schválení odbornou indikační komisí pro sluchové implantáty	24
2.5.3	Příprava k operaci	24
2.5.4	Operace.....	24
2.5.5	Postoperační péče o pacienta	26
3	Cíle práce	27
4	Materiál a metody	28
4.1	Data	28
4.2	Zpracování dat	29
4.3	Statistické analýzy	29
5	Výsledky	30
6	Diskuse	34

7	Závěr.....	36
8	Seznam literatury	38
9	Seznam obrázků	43
10	Seznam příloh	44

Seznam použitých zkratk

AHL	Asymmetric Hearing Loss (asymetrická porucha sluchu)
ART	Auditory Nerve Response Telemetry (měření odezvy sluchového nervu)
BERA	Brainstem Evoked Response Audiometry (vyšetření sluchu pomocí elektrických potenciálů mozkového kmene)
CERA	Cortex Electric Response Audiometry (vyšetření sluchu pomocí elektrických potenciálů mozkové kůry)
CT	Computed Tomography (výpočetní tomografie)
ČVUT	České vysoké učení technické
ESRT	Electrical Stapedial Reflex Threshold
FN Brno	Fakultní nemocnice Brno
FNHK	Fakultní nemocnice v Hradci Králové
FNM	Fakultní nemocnice Motol
FNUSA	Fakultní nemocnice u sv. Anny
FVL UK	Fakulta všeobecného lékařství Univerzity Karlovy (dnešní 1. LF UK)
KDORL	Klinika dětské otorinolaryngologie
KI	Kochleární implantát
LF	Lékařská fakulta
MATLAB	MATrix LABoratory
MRI	Magnetic Resonance Imaging (magnetická rezonance)
NIH	United States National Institutes of Health
ORL	Otorhinolaryngologie
SNHL	SensoriNeural Hearing Loss (porucha sluchu u které je poškozeno vnitřní ucho)
TEOAE	metoda Tranzientně Evokovaných OtoAkustických Emisí (zkráceně také OAE)

1 ÚVOD

Člověk má pět základních smyslů – zrak, čich, chuť, hmat a sluch. Z hlediska vnímání informací se za nejdůležitější považuje zrak. Bez schopnosti porozumění a vyjadřování však samotné vizuální vnímání nestačí. Proto hraje sluch klíčovou roli v raném vývoji dítěte, jelikož ovlivňuje jeho psychomotorický vývoj a schopnost komunikace. Pokud dítě od narození neslyší a nemá dostatečnou podporu v oblasti dorozumívání, například prostřednictvím znakového jazyka, může být jeho začlenění do společnosti výrazně obtížnější. Díky pokroku ve vědě, technice a medicíně však dnes existují technologie, které umožňují lidem se sluchovým postižením vést téměř plnohodnotný život. Mezi ně patří i kochleární implantát (KI), který pro některé jedince představuje jedinou možnost, jak získat sluchovou percepci a zapojit se do běžného života [1].

Hluchota a sluchové poruchy byly vnímány už od úplného začátku lidstva. Lidé se snažili najít způsoby, jak se s tímto handicapem vyrovnat. První pokusy o systematickou péči o neslyšící se objevily v 17. století v Anglii, Španělsku a dalších evropských zemích. Významný vliv na rozvoj této oblasti mělo období osvícenství, které přineslo důraz na lidský rozum, vědecký pokrok a snahu zlepšit kvalitu života prostřednictvím vědy. V té době vznikaly první metody komunikace pro sluchově postižené, jako byla daktylogie (jednoruční prstová abeceda), specializované vzdělávací ústavy nebo metody výuky mluvené řeči [2].

V historii se objevila řada sluchově postižených osobností, které se navzdory svému handicapu dokázaly prosadit. Mezi nejznámější patří skladatelé Ludwig van Beethoven, který trpěl těžkou převodní nedoslýchavostí, a Bedřich Smetana, jenž postupně zcela ohluchl. Významná je také Věra Strnadová, která ztratila sluch v dětství a později se věnovala psaní knih o problematice sluchově postižených. Dalším příkladem je Hieronymus Lorm, který v pubertě ohluchl a oslepl, ale přesto vynalezl dotekovou abecedu pro hluchoslepé. Významnou osobností byla i Helen Keller, hluchoslepá spisovatelka a aktivistka. Tito lidé, spolu s mnoha dalšími, přispěli k prosazování práv sluchově postižených a jejich začlenění do společnosti.

Cílem této práce je analyzovat souvislost mezi věkem, ve kterém je dítě implantováno, a rychlostí jeho adaptace na sluchový vjem. Předpokládáme, že nižší věk při implantaci vede k rychlejší adaptaci na nové podněty a lepší schopnosti porozumění v běžném prostředí. I když se jedná o dílčí výzkum, věřím, že výsledky mohou přispět k hlubšímu porozumění této problematice a stát se drobným střípkem v dalším vývoji péče o děti se sluchovým postižením.

„Slepota odděluje člověka od věcí, hluchota od lidí.“

HELEN KELLER

2 TEORETICKÁ ČÁST

Sluch hraje klíčovou roli v rozvoji řeči, komunikace a celkového kognitivního vývoje dítěte. Jakákoli porucha sluchu může významně ovlivnit nejen schopnost porozumění a vyjadřování, ale i sociální a emoční vývoj dítěte. Následující kapitoly se zaměřují na různé typy sluchových vad, jejich příčiny, diagnostiku a možnosti kompenzace. Porozumění těmto aspektům je zásadní pro včasnou intervenci a podporu dětí se sluchovým postižením, aby mohly co nejlépe rozvíjet své komunikační schopnosti a zapojit se do běžného života.

2.1 Sluchové vady u dětí

Sluchové vady u dětí představují závažný problém, který může výrazně ovlivnit jejich vývoj, zejména v oblasti řeči, komunikace a sociálních dovedností. Včasná diagnostika a vhodná intervence jsou klíčové pro zajištění co nejlepší kvality života. Příčiny sluchových vad mohou být vrozené nebo získané, a jejich včasné odhalení umožňuje zahájit potřebnou léčbu či rehabilitaci.

Dělení sluchového postižení

Poruchy sluchu se dělí podle místa poškození na:

- **Periferní nedoslýchavost:** Tato forma sluchového postižení se dále dělí na převodní a percepční nedoslýchavost. Převodní nedoslýchavost vzniká při poruše přenosu zvuku zevním nebo středním uchem. Percepční nedoslýchavost je způsobena poškozením vnitřního ucha nebo sluchového nervu.
- **Centrální nedoslýchavost:** Vzniká při poškození II. – IV. neuronu sluchové dráhy, přičemž hlavními příčinami bývají trauma nebo nádor. Tato forma nedoslýchavosti je často spojena s fokálním neurologickým deficitem.

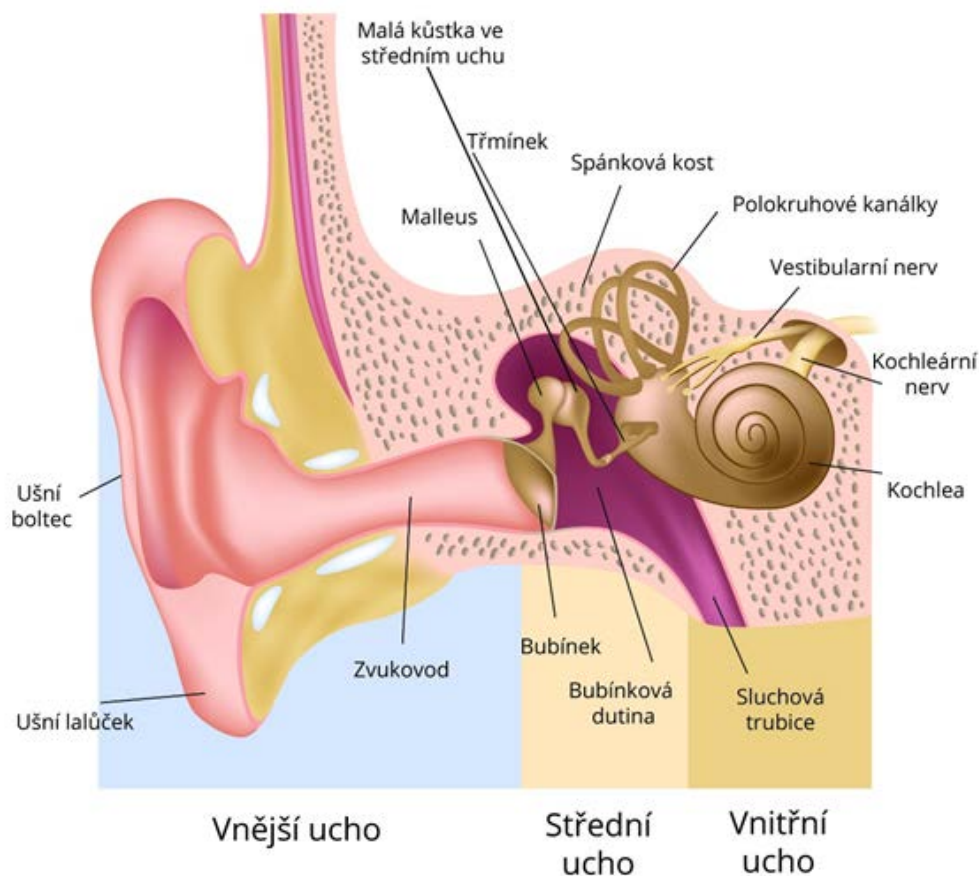
Sluchové vady lze také dělit podle původu na:

- **Vrozené (hereditární):** Jsou přítomny již při narození a mohou být způsobeny genetickými faktory nebo komplikacemi během těhotenství.
- **Získané během života:** Objevují se až po narození, často v důsledku infekcí, úrazů, hluku nebo jiných vlivů prostředí.

2.1.1 Periferní nedoslýchavost

a) Převodní nedoslýchavost

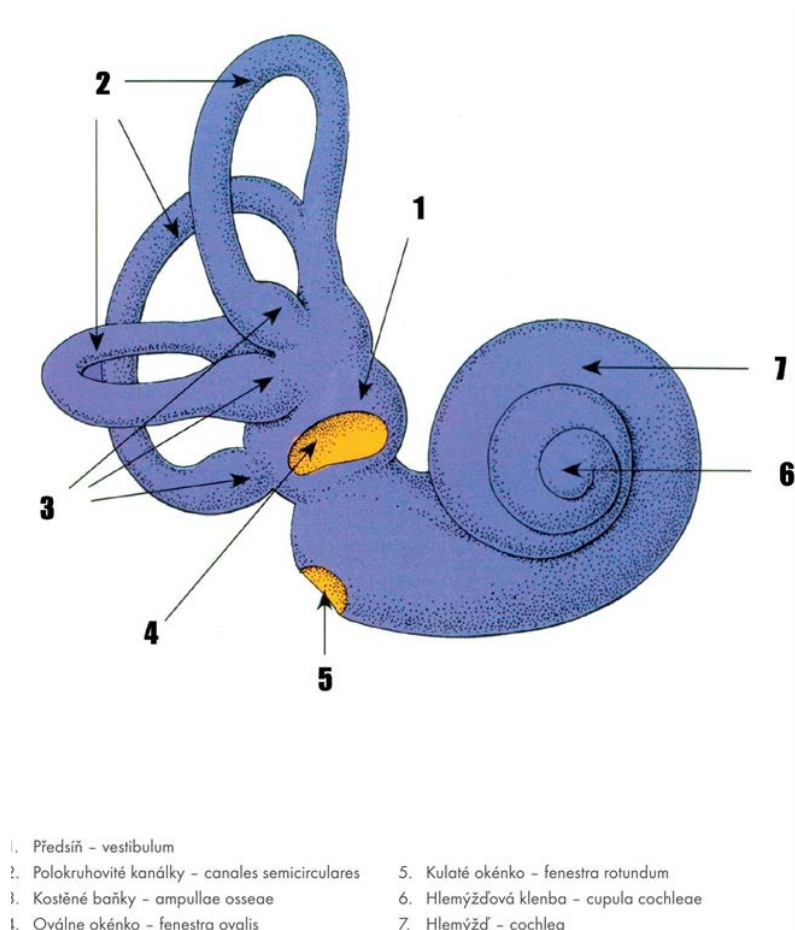
Při převodní nedoslýchavosti zvuky neprocházejí správně vnějším a středním uchem (obr. 1). Mezi příčiny patří infekce, nadměrné množství ušního mazu, tzv. plavecké ucho nebo zablokování ucha kvůli alergii. Některé z těchto problémů lze léčit léky, například infekce antibiotiky. Pokud se infekce často opakují, lékař může do ucha zavést drény. U těžších případů je nutná operace. Převodní nedoslýchavost způsobuje zeslabení sluchu, ale pokud se zvuk zesílí, postižený mu obvykle rozumí [3].



Obrázek 1: Model vnějšího a středního ucha [4]

b) Senzorineurální (percepční) nedoslýchavost

Porucha sluchu (SNHL – sensorineural hearing loss), vzniká poškozením vnitřního ucha, zejména vláskových buněk v hlemýždi (kochlei) nebo sluchového nervu (obr. 2) [5]. Poškození hlemýždě se nazývá kochleární porucha, zatímco poškození sluchového nervu retrokochleární porucha. Často bývá příčinou genetická vada. Jedním z nejčastějších genetických onemocnění spojených s dysfunkcí vnitřního ucha je mutace genu GJB2, který kóduje protein Connexin 26. Tento protein zajišťuje přenos iontů mezi buňkami v cochleě a udržuje správnou funkci sluchových buněk. Pokud je gen nefunkční, dochází k blokaci přenosu iontů, což narušuje sluchový signál a vede k vrozené nesyndromové percepční nedoslýchavosti či hluchotě. Mutace v GJB2 se dědí autosomálně recesivně, což znamená, že ke vzniku poruchy musí dítě zdědit mutovanou kopii genu od obou rodičů a patří mezi nejčastější genetické příčiny sluchových vad. K dalším příčinám patří infekce (např. meningitida) nebo komplikace během těhotenství. Tuto nedoslýchavost lze kompenzovat například kochleárním implantátem. Lidé s percepční nedoslýchavostí mají potíže se slyšením vysokých tónů a často říkají: Slyším, ale nerozumím [6].



Obrázek 2: Model vnitřního ucha [7]

c) Smíšená nedoslýchavost

Tato porucha kombinuje převodní i percepční složku.

Všechny vady mohou být jednostranné či oboustranné.

Asymetrická porucha sluchu (AHL – asymmetric hearing loss)

Vyznačuje se velkým rozdílem mezi sluchem v obou uších (>30 dB), v těžkých případech jde až o jednostrannou hluchotu [8].

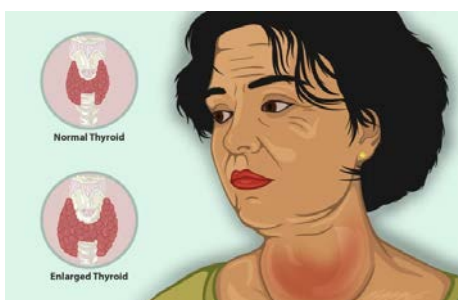
Symetrická porucha sluchu (oboustranná hluchota)

Postihuje obě uši rovnoměrně. Tato porucha se objevuje u 1–2 % novorozenců [9].

Dělení poruch sluchu podle syndromálního původu:

Syndromální porucha: Kromě sluchového postižení se objevují i jiné vrozené vady. Příklady jsou:

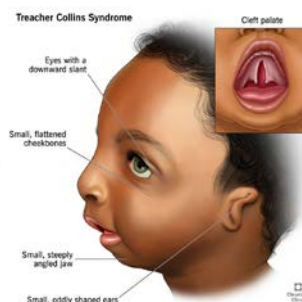
- *Pendredův syndrom* – kombinuje percepční nedoslýchavost s problémy štítné žlázy (obr. 3)
- *Cornelia de Lange syndrom* – projevuje se deformacemi uší a zvukovodů (obr. 4)
- *Treacher Collins syndrom* – způsobuje těžké deformace uší a obličeje [10] (obr. 5)



Obrázek 3 [11]



Obrázek 4 [12]



Obrázek 5 [13]

Nesyndromální porucha: Vyskytuje se samostatně, bez dalších vrozených vad [14].

2.1.2 Centrální nedoslýchavost

Centrální nedoslýchavost je typická nepřímou úměrností sluchovým prahem a porozuměním řeči. U méně závažných případů může být tónový audiogram zcela normální. Tato nedoslýchavost vzniká ve vyšších sférách CNS, především v mozkové kůře. Postižení mohou mít menší rozsah slovní zásoby, problém s identifikací zvuků a porozuměním slov. K centrální nedoslýchavosti mohou vést nádory, nebo může být pacient diagnostikován epileptickou aktivitou ve spánkovém laloku. Tento typ nedoslýchavosti se kompenzuje foniatrickou a logopedickou reedukací [15].

Úrovně ztráty sluchu

- **Nedoslýchavost:** Lidé s touto formou sluchové ztráty mají zhoršený sluch, ale mohou využívat sluchové pomůcky, jako jsou sluchadla, které jim pomáhají lépe slyšet a komunikovat.
- **Neslyšící:** Tento termín označuje lidi, kteří mají tak vážnou ztrátu sluchu, že sluchovými pomůckami (např. sluchadly) téměř vůbec neslyší. Tito lidé nemohou převádět zvuky do řeči a rozumět jim. Pro ně je možností kochleární implantát (KI), který je technologií, která může pomoci přenést zvukové impulzy přímo do sluchového nervu a do mozkových center zodpovědných za vnímání zvuku. KI využívá elektrody, které

nahrazují funkci vláskových buněk vnitřního ucha. Tímto způsobem mohou lidé slyšet a komunikovat [16].

Stupně sluchových ztrát (obr. 6):

a) Lehká ztráta sluchu

Člověk slyší běžné zvuky v rozsahu ztráty 20–40 dB. Může mít problémy s poslechem mluvené řeči, pokud je mluvčí ve větší vzdálenosti nebo je poslech rušen vnějším hlukem. Sluchadlo je v tomto případě vhodnou a účinnou kompenzací.

b) Středně těžká ztráta sluchu

Člověk slyší běžné zvuky v rozsahu ztráty 40–60 dB. Problémy s poslechem mluvené řeči se projevují, pokud pacient nemá sluchadlo, mluvčí je ve větší vzdálenosti nebo posluchač nemůže odezírat z jeho rtů, protože ho nevidí.

c) Těžká ztráta sluchu

Člověk se ztrátou sluchu v rozsahu 60–80 dB má významné problémy s poslechem mluvené řeči bez sluchové pomůcky.

d) Velmi těžká ztráta sluchu

Člověk se ztrátou sluchu v rozsahu 80–90 dB obvykle nereaguje na velmi silné zvuky.

e) Absolutní ztráta sluchu

Neslyšící lidé obvykle mají sluchovou ztrátu 90 dB a vyšší [17].

Sluchové ztráty			
Stupeň	Velikost ztráty sluchu podle WHO	Názvy sluchových ztrát	kategorie podle vyhlášky MPSV č.284/1995 Sb.
1.	0–25 dB	normální sluch	
2.	26–40dB	lehká ztráta sluchu lehká nedoslýchavost	lehká nedoslýchavost (již od 20 dB)
3.	41–55dB	střední ztráta sluchu střední nedoslýchavost	středně těžká nedoslýchavost
4.	56–70dB	středně těžká ztráta sluchu	těžká nedoslýchavost
5.	71–90dB	těžká ztráta sluchu těžké postižení sluchu	praktická hluchota
6.	91 dB a více (body v audiogramu i nad 1 kHz)	velmi těžká sluchová ztráta	hluchota
7.	91 dB a více (v audiogramu žádné body nad 1 kHz)	velmi těžká sluchová ztráta	úplná hluchota

Obrázek 6: Popis stupně sluchových ztrát [18]

2.2 Doba ztráty sluchu

2.2.1 Prelingvální

Prelingválně neslyšící jsou děti, které ohluchly před naučením mluvené řeči. Tento stav může být vrozený, nebo může nastat v raném věku. Děti, které ztratily sluch před rozvojem řeči, se musí mluvenou řeč učit cíleně. Pokud dítě dostane kochleární implantát v raném věku, může si řeč osvojit přirozeně, podobně jako dítě s normálním sluchem.

2.2.2 Postlingvální

Postlingválně neslyšící jsou lidé, kteří ohluchli až po naučení mluvené řeči. Toto postižení může nastat v jakémkoli věku. U těchto lidí je přeučování mluvené řeči obvykle jednodušší, a protože již umí mluvit, nejčastěji komunikují verbálně. Většina pacientů využívá kochleární implantát k opětovnému získání sluchu.

2.2.3 Perilingvální

Perilingválně neslyšící jsou lidé, kteří ohluchli v období vývoje řeči, tedy přibližně do věku 14 let. Kochleární implantát jim může pomoci správně pokračovat ve vývoji řeči, nebo u starších dětí, které již řeč ovládaly, jim umožní znovu aktivně komunikovat [19, 20, 21].

2.3 Kochleární implantáty

Kochleární (nitroušní) implantát je elektronická funkční smyslová náhrada, která neslyšícím přenáší sluchové vjemy přímou elektrickou stimulací (drážděním) sluchového nervu uvnitř hlemýžďe vnitřního ucha [22].

Může se použít u ohluchlého člověka v každém věku, nebo u dětí, které se narodí jako neslyšící [23].

Děti s tímto implantátem lépe prospívají v prostředí, ve kterém se používá mluvená řeč a vnímání sluchem. Po operaci je nutná dlouhá odborná rehabilitace. Rodiče s dítětem čeká náročná práce hlavně v oblasti naslouchání a rozvíjení komunikačních schopností [24].

2.3.1 Historie

První experimenty s elektrickou stimulací sluchového nervu zasahují do první poloviny 20. století. V roce 1930, Ernest Glen Wever, profesor psychologie na Princetonu a jeho výzkumný asistent Charles Bray, provedli pokus, při kterém stimulovali sluchový nerv kočky. Tento experiment prokázal, že frekvence odpovědi ve sluchovém nervu odpovídá frekvenci sluchového vjemu. Do historie se pokus zapsal jako „kočičí telefon“. Tento „Wever-Brayův efekt“ nabízí možnost znovureplikace potenciálů. Tímto způsobem by šel ztracený nebo zcela chybějící sluch navrátit [25].

Roku 1957, André Djourno a Charles Eyriès, provedli první přímou elektrickou stimulaci lidského sluchového aparátu. Pacientovi zbýval pouze zbytek sluchového nervu na obou stranách z předcházejících operací uší. Eyriès při operaci vložil pacientovi do jednoho ucha speciálně designované elektrody, a navíc do spánkového svalu indukční cívku a zpětnou

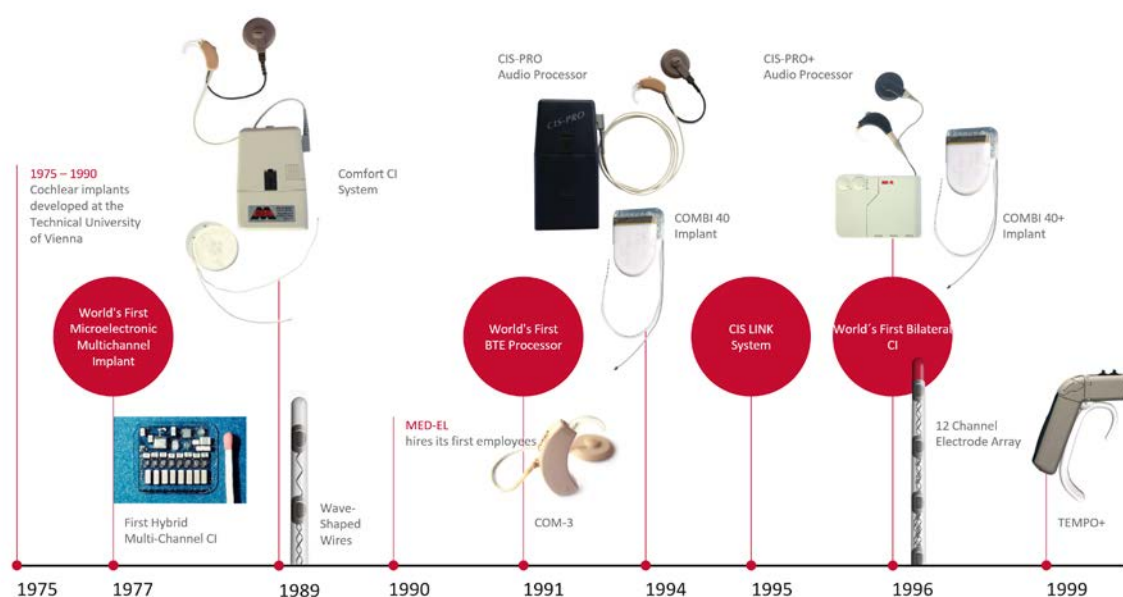
elektrodu. Při pooperačních testech se zjistilo, že pacient je schopen rozeznat různé hladiny intenzit zvuku. Bohužel pacient rozeznal pouze pár slov, nezvládl porozumět přirozené řeči a identifikovat různé mluvčí. Implantované zařízení selhalo pár týdnů po implantaci. Po neúspěšných pokusech se Eyriès rozhodl ve výzkumu nepokračovat [26].

Výzkum jako takový moc úspěchu nepřinesl, ale to se nedá tvrdit o publikaci výsledků. K jednomu z výtisků francouzského lékařského magazínu *La Presse Médicale* se dostal doktor William F. House. Článek a publikace demonstrovaly možnost vyvolání sluchových vjemů přímou elektrickou stimulací na sluchový nerv. Tento fakt inspiroval House na vytvoření sluchové protézy pro neslyšící, která by byla spolehlivá a funkční po celý život pacienta.

V roce 1961 House spojil síly s dr. Johnem Doylem, který se specializoval na neurochirurgii, na první implantaci. Výsledky byly slibné: pacient rozeznal základní hladiny frekvencí a pár slov. Nicméně, nevyhovující biokompatibilita elektrod vedla ke komplikacím, které vyžadovaly odstranění elektrod a další testování. Strach z infekcí a odmítnutí elektrod donutili House odložit práci na implantátech na dalších pár let. Doyle však pokračoval v implantacích. Doylevy operace přerušil nedostatek financování, ale House se znovu začínal o implantáty zajímat při rozvoji jiných kompenzačních pomůcek, kardiostimulátorů.

Kochleární implantáty se celou dobu potýkaly s kontroverzí. Až United States National Institutes of Health (NIH) pověřil univerzitu v Pittsburgu výzkumem o zhodnocení výkonu tehdejších kochleárních implantátů. Výsledky pozitivně zhodnotily kvalitu života subjektů. Čtení z rtů a řeč subjektů byly výrazně lepší s KI než bez něj. Zpráva způsobila podstatnou změnu ve vnímání KI jak u NIH, tak i dalších expertů po celém světě. Implantáty získaly respekt v medicínských a vědních kruzích. Podpora pro výzkum a vývoj KI začala krátce po zveřejnění zprávy, v roce 1978 [27].

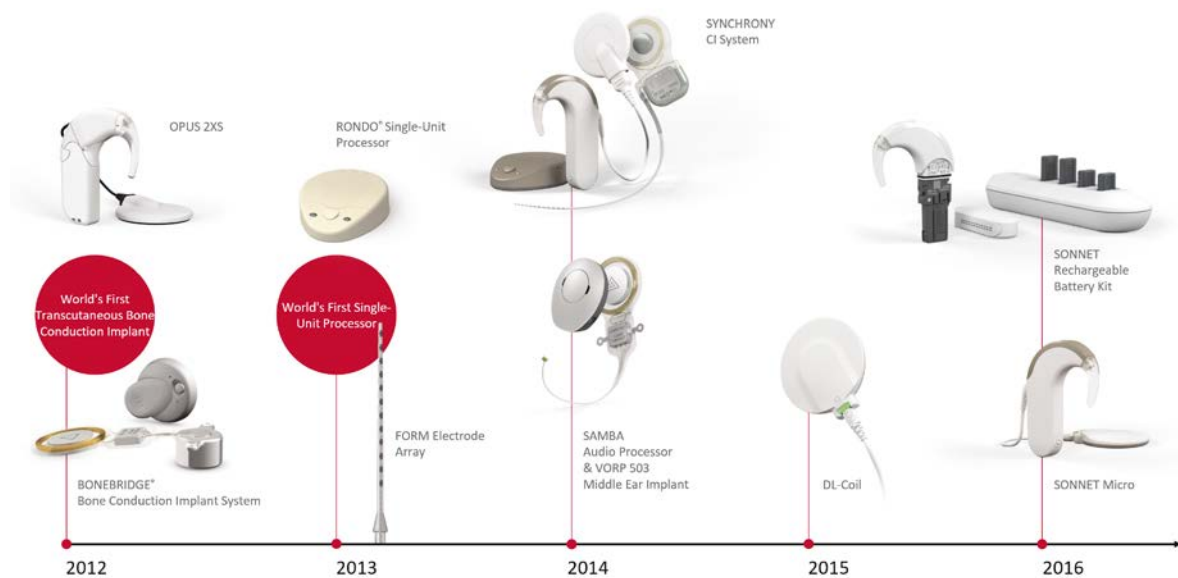
Historie v obrazech:



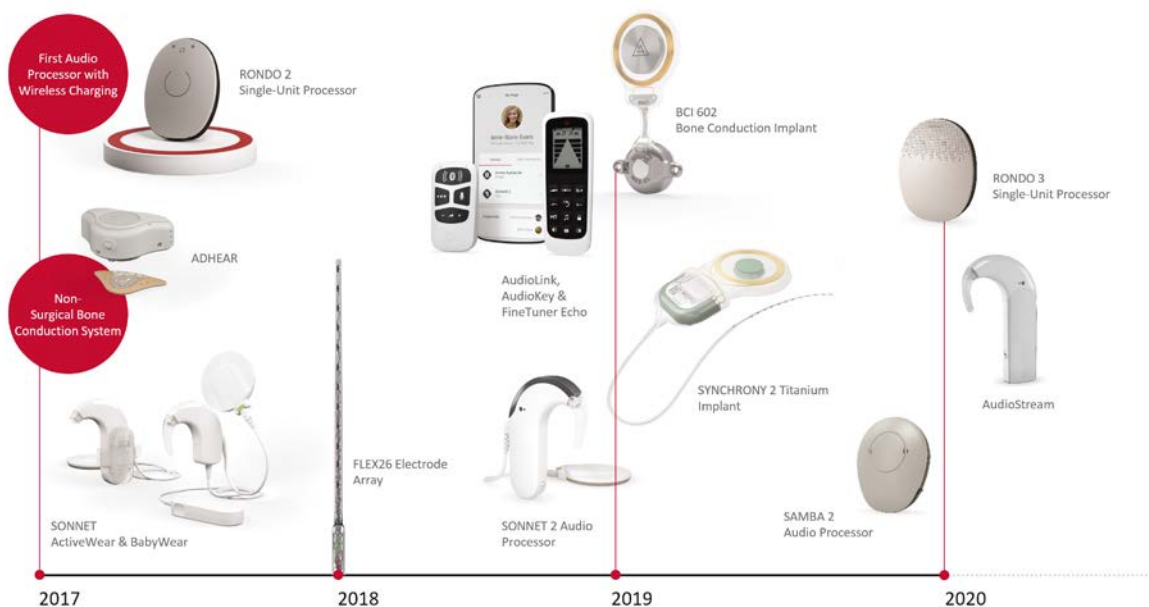
Od počátků v roce 1975, přes keramický implantát COMBI 40 v roce 1994, až po, ve světě první, oboustrannou implantaci 1996,



od středoušního implantátu Vibrant SOUNDBRIDGE 2003, po jemné elektrody řady Flex,



v roce 2012 implantační systém pro kostní slyšení BONEBRIDGE, po externí nabíjení řečových procesorů 2016,



v roce 2017 vibrační sluchadlo ADHEAR, až v roce 2020 procesory RONDO 3 a SAMBA 2.

Obrázek 7: Historický vývoj kochleárních implantátů [28]

2.3.2 Kochleární implantáty v Česku

V Československu koncem osmdesátých let 20. století byla vyvinuta kochleární neuroprotéza týmem Laboratoře elektronických smyslových náhrad Ústavu fyziologických regulací Československé akademie věd. První českou kochleární neuroprotézu implantoval dospělému muži profesor Jan Betka a asistent doktor Jaroslav Valvoda 19. ledna 1987 na Klinice ORL FVL UK v Praze. Lékařským úspěchům oponovaly technické problémy.

Po sametové revoluci zanikl výrobce implantátu – společnost Tesla Valašské Meziříčí. Tím skončilo první období vývoje. V roce 1992, tým z ČVUT, začal spolupracovat s australskou firmou Cochlear, která byla uznávaným výrobcem kochleárních implantátů. Jejich produkt Nucleus 22 byl ve stejném roce implantován prvnímu českému pacientovi v Hannoveru.

O rok později vznikl v Praze na Otolaryngologické klinice 2. LF UK FN Motol Program kochleárních implantátů u dětí, u jehož zrodu stál chirurg Zdeněk Kabelka [29].

Dnes je v České republice šest implantačních center. Dvě taková jsou v Brně: Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku ve FN u sv. Anny, která se specializuje na pacienty starší 18 let a Klinika dětské otorinolaryngologie Fakultní nemocnice Brno, která se stará o dětské pacienty. Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku Fakultní nemocnice v Hradci Králové (ORL FNHK) implantuje dospělé i děti. Dalším centrem, tentokrát ve středních Čechách, je Fakultní nemocnice v Motole, Klinika ušní, nosní a krční UK 2. LF a FNM. Toto centrum je také prvním pracovištěm, ve kterém došlo k první kochleární implantaci. Dospělé pacienty implantuje Fakultní nemocnice v Motole, Klinika ORL a chirurgie hlavy a krku UK 1.LF. [28] Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku

Fakultní nemocnice Ostrava nejdříve poskytovala komplexní pooperační péči pacientům implantací v Praze, která byla touto dobou jediným implantačním centrem v ČR. Ostravská klinika se stala druhým implantačním centrem v ČR a pečuje o děti i dospělé [30].

2.3.3 Stavba

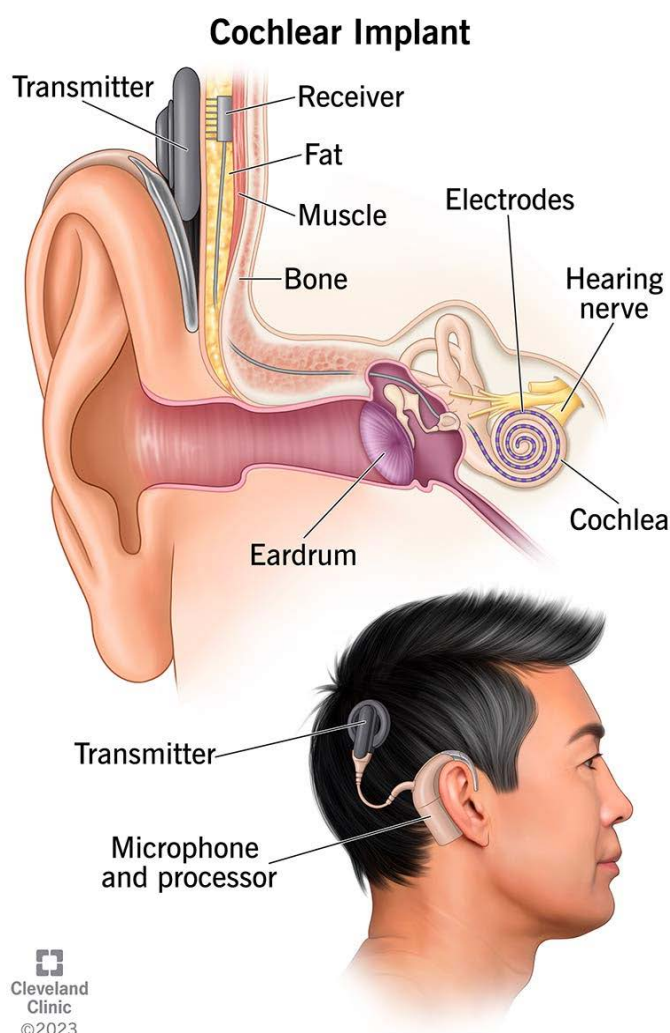
Kochleární implantát je tvořen vnější a vnitřní částí.

Vnější část se skládá ze tří základních částí. Mikrofon, vysílací cívka a zvukový procesor, který zpracovává a upravuje přicházející zvuky.

- Mikrofon – nosí se zavěšený za uchem podobně jako sluchadla.
- Vysílací cívka – je připevněna magnetem na vnější straně hlavy v místě skalní kosti přímo nad implantátem.
- Zvukový procesor – jsou dva způsoby nošení tohoto procesoru, buď je zabudován společně s mikrofonem v jednom krytu a je připevněn za ucho, nebo se nosí připevněný v kapse na těle nebo opasku. Jedná se o tzv. krabicový procesor [31].

Vnitřní část je složena z přijímače (stimulátoru) a svazku elektrod.

- Přijímač – je tělem celého kochleárního implantátu. Má počítačový čip. Ten je chráněn pouzdem z titanu a silikonového obalu. Je umístěn pod kůží ve skalní kosti a spojen s vysílací cívkou magnetem.
- Svazek elektrod – vychází z přijímače a je veden přímo sluchovým hlemýžděm, jeho tvaru se přizpůsobí. Počet elektrod se u firem liší. Pro firmu Cochlear je počet obvykle 22 a 2 elektrody referenční [31].
- Rakouská firma MED-EL má 16 elektrod a jednu referenční, která je zároveň tělem implantátu.



Obrázek 8: Stavba kochleárního implantátu [32]

2.3.4 Funkce

Sluchadla převážně zesilují zvuk. Kochleární implantáty fungují jinak – obcházejí poškozenou část ucha a přímo stimulují sluchový nerv. Díky tomu je zvuk jasnější a zlepší se vám schopnost rozumět řeči. Kochleární implantáty nahrazují funkci poškozených smyslových vláskových buněk uvnitř vnitřního ucha [33].

Proces poslechu je zahájen absorbováním zvukových vln pomocí vnějších komponentů, které předávají zvukové informace zvukovému procesoru. V procesoru jsou nejdůležitější signály přeměněny na digitální informace a odeslány do interního implantátu pomocí cívky vysílače.

Zde je další konverze – na elektrické impulsy, které se předávají elektrodám v hlemýždi. S pomocí elektrod je nyní spuštěna elektrická stimulace sluchového nervu, aby se impulsy přenesly do mozku. V mozku jsou elektrické signály konečně identifikovány jako šum a vytváří se dojem poslechu [34].

2.3.5 Výrobci

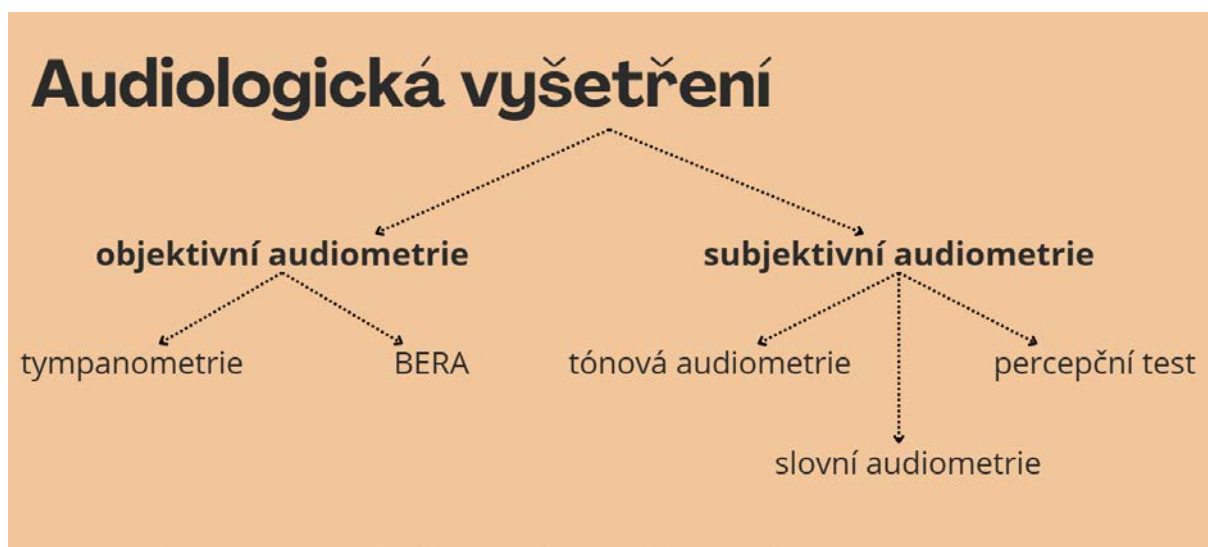
Na našem trhu působí tři společnosti vyrábějící kochleární implantáty – Advanced Bionics z USA, Cochlear Limited z Austrálie a MED-EL z Rakouska [29]. Dále v práci se budeme věnovat jen pacientům se značkou MEDEL, protože jich je nejvíce.

2.4 Audiologická vyšetření

Diagnostika sluchových vad je především práce audiologa a foniatra.

Hlavní a důležitou metodou je audiometrie. K diagnóze využívá audiometry.

Audiometry jsou přístroje, které do sluchátek nebo do kostního vibrátoru generují tóny s nastavitelnou výškou a hladinou intenzity. Při audiometrii se určuje sluchový práh pro čisté tóny v rozsahu 125 až 8000 Hz v oktávových skocích. Grafickým znázorněním sluchového prahu je tzv. audiogram [35].



Obrázek 9: Typy a rozdělení audiologických vyšetření (vlastní tvorba)

2.4.1 Objektivní audiometrie

Objektivní audiometrie se testuje bez spolupráce pacienta. Screeningové vyšetření má za úkol zachytit děti, které by měly mít sluchovou poruchu. K vyšetření se používá metoda tranzientně evokovaných otoakustických emisí (TEOAE, nebo zkráceně jen OAE) [36].

Cortiho orgán (*organum spirale*) vytváří nervový impuls z mechanické energie zvukových vln. Pokud má pacient sluchovou vadu, objeví se při vyvolávání emisí odezva se zpožděním nebo vůbec. Tato metoda se využívá nejčastěji při screeningu novorozenců.

Odpovědi ve formě elektrického napětí lze snímat pomocí stimulace hlemýžďe (elektrokochleografie), z mozkového kmene (BERA) nebo mozkové kůry (CERA) [35, 37].

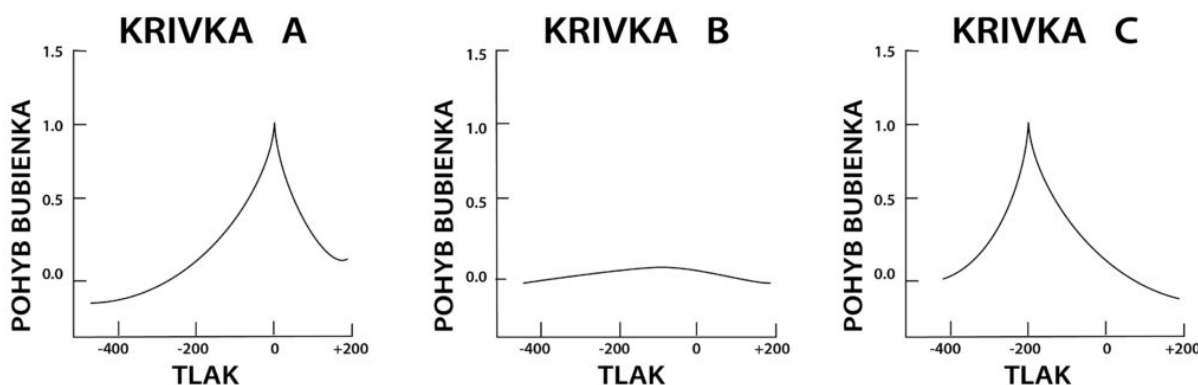
Impedanční audiometrie/tympanometrie – jedna z diagnostických metod při vyšetření sluchu. Měří množství akustické energie odražené od bubínku. Část energie dopadající na bubínek se přenáší dále do středoušního systému a dál do středního ucha (*auris media*). Měření probíhá v zevním zvukovodu (*meatus acusticus externus*).

Grafem impedanční audiometrie jsou tympanometrické křivky. Tympanometrické křivky se nejčastěji hodnotí klasifikací dle Jergera: základní křivky jsou A, B, C.

Křivka A je fyziologická s vrcholem při nulových hodnotách tlaku. Vrchol značí zároveň hodnotu aktuálního tlaku ve středouši (tlaky na obou stranách bubínku jsou stejné).

Křivka B je bezvrcholová. Od bubínku se při různých tlacích v zevním zvukovodu odráží stále stejné množství zvuku. Příčinou je zvýšená tuhost systému bubínek – středouší, nejčastěji způsobená přítomností sekretu ve středoušní dutině za celistvým bubínkem.

Křivka C znamená poruchu ventilační funkce Eustachovy tuby. Vrchol je u této křivky posunut do negativních hodnot tlaku [14].



Obrázek 10: Impedanční křivky [38]

BERA (brainstem evoked response audiometry) vyšetřuje sluch pomocí elektrických potenciálů mozkového kmene v odpovědi na akustický podnět. Pomocí sluchátek jsou podněty přiváděny pacientovi do sluchového aparátu a elektrody upevněné na jeho hlavě zaznamenávají odpovědi. Provádí se při vyšetření otoakustických emisí při screeningu novorozenců [39].

2.4.2 Subjektivní audiometrie

Při subjektivní audiometrii je nutná spolupráce pacienta.

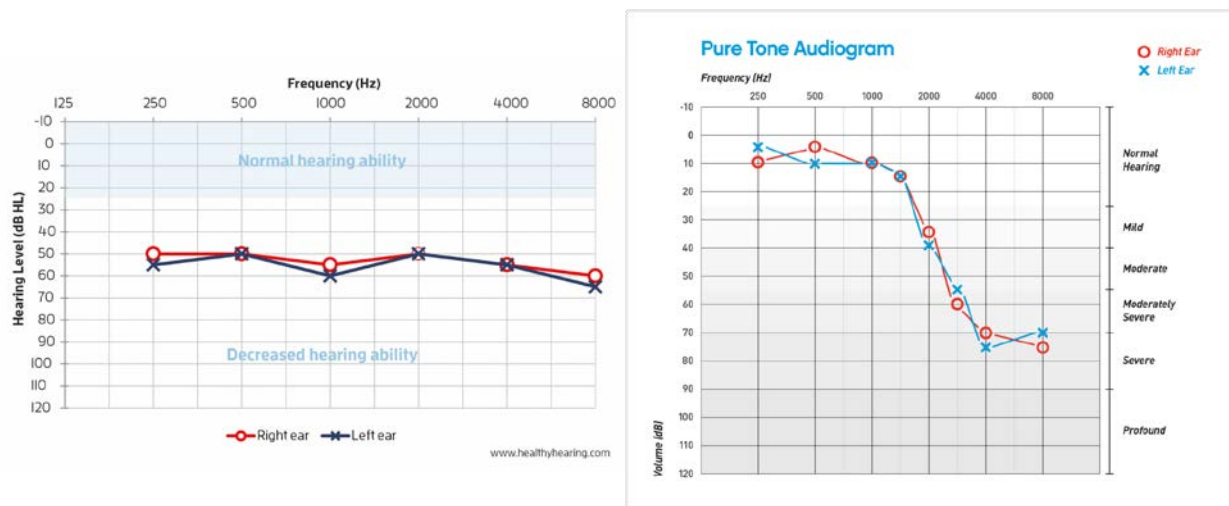
Tónová audiometrie je jedna z diagnostických metod, fungující na principu stanovení prahu pro jednotlivé frekvence pomocí tónového generátoru na jednotlivých frekvencích.

Rozsah testovaných frekvencí je od 125 do 8 000 Hz (zdravé lidské ucho je schopno vnímat 16–20 000 Hz) (akustické vlnění s nižší f =infrazvuk, vyšší f =ultrazvuk). Testovaných frekvencí je 8: 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 3 kHz, 4 kHz, 6 kHz, 8 kHz.

Vyšetření probíhá v tzv. tiché komoře. Tichá komora je zvukotěsná místnost nebo box. Vyšetřující, většinou audiologická sestra, postupně zesiluje intenzitu čistého tónu a v okamžiku, kdy vyšetřovaný signalizuje, že tón slyší, si vyšetřující zaznamená hladinu intenzity zvuku, pak přejde k dalšímu tónu [40].

Zvuk v tiché komoře můžeme vést dvojím způsobem: vzdušným vedením a kostním vedením. Vzdušným vedením vyšetřujeme pacienta pomocí sluchátek. Po vyslání čistého tónu pacient zareaguje, jestli tón slyšel, nebo ne. V lékařském grafu (audiogramu) se údaje o pravém uchu značí **červeným O**, levé ucho se značí **modrým X**. Dané naměřené hodnoty jsou v grafu spojeny nepřerušovanou čarou. Kostním vedením vyšetřujeme pacienta pomocí kostního vibrátoru, který naléhá a rozechvívá *processus mastoideus*. Po vyslání čistého tónu pacient zareaguje, jestli tón slyšel, nebo ne.

V lékařském grafu (audiogramu) (obr. 10) se údaje o pravém uchu značí **červeným <**, levé ucho se značí **modrým >**. Dané naměřené hodnoty jsou v grafu spojeny přerušovanou čarou [41].



Obrázek 11: Vzorové náhledy audiogramů špatně slyšícího člověka [42]

Pacient může na vnímaný daný tón reagovat různými způsoby a zde je uvedeno jakými:

- **Klasická tónová audiometrie:** pacient reaguje zmáčknutím přítomného tlačítka. Tato metoda se využívá u školních dětí a dospělých.
- **Klasická tónová audiometrie u dětí:** pacient reaguje zvednutím ruky. Tato metoda se využívá u dětí školního věku.

- **Tónová audiometrie hrou:** pacient reaguje stavěním kostek, navlékáním kroužků na tyč nebo jinou formou hry. Tato metoda se využívá u dětí starých 2–3 roky. Měření probíhá bez sluchátek, malé děti sluchátka nevnímají pozitivně, mohlo by to ovlivnit výsledky.
- **Behaviorální audiometrie:** pacient vykazuje nespecifické reakce jako mrknutí, přerušení činnosti, otočení za zvukem a další. Tato metoda se využívá a dětí ve věku 6–24 měsíců. Kromě tónů mohou být podnětem i další zvuky, většinou z reproduktorů [14, 43].

Slovní audiometrie je jedna z diagnostických metod při vyšetření sluchu. Pacient opakuje slova přehrávaná v různé intenzitě. Vyšetření probíhá stejně jako u tónové audiometrie ve zvukotěsné komoře. Zdrojem zvukových podnětů může být mikrofon, nebo nahrávka na nosiči (CD). Typicky je prezentováno 10 slov na stejné intenzitě a z počtu správných odpovědí je vypočítáno procento srozumitelnosti. Základními popisovanými hodnotami jsou 50 % rozumění – práh rozumění (tam, kde pacient dosahuje aspoň 50 % srozumitelnosti) a nejnižší hodnota na které pacient rozumí nejvíce (nejčastěji 100 %) [14].

Percepční test – metoda pro děti, které nezvládnou mluvit srozumitelně nebo jsou věkově nižší. Mají před sebou obrázky a z audiometrického reproduktoru zazní „ukáž auto“ a dítě musí ukázat na výběru cca 10 obrázků auto apod. Takto se zkouší 5 nebo u větších dětí 10 slov.

2.5 Kochleární implantace

Kochleární implantát je zařízení, jehož účelem je nahradit lidský sluch. KI je určen pro pacienty s velmi těžkou senzorineurální (percepční) vadou sluchu (přes 75 dB), kdy již klasická sluchadla zpravidla nepomáhají. Toto se vyšetřuje audiologickými metodami jako je audiometrie a BERA. V některých případech je možné pomocí kochleárního implantátu řešit i jednostrannou hluchotu. KI je zaváděn do spánkové kosti během operačního zákroku, který se nazývá kochleární implantace [44].

2.5.1 Předoperační vyšetření

Pokud je dítěti doporučen KI, musí před operací projít sérií předoperačních vyšetření. Aby bylo ověřeno, zda je KI vhodný, je třeba absolvovat tato vyšetření:

- ORL vyšetření (základní ORL vyšetření včetně mikroskopického vyšetření ucha, vyšetření tónovou audiometrií a slovní audiometrie, v některých případech objektivní audiometrie – BERA) – toto je zpravidla provedeno již při první návštěvě
- Vyšetření rovnovážného ústrojí na naší otoneurologické ambulanci
- Vyšetření klinickým logopedem
- Vyšetření klinickým psychologem
- CT (výpočetní tomografie) + MRI (magnetická rezonance) vyšetření spánkových kostí
- V některých případech mohou být indikována i další specializovaná vyšetření [45]

Výše uvedená vyšetření je možné provádět ambulantně nebo za krátkodobé hospitalizace tzv. diagnostického pobytu (zpravidla 2 dny).

2.5.2 Schválení odbornou indikační komisí pro sluchové implantáty

Výsledky výše uvedených vyšetření jsou hodnocena týmem ušních chirurgů, foniatrů a logopedů. Na základě pečlivé analýzy vyšetření se indikační komise dohodne, zda pacientovi kochleární implantaci doporučuje či nikoliv.

2.5.3 Příprava k operaci

Pokud je pacient indikační komisí doporučen k implantaci, je naplánován termín operace a vydána doporučení pro předoperační interní vyšetření. V rámci této přípravy také probíhá na výběr implantátu a typu audioprocessoru – v tomto je maximální snaha respektovat a zohlednit přání pacienta [46, 47].

2.5.4 Operace

Kochleární implantace je operace, při které je do hlavy voperován kochleární implantát. Provádí se v celkové anestezii. Operace trvá 2-3 hod. Principem je vytvoření šetrného přístupu do vnitřního ucha přes spánkovou kost a následně zavedení elektrodového svazku implantátu do hlemýždě. Během operace je prováděno kontrolní měření, díky kterému je možné ověřit funkčnost zavedených elektrod i celého implantátu a je také možné detekovat odezvy sluchového nervu pacienta. Během operace je přítomen specializovaný tým odborníků. Zpravidla se jedná o jednoho či dva ušní chirurgy, instrumentační sestru, pomocnou sestru a klinického inženýra. Většina operace je prováděna pod operačním mikroskopem, je používána speciální ušní fréza (vrtačka) a speciální mikrochirurgické nástroje. Standardně je také používána monitorace funkce lícního nervu, díky čemuž je významně sníženo riziko jeho poranění.

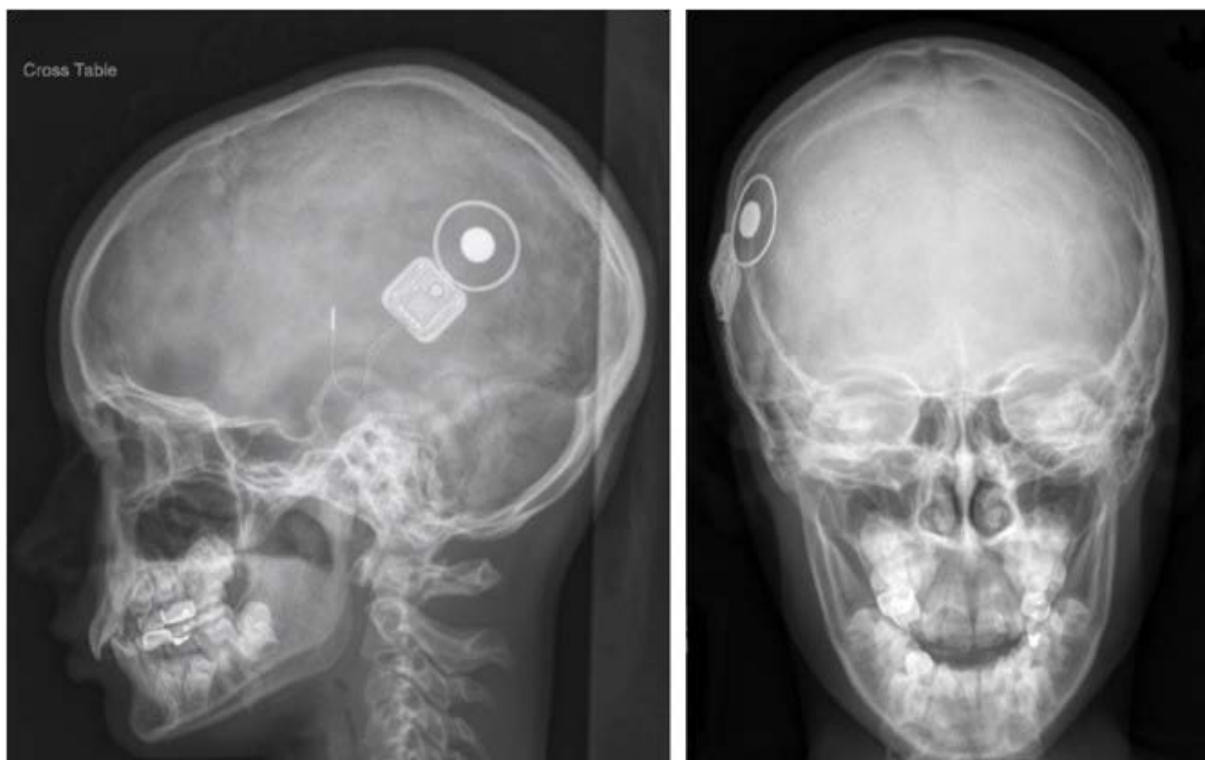
Postup implantace kochleárního implantátu podle FNUSA Brno, obrazová dokumentace v příloze 3:

1. Označení místa pro implantát: Nejprve lékař označí, kam se bude implantát zavádět.
2. Řez za uchem: Udělá se řez za uchem (retroaurikulární incize), aby se dostal k lebce.
3. Přípravení svalového laloku: Svalový lalok se opatrně odklopí, aby bylo místo pro implantát.
4. Vyvrtání otvoru do kosti: Proveďte se kortikální antromastoidektomie, což znamená, že se odvrtá část kosti za uchem.
5. Zadní přístup do středního ucha: Udělá se otvor (zadní tympanotomie), kterým se lékař dostane do středního ucha.
6. Příprava místa pro implantát: Vytvoří se prostor pro tělo implantátu.
7. Odhalení kulatého okénka: Najde se kulaté okénko v uchu, které je částečně zakryté kostí.

8. Obroušení kostního převisu: Kostní převis nad kulatým okénkem se opatrně odstraní diamantovou frézou.
9. Otevření membrány kulatého okénka: Lékař jemně odklopí část membrány kulatého okénka.
10. Přípravení místa pro elektrody: Otevřeným kulatým okénkem se vytvoří přístup pro vložení elektrod.
11. Zavedení elektrod: Do vnitřního ucha se zavede svazek elektrod (např. MED-EL FLEX).
12. Kontrola elektrod: Během operace se změří, jestli elektrody správně fungují (impedance a odpověď sluchového nervu – ART).
13. Měření reflexu: Zkontroluje se, zda elektrické impulsy vyvolávají reflex ve třmínku (ESRT).
14. Upevnění elektrod: Elektrody se zafixují kostní drtí, aby se nepohnuly.
15. Zavření svalového laloku: Svalový lalok se vrátí zpět na místo a zašije.
16. Zavření kůže: Na závěr se zašije kůže a zavede drenáž [48].



Obrázek 12: Tým Fakultní nemocnice Brno při operaci [30]



Obrázek 13: Rentgen lebky (laterální a čelní) demonstrující správné umístění magnetu [49]

2.5.5 Postoperační péče o pacienta

Při zpracování této kapitoly jsme čerpali informace z Fakultní nemocnice Brno – Dětské nemocnice, konkrétně z pracoviště Kliniky dětské otorinolaryngologie, a také z podkladů, které byly poskytnuty školitelem Ing. Šímou. Kromě toho jsem se osobně účastnila sezení s dětskými pacienty, což mi umožnilo získat ještě hlubší vhled do problematiky. Díky těmto zdrojům jsem získala podrobnější pohled na dané téma, vycházející nejen z odborných poznatků, ale i z praktických zkušeností.

Nastavování řečového procesoru

S postupným užíváním KI je potřeba přenastavovat pacientovi řečový procesor. K tomuto dochází při návštěvě klinického inženýra. Pacient přijde většinou po opětovném měření sluchu a inženýr v návaznosti na tyto data může procesor upravit. Kromě dat z vyšetření, která mohou být ovlivněna např. momentální náladou dítěte je velmi důležitá subjektivní odezva. Inženýr může k pomoci při nastavování využít různých rozptýleních pro dítě např. figurky nebo pastelky. Dle potřeb zkontroluje oba řečové procesory a upraví úroveň elektrické stimulace na základě reakcí dítěte. Vše probíhá za komunikace s pacientem nebo jeho rodičem, aby nastavení procesoru co nejvíce vyhovovalo uživateli.

Postoperační vyšetření

Klinický inženýr měří při každé návštěvě pacienta impedanci, aby se zkontrolovalo, zda je KI zcela funkční a v pořádku. Pokaždé se také měří subjektivní audiometrická křivka, jednostranně nebo bilaterálně. Audiometrické grafy a data byly stěžejní pro tento výzkum.

3 CÍLE PRÁCE

Ačkoli se problematika kochleárních implantací u dětí intenzivně zkoumá, vliv věku při implantaci na rychlost stabilizace hladiny sluchového prahu zůstává nedostatečně prozkoumán. Proto jsme se rozhodli realizovat studii, která se zaměří na analýzu audiologických dat dětských pacientů s kochleárním implantátem, a která bude využívat statistické metody k vyhodnocení vztahu mezi věkem implantace a dobou potřebnou ke stabilizaci sluchového prahu.

Vlastní práce má následující cíle:

- (i) Prozkoumat a analyzovat audiologická vyšetření dětských pacientů po kochleární implantaci – zaměřit se zejména na audiogramy u dětí implantovaných ve věku 0–2,4 roku a více jak 2,5 roku.
- (ii) Porovnat vliv věku dítěte v době implantace na rychlost stabilizace hladiny sluchového prahu – ověřit, zda existuje významný rozdíl mezi skupinami dětí implantovanými v různém věku.
- (iii) Statisticky vyhodnotit shromážděná data – provést analýzu v odpovídajícím programovacím prostředí a na základě výsledků potvrdit nebo vyvrátit hypotézu o vlivu věku při implantaci na stabilizaci sluchového prahu.
- (iv) Vedlejším cílem této práce je také seznámení s celkovým postupem kochleární implantace a nastavováním elektrické stimulace. Tento krok je nezbytný pro správnou interpretaci získaných dat a porozumění procesu, který ovlivňuje výsledky audiologických vyšetření.

4 MATERIÁL A METODY

Veškerá práce byla prováděna na Klinice dětské otorinolaryngologie (KDORL) Fakultní nemocnice Brno a Lékařské fakulty Masarykovy univerzity, jež je součástí Komplexního implantačního centra pro sluchově postižené Brno. Toto centrum se specializuje na péči o pacienty s onemocněním sluchového aparátu a nabízí nejmodernější možnosti léčby hluchoty a nedoslýchavosti.

Implantační program na klinice začal v roce 2013, kdy proběhly první tři operace u dětí. Od té doby se centrum hodně rozrostlo a dnes v něm pracuje tým zkušených odborníků, mezi které patří ušní chirurgové, foniatři, logopedi, audiologické sestry a biomedicínské inženýři. Kromě kochleárních implantátů se tam provádějí i operace implantátů pro kostní vedení a aktivních středoušních implantátů. Centrum se nezaměřuje jen na léčbu a diagnostiku, ale také na výzkum. Ten se věnuje například novým možnostem rehabilitace sluchu, prostorového slyšení nebo zkoumá, jak účinná je včasná implantace. Výsledky výzkumu pak odborníci pravidelně představují na konferencích u nás i v zahraničí a publikují je v odborných časopisech. [30].

4.1 Data

Data pro tuto studii byla poskytnuta Klinikou dětské otorinolaryngologie na pracovišti školitele Ing. Šímy FN Brno. Data pocházejí z audiometrických grafů a lékařských zpráv pacientů, u nichž byla provedena kochleární implantace.

Pro tento výzkum bylo využito celkem 149 záznamů pacientů z FN Brno, kteří podstoupili kochleární implantaci. Bohužel ne všichni tito pacienti mohli být finálně do studie zahrnuti, jelikož někteří si uchovávali výsledky z externích audiometrických vyšetření, což vedlo k neúplnosti lékařských složek a některé údaje tak nebyly dostupné pro analýzu. Minimální počet audiogramů pro účely studie byl stanoven na dvě. Na základě tohoto jsme následně pracovali se skupinou 98 záznamů pacientů, kteří splnili požadavky pro zařazení do výzkumu.

Pro výzkum byly klíčové hodnoty dB na specifických frekvencích (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz), které byly z audiometrických grafů přepsány do tabulek pro každého pacienta, přičemž každé měření bylo opatřeno datem návštěvy. V rámci analýzy byla rovněž zohledněna otázka jednostranných a bilaterálních měření.

Z celkového počtu 83 pacientů bylo k analýze vhodných 55, z nichž po zpracování dat jak pro jednostranně, tak bilaterálně implantované pacienty činí finální počet uší vhodných pro analýzu 98. Pacienti byli rozděleni do dvou hlavních skupin dle věku v době implantace. První skupina zahrnovala pacienty, u nichž došlo k implantaci do věku 2,4 let včetně. Tato skupina čítá 28 pacientů. Druhá skupina zahrnovala pacienty s věkem implantace nad 2,4 let, přičemž v této skupině bylo 27 pacientů.

Hranice 2,4 roku byla nastavena na základě několika faktorů – jak biologických, tak praktických. Vědecký výzkum naznačuje, že v tomto věkovém rozpětí dochází k zásadním změnám v neuroplasticitě, které ovlivňují schopnost dětí adaptovat se na kochleární implantát.

Tento věk zároveň odpovídá obdobím, kdy jsou výsledky implantace optimální z hlediska vývoje sluchu a řeči. Stanovení této hranice pomáhá standardizovat výzkum a umožňuje vědcům porovnávat různé věkové skupiny s jasně definovanými charakteristikami. Tento věkový limit je tedy jednak založený na výsledcích vědeckých studií, které ukazují na klíčovou roli raného věku pro optimální výsledek implantace a současně praktickým zjednodušením pro analýzu. Z hlediska vědeckého výzkumu a statistiky je tato hranice nastavena i z praktických důvodů – umožňuje nám rozdělení vzorku na dvě relativně homogenní skupiny, které lze snadněji analyzovat.

Průměrný věk pacientů při implantaci v první skupině činí 1,7 roku, zatímco v druhé skupině je průměrný věk 6,6 let. Průměrný počet audiogramů v první skupině zahrnoval 9 jednostranných a 5 bilaterálních audiogramů, zatímco ve druhé skupině činil průměrný počet 7 jednostranných a 3 bilaterální audiogramy. Více detailů v přílohách 1 a 2.

Tato struktura dat nám umožnila porovnat vliv věku na stabilizaci hladiny sluchového prahu u dětí s kochleárními implantáty.

4.2 Zpracování dat

Pro zpracování bylo nutné sjednotit audiogramy od pacientů do 2 tabulek. Jelikož audiogramy od pacientů nebyly měřeny v stejném čase, bylo nutné provést časovou lineární interpolaci výsledků audiogramů. Výsledkem jsou dopočítané audiogramy ve stejných časech od implantace. To usnadnilo výsledné průměrování audiogramů mezi pacienty a zobrazení výsledků viz. obrázky 14 až 17.

4.3 Statistické analýzy

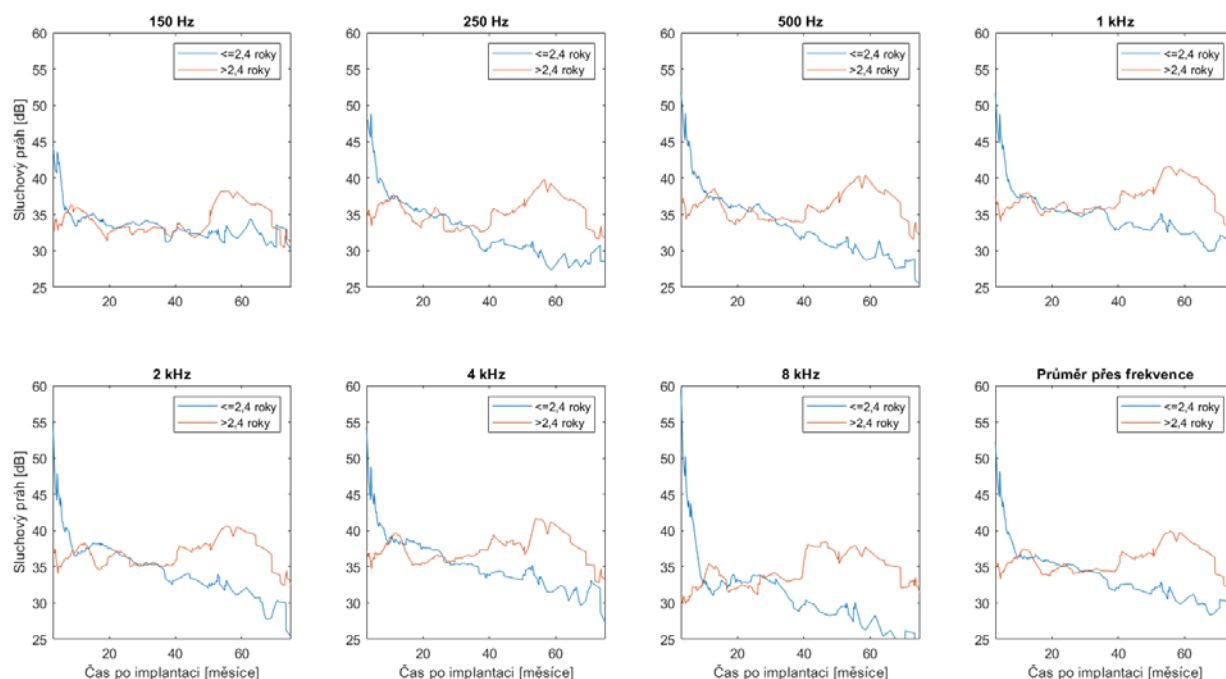
Pro analýzu a zpracování získaných dat v této studii byl použit statistický program MATLAB (MATrix LABoratory). MATLAB je interaktivní programovací prostředí a skriptovací jazyk, který je široce využíván ve vědeckých, technických a inženýrských oblastech pro výpočty, modelování, analýzu dat, simulace a vizualizaci. Program je kompatibilní s běžně používanými operačními systémy a nabízí rozsáhlé možnosti pro analýzu a zpracování velkého množství dat.

MATLAB umožňuje efektivní práci s maticemi a vektory, což je ideální pro statistickou analýzu a zpracování audiometrických dat. MATLAB umožňuje snadnou implementaci a analýzu různých statistických metod. V rámci této práce byly použity základní statistické nástroje, jako jsou výpočty průměrů, korelace mezi proměnnými a další metody potřebné pro analýzu vztahů mezi věkem při implantaci a stabilizací sluchového prahu. Dále byla využita jeho schopnost vizualizace dat při tvorbě grafů.

Pro práci s audiometrickými daty byly vytvořeny skripty v MATLABu, které automatizovaly přepis dat z audiogramů do tabulek a následné provedení statistických výpočtů. Program umožnil efektivní zpracování dat a statistické testy pro porovnání skupin pacientů s různým věkem implantace a jejich reakcí na kochleární implantát [50, 51].

5 VÝSLEDKY

Získané výsledky naší práce jsou prezentovány v grafech – obrázky 14-17.

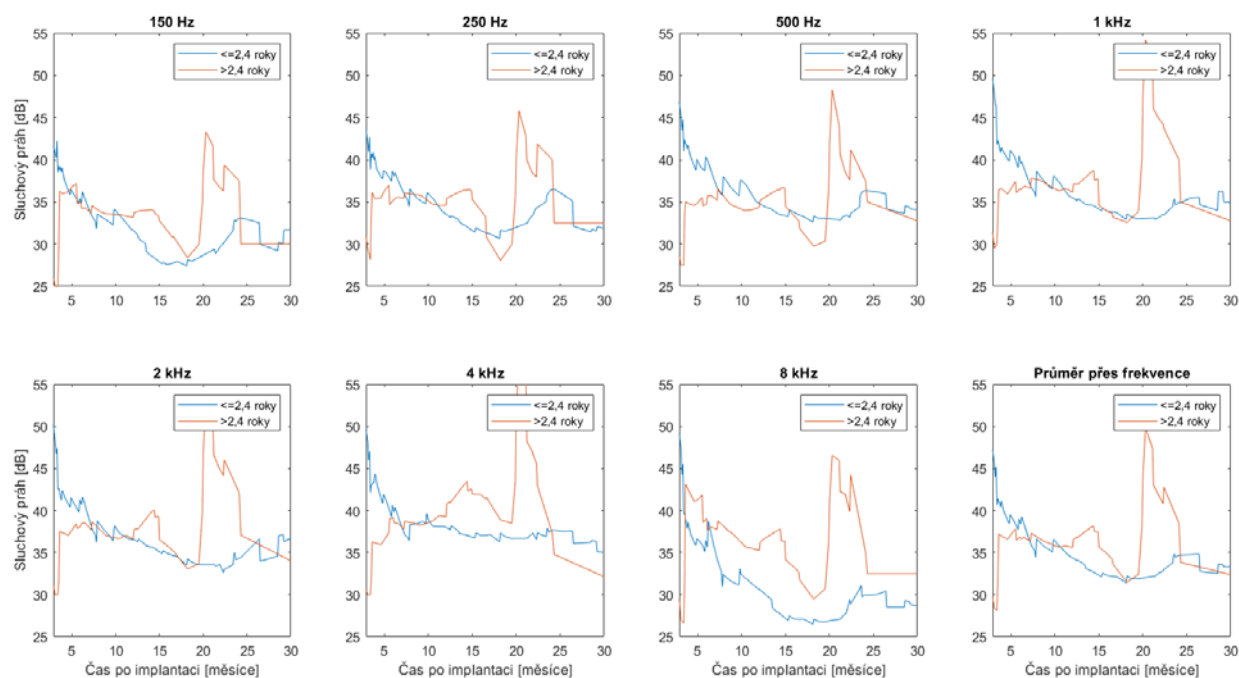


Obrázek 14: Průměrné výsledky unilaterálních audiogramů

Obrázek 14 obsahuje grafy zobrazující vývoj sluchového práhu v dB v závislosti na čase po implantaci (měsíce) pro různé frekvence. Grafy jsou rozděleny podle různých frekvencí (150 Hz až 8 kHz) a také obsahují průměr přes všechny frekvence. Modrá křivka ($\leq 2,4$ roky) zobrazuje sluchový práh pro pacienty implantované do 2,4 let věku, a červená křivka ($> 2,4$ roky), kteří byli implantováni později.

U všech frekvencí lze vidět obecný trend: sluchový práh se snižuje (zlepšuje) v prvních měsících po implantaci (prudký pokles hodnot) a poté se stabilizuje. Tento trend je patrný napříč všemi měřenými frekvencemi i v grafu zobrazujícím průměr přes frekvence. Po určité době (kolem 10 měsíců) se křivky stabilizují a zlepšení je pozvolnější.

Je možné tedy konstatovat, že děti s implantačním věkem pod 2,4 let mají pozitivně progresivní trend ve stabilizaci prahového sluchu, a to do zhruba 10 měsíců po implantaci, pak už je progres sluchového práhu malý. Výsledky podporují včasnou implantaci, protože vede k lepšímu sluchovému výkonu napříč celým frekvenčním spektrem. Rozdíl je patrný hlavně v dlouhodobém horizontu, kde skupina implantovaná později nedosahuje tak dobrých výsledků.



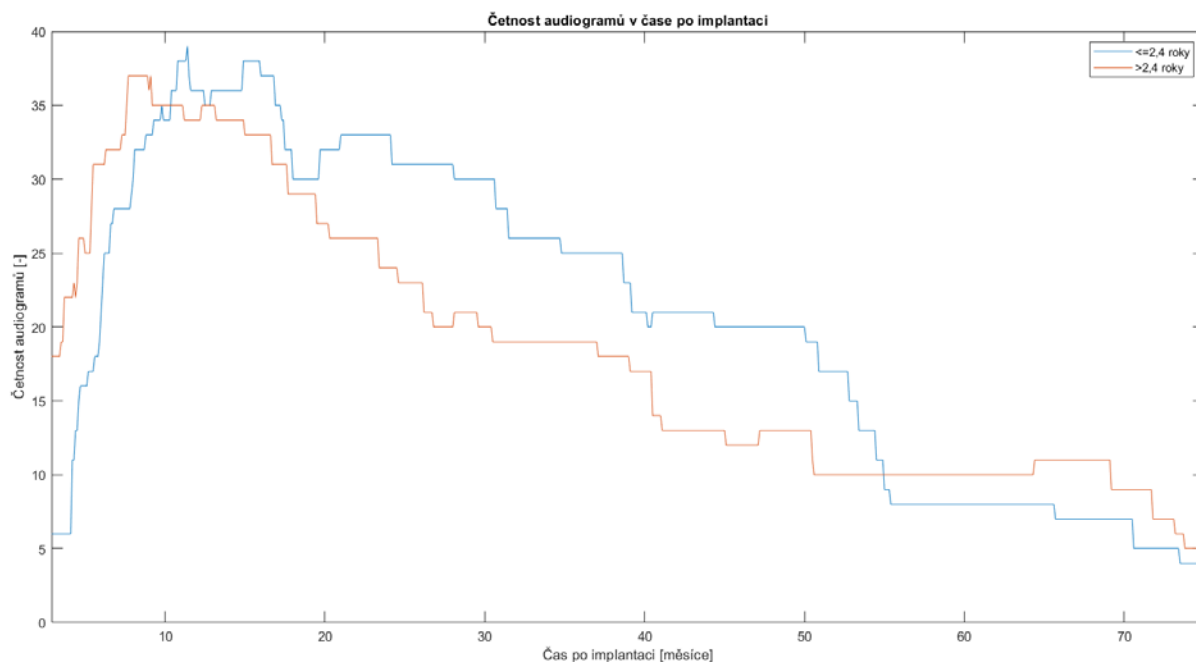
Obrázek 15: Průměrné výsledky bilaterálních audiogramů

Obrázek 15 shrnuje grafické výstupy bilaterálních audiogramů, což znamená, že zobrazuje sluchový práh v obou uších po implantaci kochleárního implantátu.

Obě skupiny ($\leq 2,4$ roky a $> 2,4$ roky) vykazují rychlé zlepšení sluchového prahu v prvních měsících po implantaci. Modrá křivka (implantace $\leq 2,4$ roky) je téměř vždy pod červenou ($> 2,4$ roky), což znamená, že děti implantované dříve mají lepší sluchový práh než ty, které byly implantovány později. Výraznější výkyvy v červené křivce mohou znamenat větší variabilitu výsledků u později implantovaných dětí. To může být způsobeno delší sluchovou deprivací před implantací. Obecný trend je podobný napříč všemi frekvencemi.

U dětí s implantačním věkem nad 2,4 roku se tudíž nedá potvrdit, že by data byla konzistentní a stabilizace sluchového prahu má větší variabilitu a tendenci v čase kolísat.

Bilaterální implantace (implantace do obou uší) poskytuje výhody v lepším prostorovém slyšení a porozumění řeči v hlučném prostředí. Včasná bilaterální implantace ($\leq 2,4$ roky) vede k lepším výsledkům napříč celým frekvenčním spektrem.



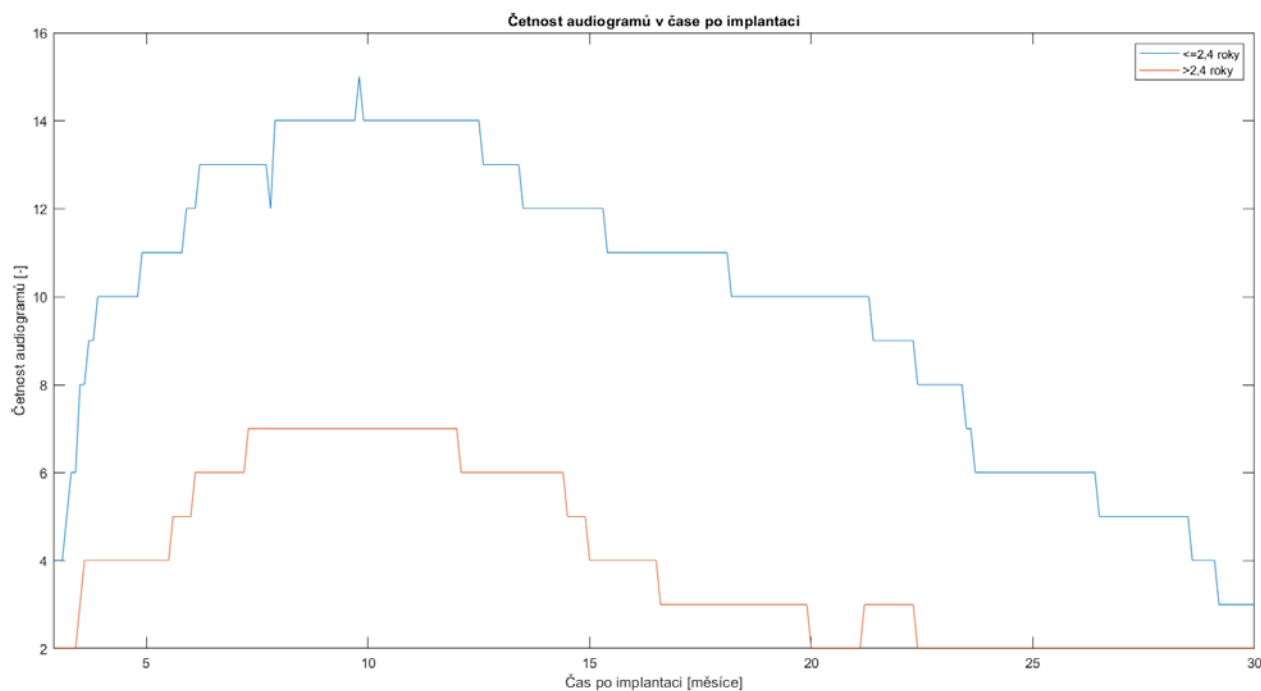
Obrázek 16: Četnost unilaterálních audiogramů v čase po implantaci

Obrázek 16 znázorňuje četnost unilaterálních audiogramů v čase po implantaci, přičemž opět srovnává dvě skupiny pacientů: modrá křivka: pacienti s implantací $\leq 2,4$ roku a červená křivka: pacienti s implantací $> 2,4$ roku.

Z grafu je patrný počáteční nárůst četnosti (do cca 10 měsíců), kdy obě skupiny vykazují strmý nárůst počtu audiogramů, což odpovídá klinické praxi a častějším kontrolám v době po implantaci (probíhá intenzivnější sledování=časté audiogramy). Po implantaci se provádí úvodní nastavení procesoru (první týdny), opakované mapování (programování) zvukového procesoru pro optimalizaci sluchového vjemu a s tím spojené časté audiometrické kontroly.

Četnost audiogramů klesá u obou skupin s časem, což je očekávané, protože kontroly se po stabilizaci stavu provádějí méně často. Zhruba po 50 měsících jsou audiometrická měření u obou skupin spíše sporadická. U skupiny dětí s pozdější implantací (červená křivka) je v této době mírně vyšší četnost než u dětí s implantací do 2,4 roku, což naznačuje pravidelnější kontroly u těchto pacientů. Tento trend odpovídá klinické praxi, kdy je v počáteční fázi po implantaci důležité sledovat adaptaci a výsledky, zatímco v dlouhodobém horizontu jsou kontroly méně časté, ale stále systematické.

Křivka současně ukazuje, že dlouhodobé sledování má smysl, zejména kvůli kontrole funkčnosti implantátu a případným změnám ve sluchovém vnímání s věkem nebo technickým opotřebením procesoru.



Obrázek 17: četnost bilaterálních audiogramů v čase po implantaci

Graf (obrázek 17) znázorňuje četnost provedených bilaterálních audiogramů v čase po implantaci pro dvě skupiny dětí: modrá křivka – děti implantované $\leq 2,4$ let, červená křivka – děti implantované po 2,4 letech.

Celková četnost audiogramů je vyšší u dříve implantovaných dětí ($\leq 2,4$ roky). Modrá křivka ukazuje výrazně vyšší počet provedených audiogramů v průběhu celého sledovaného období. Obecně je možné shrnout, že obě sledované skupiny vykazují podobný průběh – nárůst, vrchol a následný pokles četnosti audiogramů. Počet audiogramů nejprve roste, s maximem kolem 10. měsíce po implantaci. Poté počet audiogramů začne klesat, pravděpodobně proto, že po dosažení stabilního sluchového prahu nejsou již testy tak často potřebné.

6 DISKUSE

Výsledky této studie ukazují na významný vliv věku při implantaci kochleárního implantátu na stabilizaci sluchového prahu, přičemž děti s implantací před 2,4 rokem vykazují rychlý a stabilní progres ve zlepšení sluchových schopností, zatímco u dětí s pozdější implantací se tento pokrok zpomaluje a sluchový práh vykazuje větší variabilitu v čase.

1. Děti s implantací do 2,4 let – u dětí s implantací do 2,4 let je zjevný pozitivní progresivní trend ve stabilizaci prahového sluchu. Tento trend je patrný především v prvních 10 měsících po implantaci, kdy sluchový práh rychle klesá a stabilizuje se na nižší úroveň. Po tomto období je zlepšení sluchového prahu již minimální.

2. Děti s implantací nad 2,5 roku – kolísání sluchového prahu: U dětí implantovaných po dosažení 2,5 roku je vzorec vývoje sluchového prahu méně konzistentní. Sluchový práh u těchto dětí vykazuje určitou tendenci kolísat, což může znamenat, že starší děti mají odlišnou reakci na implantát. U některých dětí může sluchový práh i stagnovat nebo se kolísání zhoršuje s časem.

Rychlý progres sluchového prahu u dětí pod 2,4 roku v první fázi může být způsoben souhrou biologických faktorů (např. plasticita mozku) a technologických faktorů (např. nastavení implantátu). U dětí mladších než 2,4 roku je jejich mozkový a sluchový systém velmi plastický, což znamená, že mohou snadněji reagovat na nový sluchový stimul, což vede k rychlému zlepšení sluchového prahu. Tato plasticita umožňuje mozku rychle rekonstruovat ztracené sluchové funkce a adaptovat se na novou stimulaci. Současně je nutné po prvotní fázi implantace provést základní nastavení implantátu, může být potřebná častá optimalizace, která maximalizuje progresivní zlepšení. Po dosažení určitého optimálního nastavení už není potřebné časté zásahy, což může vysvětlovat zpomalení progresu.

Kolísání sluchového prahu u starších dětí (nad 2,5 roku) může být způsobeno nižší plasticitou mozku, která s věkem klesá, nebo složitějším adaptačním procesem. Jak děti rostou, klesá schopnost mozku se adaptovat na nové podněty. Starší děti, které mají delší dobu ztráty sluchu, mohou mít obtíže s přizpůsobením na nové zvuky a signály. Mozek může mít "pevnější" vzory vnímání zvuků, což může vést k většímu kolísání. Současně může být adaptace na kochleární implantát u starších dětí složitější z důvodu starších neurologických vzorců. Může to být také způsobeno vyvinutou "sluchovou pamětí" pro zvuky, které se dítě učilo při své předchozí zkušenosti se sluchovou ztrátou, což může bránit hladké adaptaci na nové zvukové signály.

3. Četnost audiogramů – Dostatečná data pouze v prvních měsících: Z analýzy audiogramů vyplývá, že dostatečný počet audiogramů je k dispozici především v prvních měsících po implantaci. Toto období je spojeno s častějšími návštěvami audiologických specialistů, protože nastavení implantátu je v této fázi klíčové pro správnou funkci. Jakmile se sluchový práh stabilizuje, návštěvy se mohou stát méně častými, což snižuje možnost podrobného sledování pokroku.

Dalším faktorem ovlivňujícím četnost audiometrických měření může být také administrativní omezení, konkrétně skutečnost, že zdravotní pojišťovna hradí na jednoho pacienta maximálně

šest audiologických vyšetření ročně. Toto omezení může představovat určitou limitaci, zejména v případech, kdy by bylo vhodné provádět častější kontroly.

4. Možné vysvětlení kolísání u starších dětí – Neurologické a kognitivní faktory: Kolísání stabilizace sluchového prahu u starších dětí může být ovlivněno tím, že jejich nervový systém již není tak plastický, jako u mladších dětí. Děti, které byly dlouhodobě neslyšící před implantací, mohou mít jiné kognitivní a neurologické adaptace, což může zpomalit nebo ztížit stabilizaci sluchového prahu.

Děti, které byly dlouhou dobu neslyšící, mohou mít narušené vzorce sluchového vnímání, což činí adaptaci na kochleární implantát složitější. U těchto dětí může být delší doba potřebná k vyrovnání se s novými zvukovými podněty, což může vést k pomalejšímu nebo kolísavému progresu sluchového prahu.

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo ověřit vliv věku při implantaci kochleárního implantátu na rychlost stabilizace sluchového prahu u dětských pacientů. Tohoto cíle bylo dosaženo. Na základě analýzy dat z audiologických vyšetření u dětí, které podstoupily kochleární implantaci v Dětské nemocnici FN Brno, bylo zjištěno, že věk při implantaci má významný vliv na rychlost stabilizace sluchového prahu. Děti, které byly implantovány do 2,4 let, vykazovaly rychlejší a stabilnější adaptaci na nový sluchový stimul, zatímco u starších dětí byly výsledky méně konzistentní a sluchový práh vykazoval větší variabilitu.

V teoretické části práce jsem nejprve provedla obsáhlou literární rešerši, která mi umožnila získat podrobný přehled o kochleární implantaci, specifikách audiologických vyšetření a procesu nastavení a optimalizace kochleárního implantátu. Dále jsem měla možnost být přítomna u několika operací vložení kochleárního implantátu, čímž jsem získala cennou zkušenost a přehled o celém procesu implantace. Také jsem se účastnila následných návštěv dětských pacientů v ambulanci, během nichž probíhala nastavení a optimalizace implantátu, což mi poskytlo jedinečný pohled na celý rehabilitační proces. Tato kombinace teoretických znalostí a praktické zkušenosti mi umožnila získat celkový náhled na celou problematiku kochleárních implantací.

V praktické části jsem provedla statistickou analýzu audiogramů a dalších audiologických dat, která byla získána z patientské dokumentace dětí po kochleární implantaci.

Z výsledků vyplývá, že věk při implantaci má významný vliv na rychlost stabilizace sluchového prahu. Děti, které byly implantovány do 2,4 let věku, vykazovaly pozitivní trend rychlého poklesu sluchového prahu, přičemž stabilizace nastala přibližně do 10 měsíců po implantaci. Naopak u dětí starších než 2,5 roku byla stabilizace pomalejší a sluchový práh kolísal.

Tato zjištění naznačují, že včasná implantace je klíčová pro úspěšnější a rychlejší stabilizaci sluchového prahu. Mladší děti, pravděpodobně díky vyšší neuroplasticitě, jsou schopny rychleji adaptovat svůj sluchový systém na nový stimul, což má za následek rychlejší stabilizaci sluchového prahu. U starších dětí, které byly delší dobu bez sluchového vnímání, je tento proces adaptace složitější a může být spojen s větší variabilitou ve výsledcích.

V diskuzi dosažených výsledků bych ráda poukázala na to, že tato studie může poskytnout užitečný základ pro další výzkum zaměřený na zlepšení rehabilitačních metod pro děti po kochleární implantaci. Jedním z možných směrů dalšího výzkumu by mohlo být podrobnější sledování stabilizace sluchového prahu v delším časovém období, přičemž pravidelný monitoring by mohl pomoci odhalit jakékoli problémy s implantátem včas. Také by bylo užitečné provést výzkumy zaměřené na specifické rehabilitační přístupy u starších dětí, které měly delší dobu neslyšení, aby se zjistilo, jak nejlépe podpořit jejich adaptaci na kochleární implantát.

Další možnou inspirací pro pokračování v této oblasti by mohlo být zkoumání detailnějšího optimálního věkového okna pro implantaci, které by vedlo k ideálnímu výsledku stabilizace

sluchového prahu. Studie, které by porovnávaly děti implantované v rozmezí půl roku (např. 0–6 let), by mohly odhalit, zda existuje věk, kdy je implantace pro stabilizaci sluchového prahu nejvhodnější.

V závěru lze konstatovat, že včasná implantace a pravidelný monitoring po implantaci jsou klíčovými faktory pro úspěšnou adaptaci na kochleární implantát. Výsledky této práce potvrzují hypotézu, že stabilizace sluchového prahu je rychlejší u mladších dětí (<2,4 roku). Pro zajištění optimálních výsledků je nezbytné zajistit pravidelnou rehabilitaci a sledování i po dosažení stabilizace sluchového prahu.

Výsledky této studie budou prezentovány na akcích určených pro středoškolské studenty, BrNoc v Brně, v únoru 2025 a na Konferenci mladých přírodovědců v Olomouci, v květnu 2025. Současně budou získané výsledky součástí prezentace školitele na European Symposium on Paediatric Cochlear Implantation v Hannoveru v červnu 2025.

8 SEZNAM LITERATURY

- [1] VIEIRA, Sheila de Souza; DUPAS, Giselle a CHIARI, Brasília Maria. Cochlear implant: the family's perspective. Online. *Cochlear Implants International*. 2018, roč. 19, č. 4, s. 216-224. ISSN 1467-0100. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14670100.2018.1426406>. [cit. 2025-01-28].
- [2] VRBECKÁ DOLEŽALOVÁ, Lenka. *Historie péče o sluchově postižené*. Online. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/1441/podzim2009/SP4BK_SP2c/um/2_Historie_pece_o_sluchove_postizene.pdf. [cit. 2025-01-28].
- [3] Resound. *Převodní ztráta sluchu*. Online. Dostupné z: <https://www.resound.com/cs-cz/hearing-loss/understanding/types/conductive>. [cit. 2025-01-24].
- [4] Symptomy. *Anatomie ucha*. Online. Dostupné z: <https://www.symptomy.cz/anatomie/ucho>. [cit. 2025-01-28].
- [5] PAPSIN, Blake C. Cochlear Implantation in Children With Anomalous Cochleovestibular Anatomy. Online. *The Laryngoscope*. 2005, roč. 115, č. S106, s. 1-26. ISSN 0023852X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/00005537-200501001-00001>. [cit. 2025-01-28].
- [6] Med-el. *Průvodce kochleárními implantáty pro rodiče*. Online. Dostupné z: https://www.audionika.cz/medel/public/files/documents/26272CZ_r1_0-firstStepsCIPrelingualBR_WEB.pdf. [cit. 2025-01-24].
- [7] DANĚK, Filip. *Základy anatomie*. Online. Dostupné z: https://is.muni.cz/do/fsps/e-learning/zaklady_anatomie/zakl_anatomie_IV/pics/3obr-151.jpg. [cit. 2025-01-28].
- [8] PROFANT, Oliver a SYKA, Josef. Asymetrická porucha sluchu. Online. *Otorinolaryngologie a foniatrie*. 2019, roč. 2019, č. 1. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/otorinolaryngologie-foniatrie/2019-1-28/asymetricka-porucha-sluchu-112902>. [cit. 2025-01-24].
- [9] Asociace klinických logopedů České republiky. *Sluchová vada u dětí*. Online. Dostupné z: <https://www.klinickalogopedie.cz/index.php?pg=verejnost--co-je-to--sluchova-vada-deti>. [cit. 2025-01-24].
- [10] JÍLKOVÁ, Miluše. *Sluchové postižení jako syndromální vada*. Online. Dostupné z: <https://www.idetskysluch.cz/sluchove-vady/priciny/sluchove-postizeni-jako-syndromalni-vada-103/>. [cit. 2025-01-24].
- [11] Storymd. *Pendred syndrome*. Online. Dostupné z: <https://storymd.com/journal/yj5zadycnj-pendred-syndrome/page/related-healthjournals> [cit. 2025-01-28].
- [12] Genetikhekimi. *Cornelia de lange sendromu*. Online. Dostupné z: <https://www.genetikhekimi.com/2022/03/cornelia-de-lange-sendromu.html>. [cit. 2025-01-28].

- [13] Clevelandclinic. *Treacher collins syndrome*. Online. Dostupné z: <https://my.clevelandclinic.org/health/diseases/22149-treacher-collins-syndrome>. [cit. 2025-01-28].
- [14] ŠLAPÁK, Ivo; JANEČEK, Dalibor a LAVIČKA, Lukáš. *Základy otorinolaryngologie a foniatrie pro studenty speciální pedagogiky*. Online. Dostupné z: <https://is.muni.cz/elportal/estud/pdf/js09/orl/web/doc/zaklady-orl-a-foniatrie.pdf>. [cit. 2025-01-24].
- [15] ROTTENBERG, Jan. *Diagnostika a terapie nedoslýchavosti*. Online. Dostupné z: <https://www.internimedicina.cz/pdfs/int/2008/10/08.pdf>. [cit. 2025-01-24].
- [16] Fakultní nemocnice Ostrava. *Kochleární implantát*. Online. Dostupné z: <https://www.fno.cz/klinika-otorinolaryngologie-a-chirurgie-hlavy-a-krku/o-kochlearni-implantaci>. [cit. 2025-01-24].
- [17] HUMES, Larry E. The World Health Organization's hearing-impairment grading system: an evaluation for unaided communication in age-related hearing loss. Online. *International Journal of Audiology*. 2019, roč. 58, č. 1, s. 12-20. ISSN 1499-2027. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/14992027.2018.1518598>. [cit. 2025-01-28].
- [18] Pomůcky pro neslyšící. *Sluchové ztráty*. Online. Dostupné z: www.pomuckyproneslysici.cz/user/documents/upload/gallery/informace/1140.gif. [cit. 2025-01-28].
- [19] DUNN, Camille C.; WALKER, Elizabeth A.; OLESON, Jacob; KENWORTHY, Maura; VAN VOORST, Tanya et al. Longitudinal Speech Perception and Language Performance in Pediatric Cochlear Implant Users. Online. *Ear & Hearing*. 2014, roč. 35, č. 2, s. 148-160. ISSN 0196-0202. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3182a4a8f0>. [cit. 2025-01-28].
- [20] FAGAN, Mary K. Cochlear implantation at 12 months: Limitations and benefits for vocabulary production. Online. *Cochlear Implants International*. 2015, roč. 16, č. 1, s. 24-31. ISSN 1467-0100. Dostupné z: <https://doi.org/10.1179/1754762814Y.0000000075>. [cit. 2025-01-28].
- [21] RAMIREZ-INSCOE, Jayne a MOORE, David R. Processes That Influence Communicative Impairments in Deaf Children Using Cochlear Implants. Online. *Ear & Hearing*. 2011, roč. 32, č. 6, s. 690-698. ISSN 0196-0202. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e31821f0538>. [cit. 2025-01-28].
- [22] HOLMANOVÁ, Jitka. *Raná péče o dítě se sluchovým postižením*. Třetí upravené vydání. Praha: Septima, 2016. ISBN 978-80-7216-345-8.
- [23] HORÁKOVÁ, Radka. *Sluchové postižení: úvod do surdopedie*. Praha: Portál, 2012. ISBN 978-80-262-0084-0.
- [24] PIPEKOVÁ, Jarmila. *Kapitoly ze speciální pedagogiky*. Brno: Paido, 1998. ISBN 80-85931-65-6.
- [25] HALLPIKE, C. S. a RAWDON-SMITH, A. F. The 'Wever and Bray phenomenon.' A study of the electrical response in the cochlea with especial reference to its origin. Online. *The*

Journal of Physiology. 1934, roč. 81, č. 3, s. 395-408. ISSN 0022-3751. Dostupné z: <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1934.sp003143>. [cit. 2025-01-28].

[26] ESHRAGHI, Adrien A.; NAZARIAN, Ronen; TELISCHI, Fred F.; RAJGULU, Suhrud M.; TRUY, Eric et al. The Cochlear Implant: Historical Aspects and Future Prospects. Online. *The Anatomical Record*. 2012, s. 1967-1980. Dostupné z: <https://anatomypubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/ar.22580>. [cit. 2025-01-24].

[27] HENKEL, Gretchen. *History of the Cochlear Implant*. Online. Dostupné z: <https://www.enttoday.org/article/history-of-the-cochlear-implant/?singlepage=1&theme=print-friendly>. [cit. 2025-01-24].

[28] Audionika. *O firmě Me-Del*. Online. Dostupné z: <https://www.audionika.cz/medel/o-firme-med-el>. [cit. 2025-01-24].

[29] KŘEŠŤANOVÁ, Lucie. *Po stopách průkopníků kochleárních implantátů*. Online. Dostupné z: <https://www.idetskysluch.cz/kompenzace/kochlearni-implantaty/po-stopach-prukopniku-kochlearnich-implantatu/>. [cit. 2025-01-24].

[30] ARDELTOVÁ, Radana. *Centra kochleárních implantací*. Online. Dostupné z: <https://www.idetskysluch.cz/kompenzace/kochlearni-implantaty/centra-kochlearnich-implantaci/>. [cit. 2025-01-24].

[31] HÁDKOVÁ, Kateřina. *Vzdělávání žáků a studentů s kochleárním implantátem*. Praha: Univerzita Karlova, Pedagogická fakulta, 2012. ISBN 978-80-7290-618-5.

[32] Clevelandclinic. *Cochlear implant*. Online. Dostupné z: <https://my.clevelandclinic.org/-/scassets/Images/org/health/articles/4806-cochlear-implant>. [cit. 2025-01-28].

[33] Cochlear. *Kochleární implantáty*. Online. Dostupné z: <https://www.cochlear.com/cz/cs/home/diagnosis-and-treatment/how-cochlear-solutions-work/cochlear-implants>. [cit. 2025-01-24].

[34] Mysecondear. *Kochleární implantát: Použití, funkce, obsluha, rizika & náklady*. Online. Dostupné z: <https://www.mysecondear.cz/blogs/wissen/cochlea-implantat>. [cit. 2025-01-24].

[35] Biofyzikální ústav MUNI MED. *Audiometrie – měření sluchového prahu*. Online. Dostupné z: <https://www.med.muni.cz/biofyz/files/optometrieBC/VIII.pdf>. [cit. 2025-01-24].

[36] Ambulantní porod. *Screening sluchu – otoakustické emise*. Online. Dostupné z: <http://ambulantniporod.cz/novorozenecky-screening-vysetreni-novorozence/screening-sluchu-otoakusticke-emise/>. [cit. 2025-01-24].

[37] LEJSKA, Mojmír a HAVLÍK, Radan. *Základy praktické audiologie a audiometrie*. Vydání: druhé rozšířené. Brno: Národní centrum ošetrovatelství a nelékařských zdravotnických oborů, 2019. ISBN 978-80-7013-599-0.

[38] Infosluch. *Tympanogram ABC krivka*. Online. Dostupné z: <https://infosluch.sk/wp-content/uploads/2022/07/tympanogram-ABC-krivka-1024x331.jpg>. [cit. 2025-01-28].

[39] Ušní. Nosní, krční ambulance Kastner s.r.o. *BERA*. Online. Dostupné z: <https://www.orl-kastner.cz/bera/>. [cit. 2025-01-24].

- [40] ORL a foniatrie Praha. *Tónová audiometrie*. Online. Dostupné z: <https://orlvpraze.cz/audiometrie-tonova/>. [cit. 2025-01-24].
- [41] ŠLAPÁK, Ivo a URÍK, Milan. *Dětská otorinolaryngologie*. 2., přepracované a doplněné vydání. Aeskulap. Praha: Mladá fronta, 2019. ISBN 978-80-204-5426-3. Dostupné z: <https://telemedicina.med.muni.cz/pdm/detska-orl/index.php?pg=ucho--vysetrovaci-metody-ucha--subjektivni-vysetreni-sluchu--tonova-audiometrie>. [cit. 2025-01-24].
- [42] Hear. *What Is an Audiogram and How To Read It*. Online. Dostupné z: <https://www.hear.com/resources/hearing-loss/what-is-audiogram-how-to-read-it/>, [cit. 2025-01-28].
- [43] CHWEYA, Cynthia M.; SMITH, Alyssa J.; MAY, Matthew M.; LOHSE, Christine M.; NEFF, Brian A. et al. Prevalence of Surgical, Anesthetic, and Device-related Complications Among Infants Implanted Before 9 and 12 Months of Age Versus Older Children: Evidence for the Continued Expansion of Pediatric Cochlear Implant Candidacy Criteria. Online. *Otology & Neurotology*. 2021, roč. 42, č. 6, s. e666-e674. ISSN 1531-7129. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000003060>. [cit. 2025-01-28].
- [44] MÜLLER, Joachim; MOLEND, Carmen a POLTERAUER, Daniel. Aktuelle Trends und Entwicklungen bei der Cochlea-Implantat-Versorgung. Online. *Sprache · Stimme · Gehör*. 2024, roč. 48, č. 01, s. 22-31. ISSN 0342-0477. Dostupné z: <https://doi.org/10.1055/a-2195-4886>. [cit. 2025-01-28].
- [45] MCKINNEY, Samantha. Cochlear implantation in children under 12 months of age. Online. *Current Opinion in Otolaryngology & Head & Neck Surgery*. 2017, roč. 25, č. 5, s. 400-404. ISSN 1068-9508. Dostupné z: <https://doi.org/10.1097/MOO.0000000000000400>. [cit. 2025-01-28].
- [46] FNUSA. *Kochleární implantace krok za krokem*. Online. Dostupné z: <https://www.fnusa.cz/pro-pacienty-a-navstevy/pracoviste/orl-zakladni-informace/orl-komplexni-implantacni-centrum/kochlearni-implantace-krok-za-krokem/>. [cit. 2025-01-24].
- [47] URÍK, Milan; ŠIKOLOVÁ, Soňa; HOŠNOVÁ, Dagmar; KRUNTORÁD, Vít; BARTOŠ, Michal et al. Long-Term Device Satisfaction and Safety after Cochlear Implantation in Children. Online. *Journal of Personalized Medicine*. 2022, roč. 12, č. 8. ISSN 2075-4426. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/jpm12081326>. [cit. 2025-01-28].
- [48] FNUSA. *O kochleární implantaci*. Online. Dostupné z: <https://www.fnusa.cz/pro-pacienty-a-navstevy/pracoviste/orl-zakladni-informace/orl-komplexni-implantacni-centrum/o-kochlearni-implantaci/>. [cit. 2025-01-24].
- [49] EPPERSON, Madison V.; BORN, Hayley L. a GREINWALD, John. Radiologic recognition of cochlear implant magnet displacement. Online. *International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology*. 2019, roč. 120, s. 64-67. ISSN 01655876. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.02.019>. [cit. 2025-02-18].
- [50] KOZUBEK, Tomáš; BRZOBOHATÝ, Tomáš; HAPLA, Václav; JAROŠOVÁ, Marta a MARKOPOULOS, Alexandros. *LINEÁRNÍ ALGEBRA S MATLABEM – interaktivní učební text*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Západočeská univerzita v Plzni.

Online. Dostupné z https://mi21.vsb.cz/sites/mi21.vsb.cz/files/unit/skripta_lam_obr.pdf [cit. 2025-02-01].

[51] Mathworksee. *MATLAB User's Guide*. Online. Dostupné z: <https://www.mathworks.com> [cit. 2025-02-01].

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1:</i> Model vnějšího a středního ucha	11
<i>Obrázek 2:</i> Model vnitřního ucha	12
<i>Obrázek 3:</i> Pendredův syndrom	13
<i>Obrázek 4:</i> Cornelia de Lange syndrom	13
<i>Obrázek 5:</i> Treacher Collins syndrom	13
<i>Obrázek 6:</i> Popis stupně sluchových ztrát	14
<i>Obrázek 7:</i> Historický vývoj kochleárních implantátů	18
<i>Obrázek 8:</i> Stavba kochleárního implantátu	19
<i>Obrázek 9:</i> Typy a rozdělení audiologických vyšetření	20
<i>Obrázek 10:</i> Impedanční křivky	21
<i>Obrázek 11:</i> Vzorové náhledy audiogramů špatně slyšícího člověka	22
<i>Obrázek 12:</i> Tým Fakultní nemocnice Brno při operaci	25
<i>Obrázek 13:</i> Rentgen lebky (laterální a čelní) demonstrující správné umístění magnetu	26
<i>Obrázek 14:</i> Průměrné výsledky unilaterálních audiogramů	30
<i>Obrázek 15:</i> Průměrné výsledky bilaterálních audiogramů	31
<i>Obrázek 16:</i> Četnost unilaterálních audiogramů v čase po implantaci	32
<i>Obrázek 17:</i> Četnost bilaterálních audiogramů v čase po implantaci	33

10 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Přehled charakteristik vybraných pacientů do studie (implantace $\leq 0-2,4$)

Příloha 2: Přehled charakteristik vybraných pacientů do studie (implantace $> 2,4$)

Příloha 3: Obrazová dokumentace kochleární implantace

Příloha 1: Přehled charakteristik vybraných pacientů do studie (implantace $\leq 0-2,4$)

VHODNÍ PACIENTI $\leq 0-2,4$

Pacient	Strana	Věk implantace (roky)	Audiogramů (počet)	Bilat. audiogram (počet)
1.	R	0,93	12	2
2.	L	0,93	11	2
3.	R	1,60	3	5
4.	L	1,60	2	5
5.	R	1,88	4	5
6.	L	1,88	4	5
7.	R	0,96	5	11
8.	L	0,96	4	11
9.	R	1,84	4	8
10.	L	1,84	2	8
11.	R	0,91	4	7
12.	L	0,91	6	7
13.	R	1,61	9	7
14.	L	1,61	8	7
15.	R	1,24	6	4
16.	L	1,24	8	4
17.	R	0,96	10	4
18.	L	0,96	10	4
19.	R	1,41	19	1
20.	L	1,41	18	1
21.	R	1,90	8	5
22.	L	1,90	7	5
23.	L	1,59	2	0
24.	R	1,04	19	2
25.	L	1,04	21	2
26.	L	1,24	12	8
27.	R	1,67	4	6
28.	L	1,67	4	6
29.	R	1,32	3	6
30.	L	1,32	4	6

31.	R	1,71	13	7
32.	L	1,71	12	7
33.	R	1,71	3	6
34.	L	1,71	5	6
35.	R	2,36	13	8
36.	L	2,36	14	8
37.	R	2,28	10	6
38.	L	2,28	12	6
39.	R	2,32	16	0
40.	L	2,32	14	0
41.	R	2,08	13	4
42.	L	2,01	12	0
43.	R	2,19	17	0
44.	R	2,05	4	10
45.	L	2,05	3	10
46.	R	2,02	23	0
47.	L	2,21	19	3
48.	R	2,27	11	0
49.	L	2,27	11	0

Příloha 2: Přehled charakteristik vybraných pacientů do studie (implantace >2,4)

VHODNÍ PACIENTI >2,4

Pacient	Strana	Věk implantace (roky)	Audiogramů (počet)	Bilat. audiogram (počet)
1.	R	2,91	4	3
2.	L	2,91	4	3
3.	R	3,04	6	0
4.	R	4,00	5	0
5.	R	3,23	14	3
6.	R	12,10	3	0
7.	L	10,68	3	0
8.	L	3,10	12	4
9.	R	4,25	7	8
10.	L	4,25	7	8
11.	R	3,47	14	0
12.	R	4,50	12	0
13.	L	4,50	12	0
14.	R	4,12	6	0
15.	L	4,12	4	0
16.	R	3,09	8	0
17.	R	2,97	7	0
18.	L	2,97	6	0
19.	L	2,76	9	4
20.	R	5,81	11	2
21.	L	5,81	11	2
22.	R	8,09	3	2
23.	L	7,52	5	2
24.	R	11,67	7	0
25.	R	3,09	5	7
26.	L	3,09	6	7
27.	R	6,48	3	0
28.	L	7,12	2	0
29.	R	9,03	6	1
30.	L	9,03	6	1
31.	R	3,48	5	8
32.	R	16,76	11	4
33.	L	17,26	11	4
34.	R	4,99	10	0
35.	L	4,99	10	0
36.	R	3,94	5	2
37.	L	3,94	5	2
38.	L	8,92	13	13
39.	R	4,33	7	0
40.	L	3,26	11	5

41.	R	3,15	4	6
42.	R	18,85	2	0
43.	R	7,84	2	9
44.	L	4,04	3	9
45.	R	13,02	4	0
46.	L	3,15	3	6
47.	R	2,42	14	5
48.	R	2,47	10	12
49.	L	2,47	10	12

Příloha 3: Obrazová dokumentace kochleární implantace [48]

