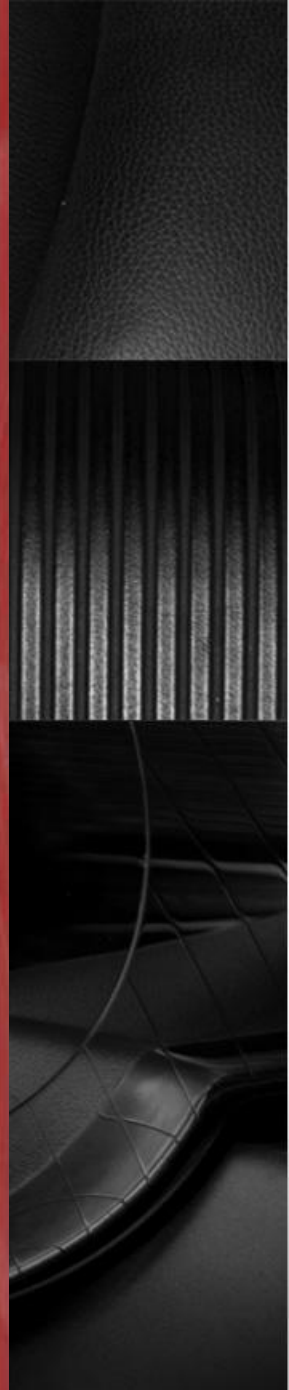


Akustika a biofyzika sluchu

Biofyzika



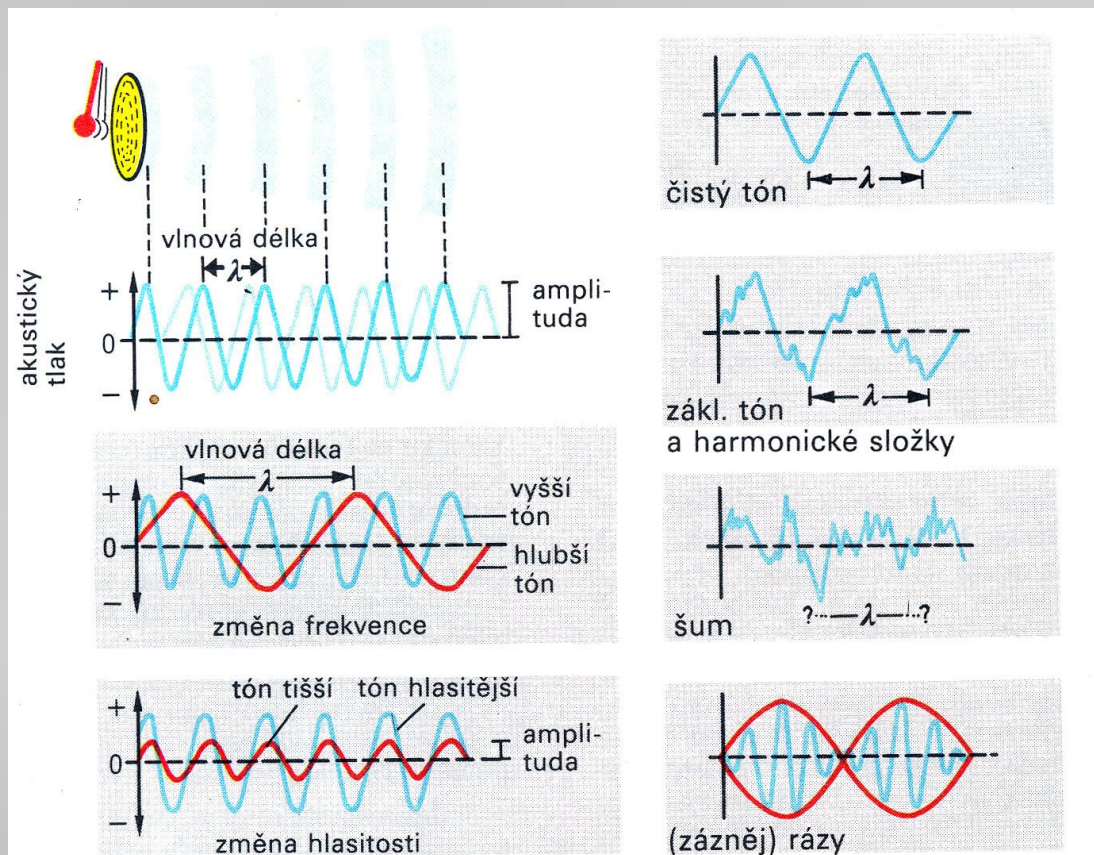
Zvuk

■ Mechanické vlnění

- Šíří se v plynech, kapalinách i pevných látkách
- Rychlost šíření ve vzduchu: 340m/s = 1 Mach, při 0°C 322m/s

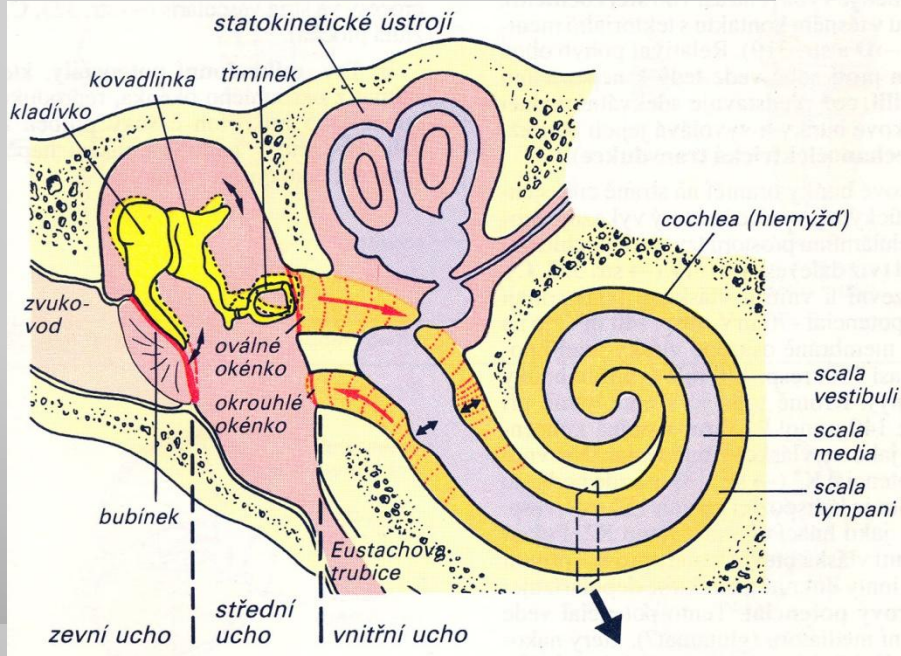
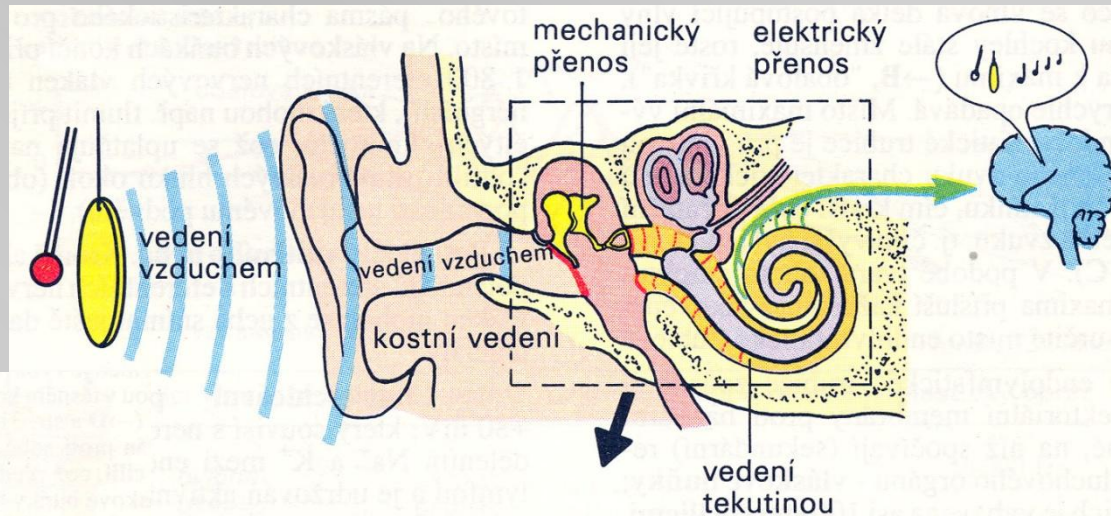
■ Slyšitelný zvuk

- Mechanické vlnění o frekvencích cca 15Hz až 15kHz



Příjem a vedení zvuku

- Minimální výchylka bubínku $0,1\text{\AA}$ (angstrom = 0.1nm , molekula vody $3,1\text{\AA} = 3 \cdot 10^{-10}\text{mm}$)
- Maximální akceptovatelná výchylka 0.1mm

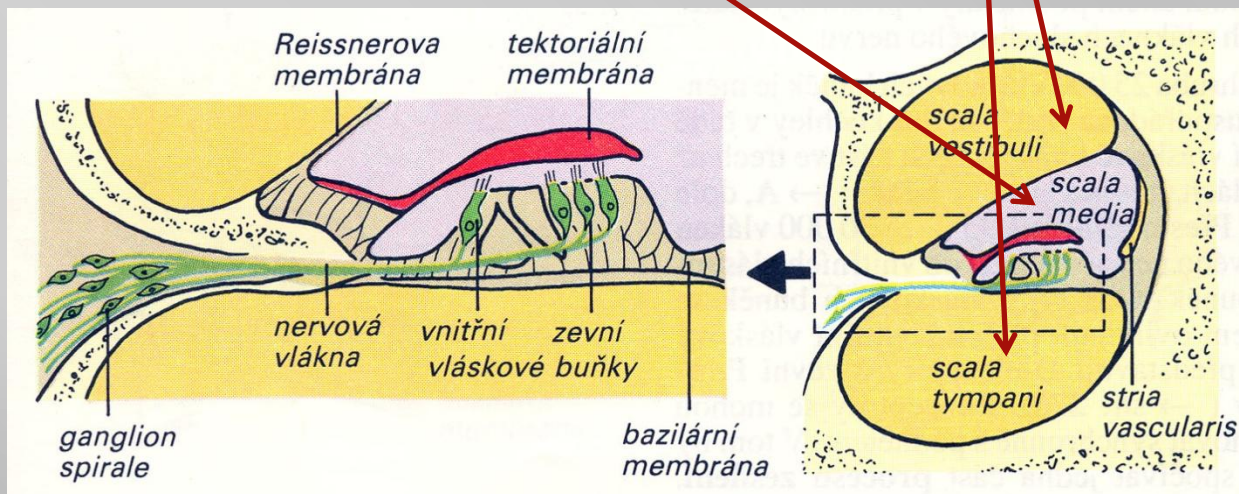


▪ Kůstky středního ucha

- Mechanický převod zvuku (páka na oválné okénko)
- Při vysoké intenzitě zvuku se svaly uvolní (sníží se úroveň vibrací)

Hlemýžď (kochlea)

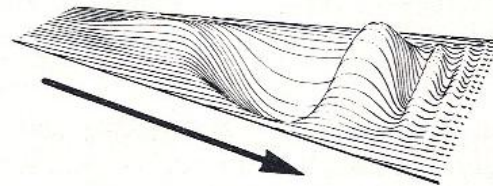
- Kostěný kanálek ve tvaru hlemýždě:
 - Vyplněný **endolymfou** obklopen dvěma prostory s **perilymfou**
 - vibrace oválného okénka → tlakové změny perilymfy, která se nakonec vyrovnají na membráně okrouhlého okénka
 - transformuje mechanické vibrace středního ucha na **vibrace tekutiny**



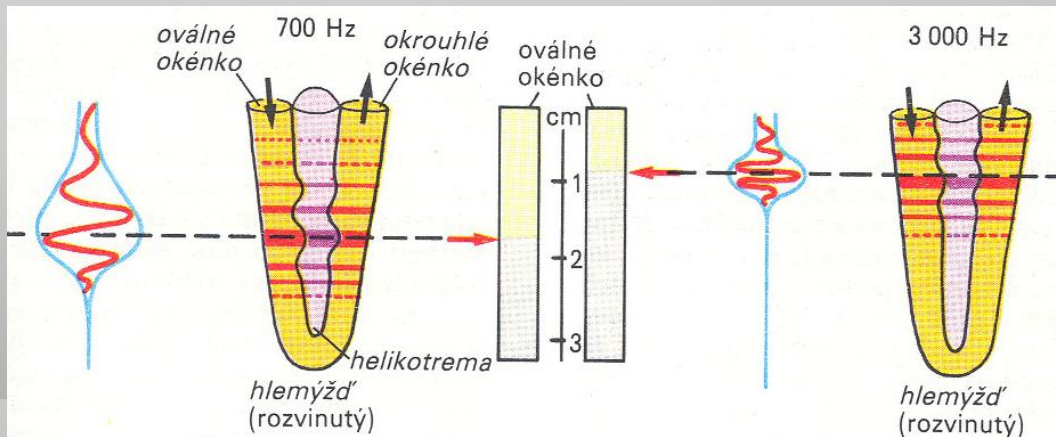
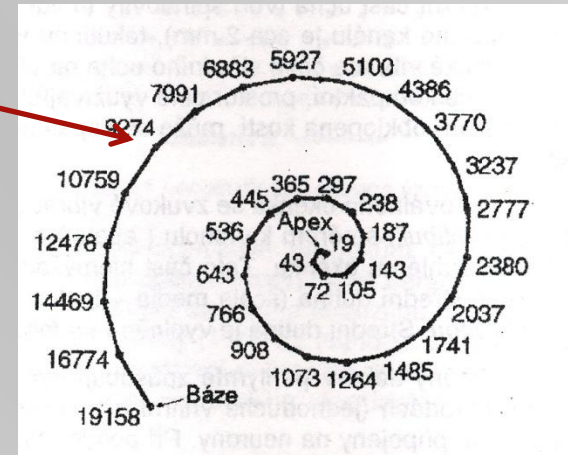
Postupující vlna v hlemýždi

- Postupující vlna v hlemýždi - různým kmitočtům odpovídají různá místa endolymfatické trubice

rozkmítání stěn endolymfatické trubice



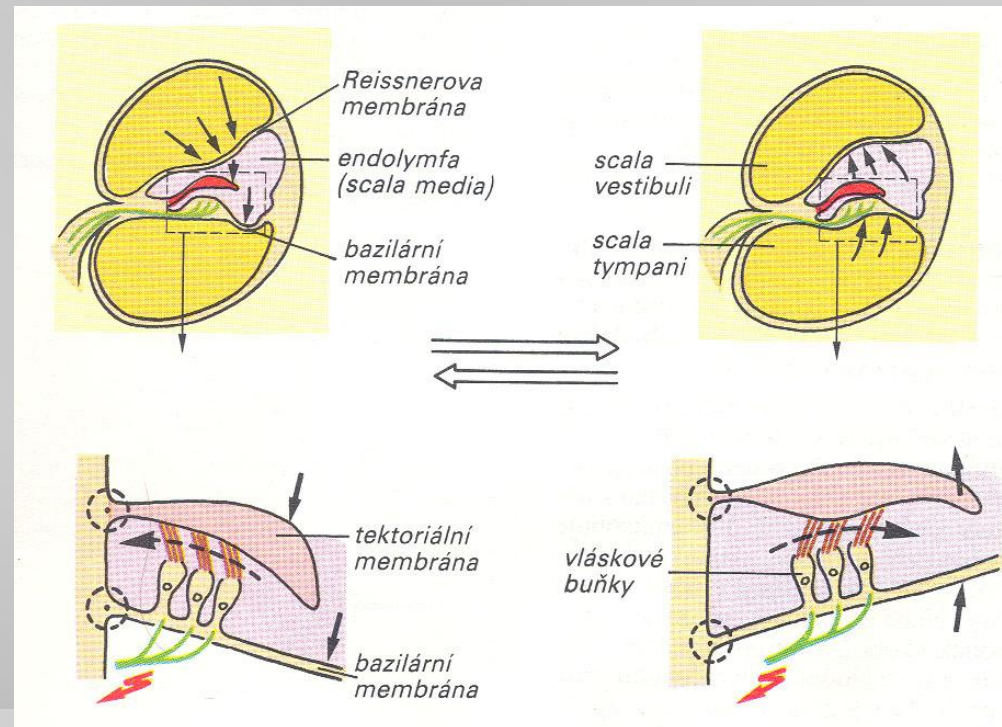
(podle Tonndorfa)



Podráždění buněk

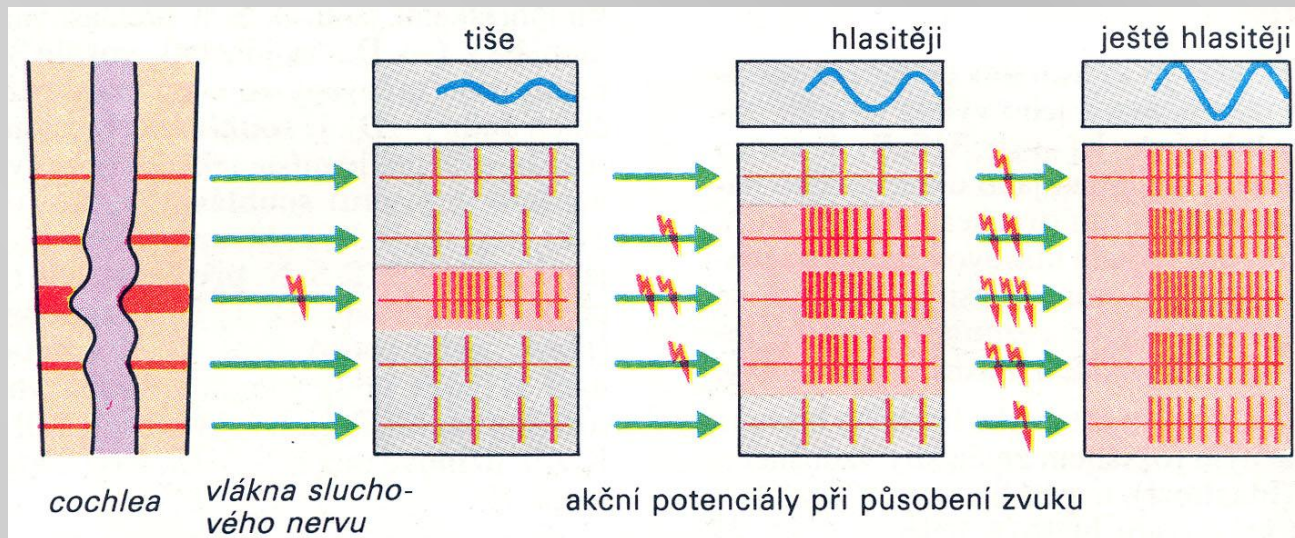
Kmity endolymfatické trubice působují posun **tektoriální membrány** proti **bazilární membráně**, na které spočívají **vláskové buňky** (sekundární receptory sluch. orgánu), které jsou vybaveny **stereociliemi**.

Ohyb stereocilií → podráždění vláskových buněk →
(mechanoelektrická transdukce – jev podobný piezoelektrickému)
→ vznikne **receptorový potenciál** →
→ vznik **akčních potenciálů** ve vláknech sluchového nervu



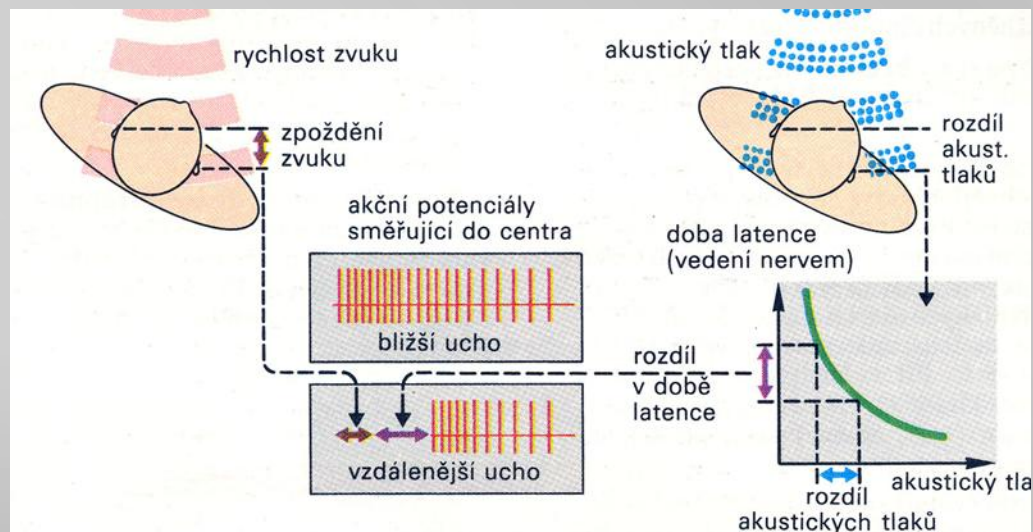
Centrální zpracování zvukové informace

- Hlasitá a tichá zvuková informace ve sluchovém nervu



Lokalizace směru zvuku

- zpoždění zvuku
- doba latence – čím menší je akustický tlak, tím pomaleji se šíří akční potenciály nervem



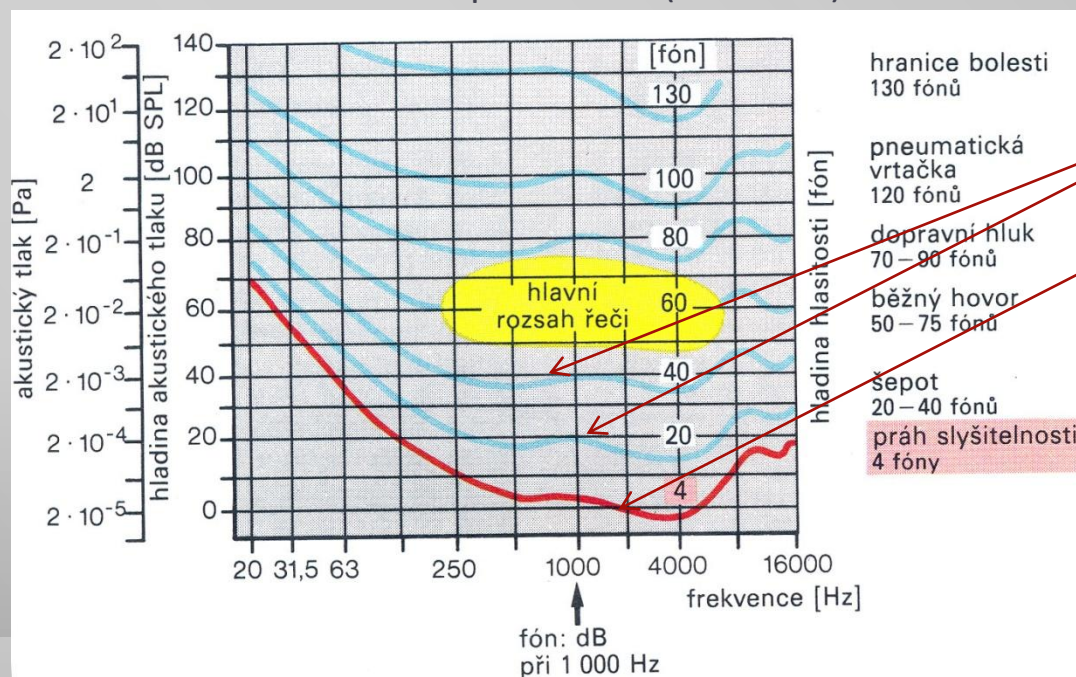
Fyzikální vlastností sluchu

- Závislost citlivosti sluchu [%] na věku (horní mezní frekvence)

Věk [roky]	8 kHz	10 kHz	12 kHz	14 kHz	16 kHz	18 kHz
20-29	100	100	100	90	60	40
30-39	100	100	90	70	30	20
40-49	100	90	70	40	15	10
50-59	100	80	40	20	5	0
60-69	90	70	20	0	0	0

Práh slyšení

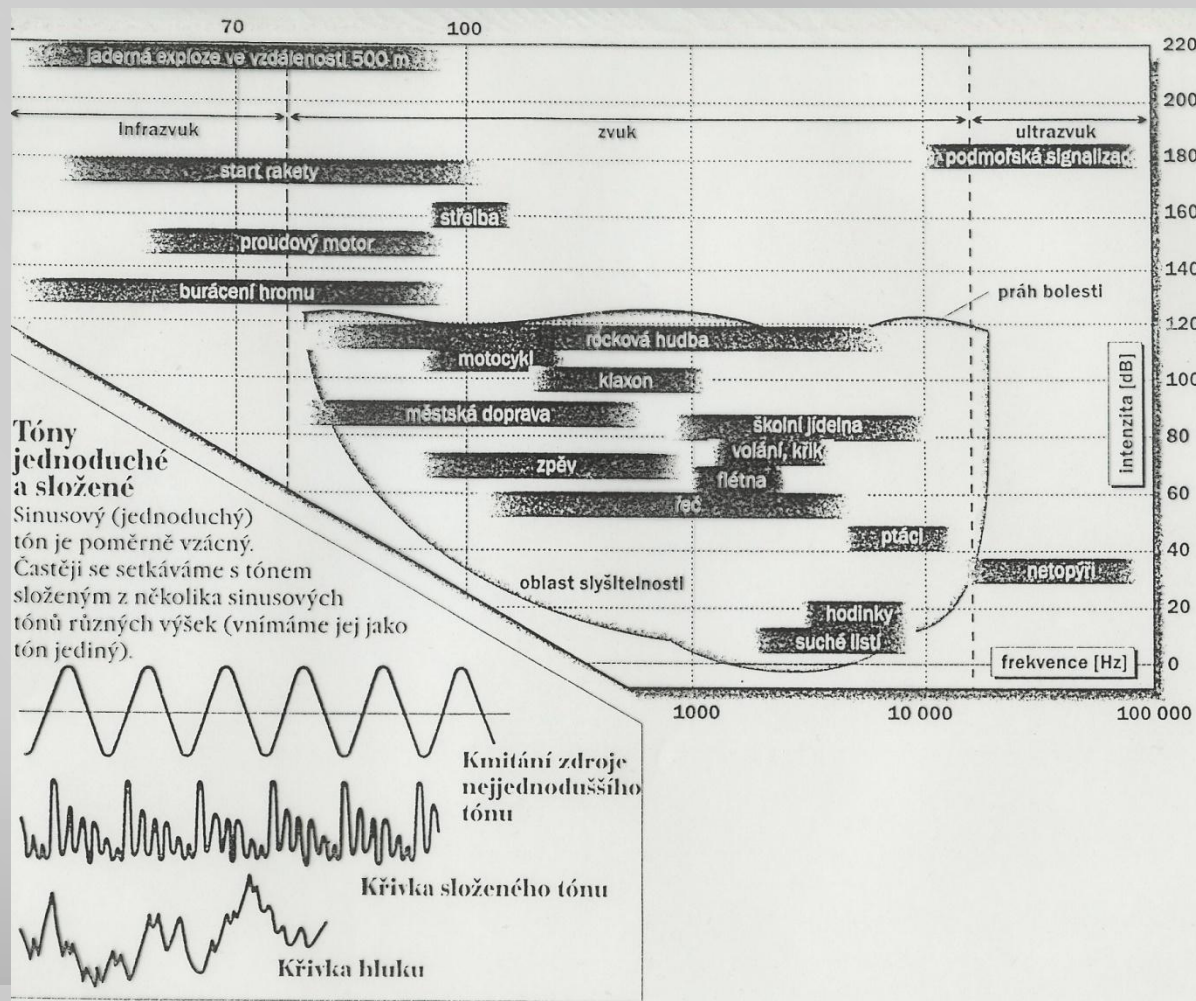
- **Práh slyšení:** Minimální výchylka ušního bubínku $0,1\text{\AA}$, což odpovídá akustickému tlaku asi $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} = 2 \cdot 10^{-10} \text{ baru}$ (na 1 kHz) - označme p_0
- Hladina akustického tlaku [dB]: $L = 20 \cdot \log(p/p_0)$ [dB]
- Max. akceptovatelný akust. tlak je $p = 2 \cdot 10^2 \text{ Pa} = 10^7 \cdot p_0$ (tj. 140 dB)
- Běžná konverzace ... $p \cong 10^{-1} \text{ Pa}$ (asi 70 dB)



izofóny
(červeně křivka
sluchového prahu)
jsou subjektivní hladiny
hlasitosti

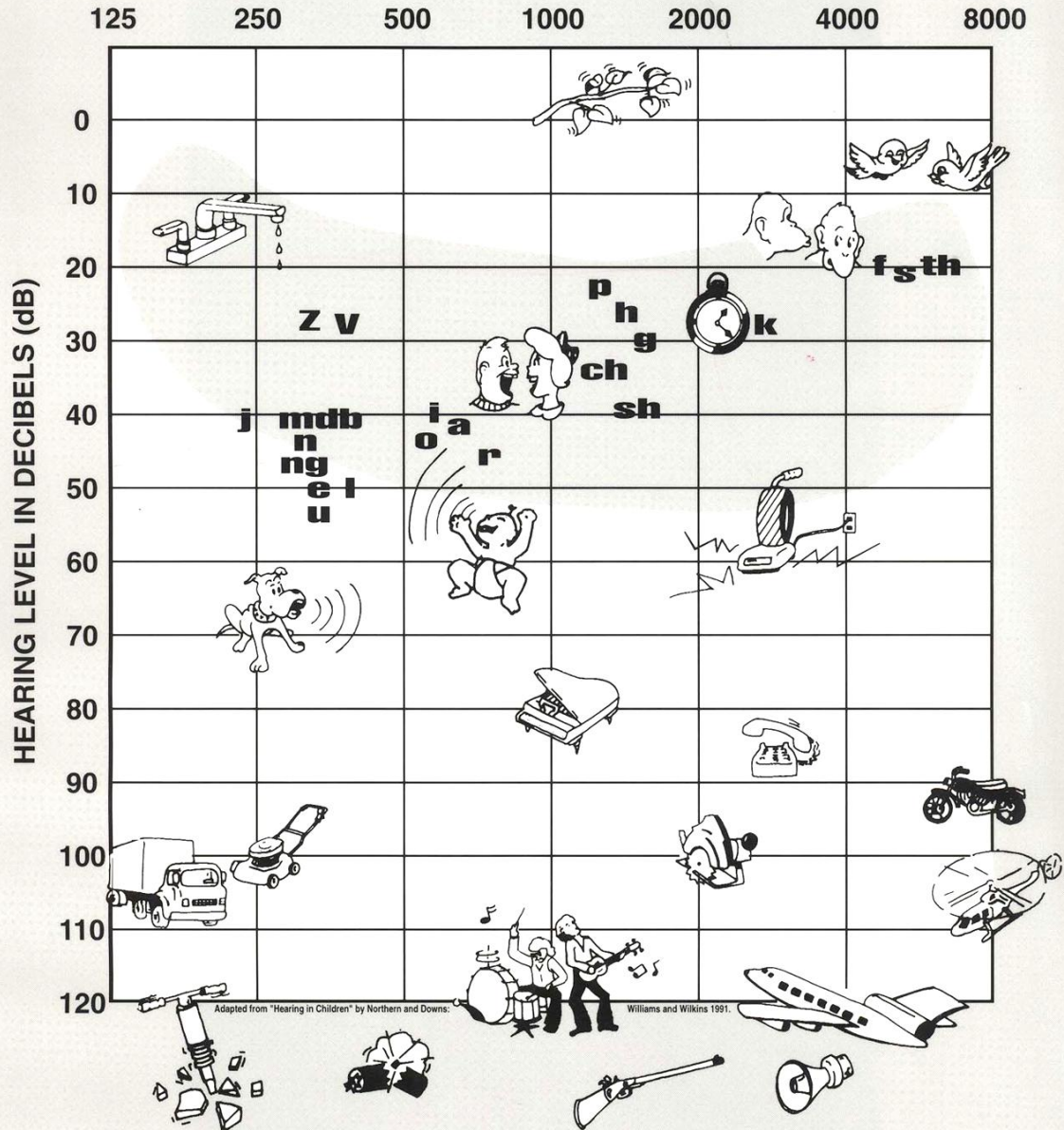
1 fón ... 1 dB na 1 kHz

Oblast slyšitelnosti, hluk



AUDIOGRAM OF FAMILIAR SOUNDS

FREQUENCY IN CYCLES PER SECOND (HZ)



Psychofiziologické fenomény

❑ **Omezený frekvenční rozsah a nerovnoměrná citlivost sluchu** k různým frekvenčním složkám

- složky mimo slyšitelné pásmo (16 Hz až 22 kHz) lze vyloučit
- složky pod prahem slyšitelnosti lze vyloučit

❑ **Maskovací efekty** (vrozené omezení sluchu)

- **frekvenční maskování** – silnější úzkopásmový tón potlačí vnímání slabších složek s blízkými kmitočty, tyto lze tedy vyloučit
- **časové maskování** – nevnímáme zvuky následující krátce po (a dokonce i krátce před) silnějším zvuku, tyto lze tedy vyloučit



Subjektivní audiometrie

- Při těchto vyšetřovacích metodách je nezbytná spolupráce pacienta.
- Zvuk je veden ze sluchátek do zevního zvukovodu až do vnitřního ucha, kde se mechanický podnět transformuje na elektrický vzruch.

NEBO

- Vyšetření tzv. kostního vedení se provádí kostním vibrátorem přiloženým na výběžek kosti skalní za boltcem. Zvuk je potom veden kostmi lebky přímo do vnitřního ucha.
- Standardní vyšetření se provádí v akusticky definovaném prostoru – tiché komoře (audiometrská kabina).

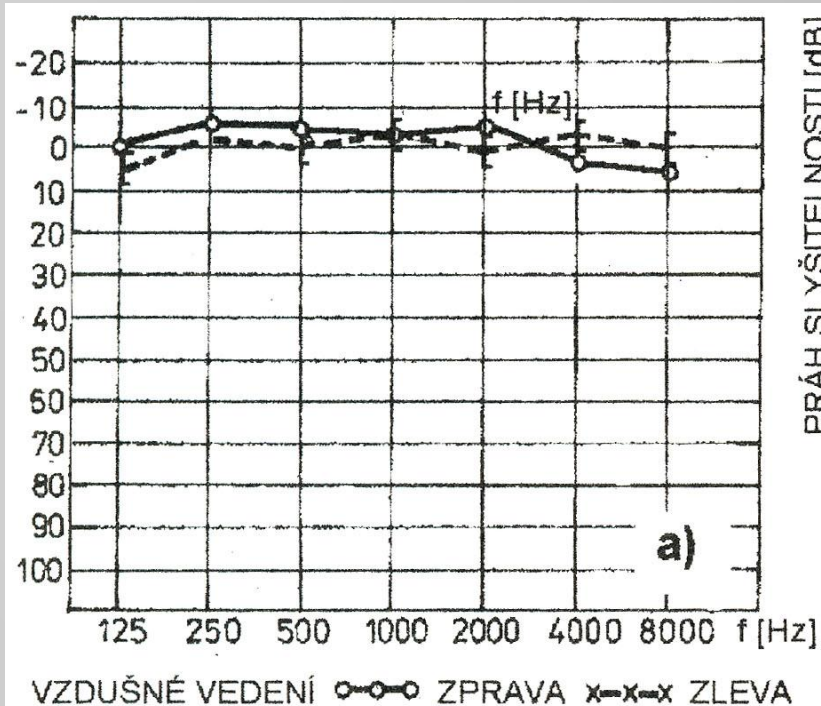


Tónová audiometrie

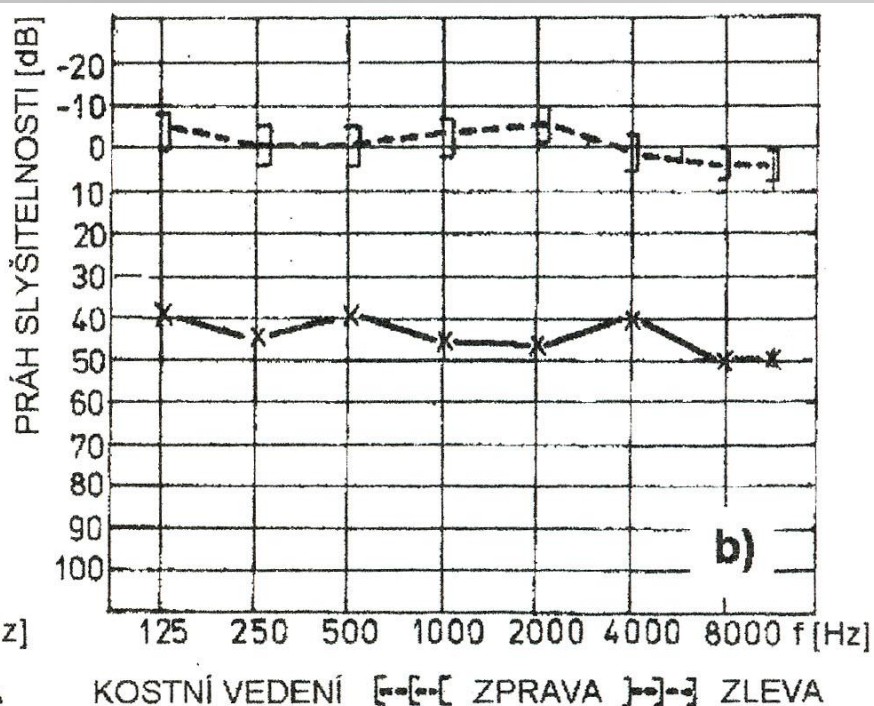
- **Rinneho test** (převodní porucha) – ladička 256 Hz nebo 400 Hz sleduje se rozdíl mezi vnímáním zvuku šířícího se
 - **kostním vedením** (ladička přiložena ke kosti blízko ucha) a
 - **vzdušným (kůstkovým) vedením** (ladička u ucha)
- normální sluch – klient slyší zvuk kůstkovým vedením 2x déle

- **Weberův test** (ladička přiložena doprostřed čela)
 - normální sluch – klient vnímá zvuk symetricky
 - převodní porucha – lokalizace zvuku do postiženého ucha
 - percepční porucha - lokalizace zvuku do citlivějšího ucha

Tónová audiometrie

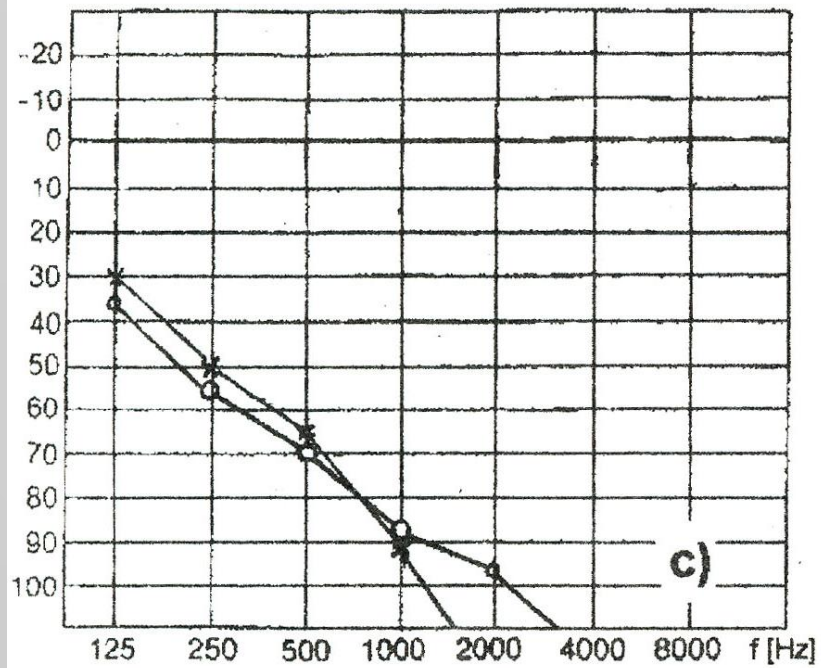


audiogram **normálně slyšícího pravého ucha**

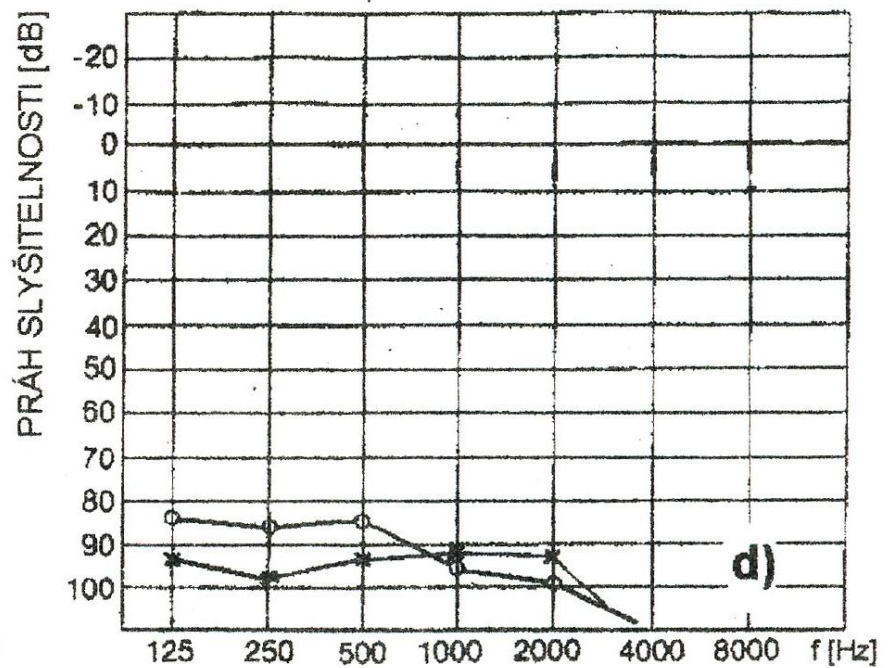


audiogram **levého ucha s poruchou vzdušného vedení**

Tónová audiometrie



oboustranná kochleární porucha



úplná hluchota

Impedanční audiometrie (objektivní)

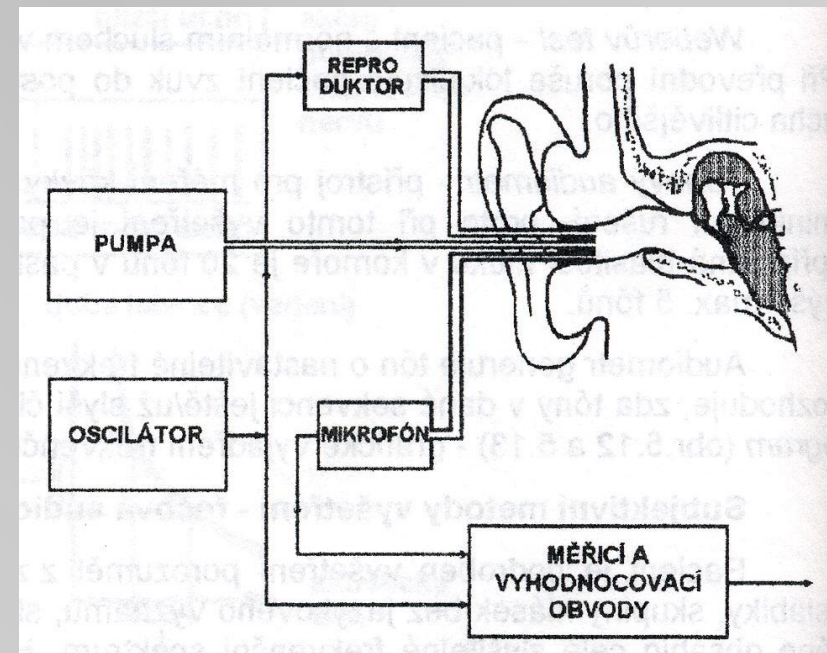
Měření akustické impedance

- bubínku
- mechanického systému středního ucha

Audiometr má 3 části:

- tónový generátor zvukové vlny (220 a 660 Hz)
- měření vlastností odraženého zvuku
- nastavení tlaku vzduchu ve vnějším zvukovodu

Měří se závislost akustické vodivosti struktur vnějšího a vnitřního ucha na tlaku zvuku ve vnějším zvukovodu



- tympanogram

Reflexivní audiometrie

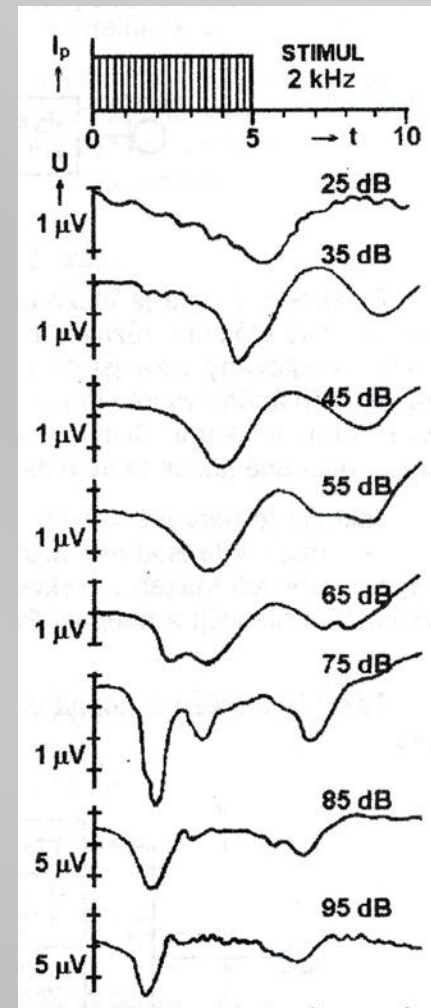
měří odezvy na akustické podněty v různých místech sluchového systému

Elektrokochleografie

- krátké (ms) stimulační impulsy (1, 2 nebo 4 kHz)
- evokovaný signál měřen tenkou elektrodou zavedenou propíchnutým bubínkem mezi oválné a okrouhlé okénko. Referenční elektroda na boltci.

Audiometr

- měří a analyzuje el. signály na počátku sluchového nervu
- růst intenzity stimulu
→ růst 1. negativní vlny





Ztráta sluchu

Hluchota nebo sluchová porucha

= snížená nebo chybějící schopnost vnímat zvukové informace.

Sluchovou vadu lze definovat jako zvýšení sluchového prahu, které je trvalé, nemá tendenci ke zlepšení a nelze ho ovlivnit žádným způsobem léčby.

Sluchová vada může být důsledkem poškození kterékoliv části sluchového orgánu.

- **Klinické studie:**

- **vzdušné vedení**

- ztráta do 60dB - porucha středního ucha
 - ztráta více než 60db - porucha středního i vnitřního ucha

Velikost ztráty [dB]	Stav sluchu
0 až 25 dB	Normální sluch
26 až 40 dB	Lehká nedoslýchavost
41 až 55 dB	Střední nedoslýchavost
56 až 70 dB	Středně těžké postižení sluchu
71 až 90 dB	Těžké postižení sluchu
nad 90 dB	Velmi závažné postižení sluchu



Ztráta sluchu

Některé případy ztráty sluchu jsou vratné lékařskou léčbou, mnohé vedou k trvalému postižení.

- dlouhodobý pobyt v prostředí se zvýšenou hladinou hluku
 - následkem chronických zánětů středouší
 - prohlubující se otosklerózou (skleróza částí ucha)
-
- Životně důležitý je věk, ve kterém sluchová ztráta nastala, protože to může zasahovat do učení se mluvené řeči. Sluchové pomůcky a hlemýždí implantáty mohou zmírnit některé problémy způsobené sluchovou poruchou, ale často jsou nedostatečné.

Sluchové vady

- Z terapeutického hlediska není podstatný stupeň sluchové vady, ale místo léze (porucha struktury) v řetězci jednotlivých částí sluchového orgánu.
- **vada převodního systému**
s lokalizací od zevního zvukovodu po oválné okénko (perforace bubínku, záněty středouší nebo Eustachovy tuby, osteoskleróza)
Celková ztráta sluchu může dosáhnout až 70 dB.
- **vada percepční**
s poruchou činnosti vláskových a dalších funkčních elementů vnitřního ucha, porucha vláken sluchového nervu, (postižení blanitého labyrintu, především vláskové buňky a nebo sluchového nervu (úraz). Charakteristikou je vzestup sluchového prahu na frekvenci 4 kHz až o 45 dB.
- **vada centrální**
s lokalizací ve sluchové dráze CNS.



Kofochirurgie

- Chirurgická korekce či rekonstrukce částí sluchového řetězce ve středním uchu, případně plastická náhrada bubínku nebo oválného okénka je jedním způsobem nápravy poruchy slyšení. Tyto výkony v kofochirurgii (kofóza – úplná hluchota) jsou označovány jako tympanoplastiky.
- Prakticky ale u všech těchto zákroků je třeba provést kompenzaci zbývajících sluchové vady sluchadlem.



Podpora senzoriky

Sluchové protézy

- sluchadla analogová nebo digitální
- kochleární neuroprotézy



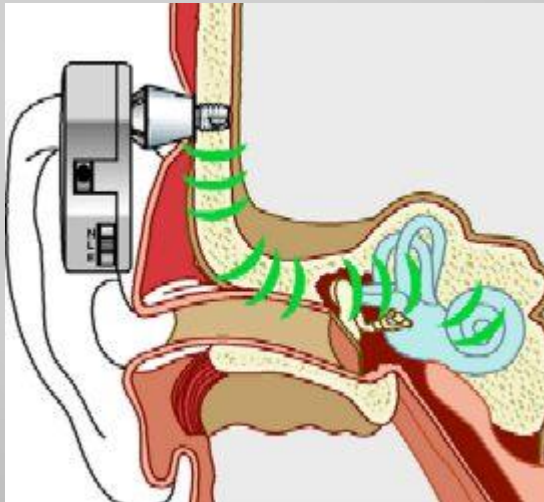
Požadavky na sluchadla

- Zvukový signál nesmí po **zesílení** sluchadlem na jeho výstupu překročit práh nepříjemného poslechu (UCL) a působit svému uživateli příliš hlasitý sluchový vjem.
- Sluchadlo nesmí urychlit **vývoj sluchové vady** (heredodegenerativní vady apod.).
- Sluchadlo by mělo svému uživateli zajistit aktivní sluch bez nutnosti koncentrovat se na přijímané zvuky.

Ukázka sluchadel



Sluchadlo pro kostní vedení (BAHA)





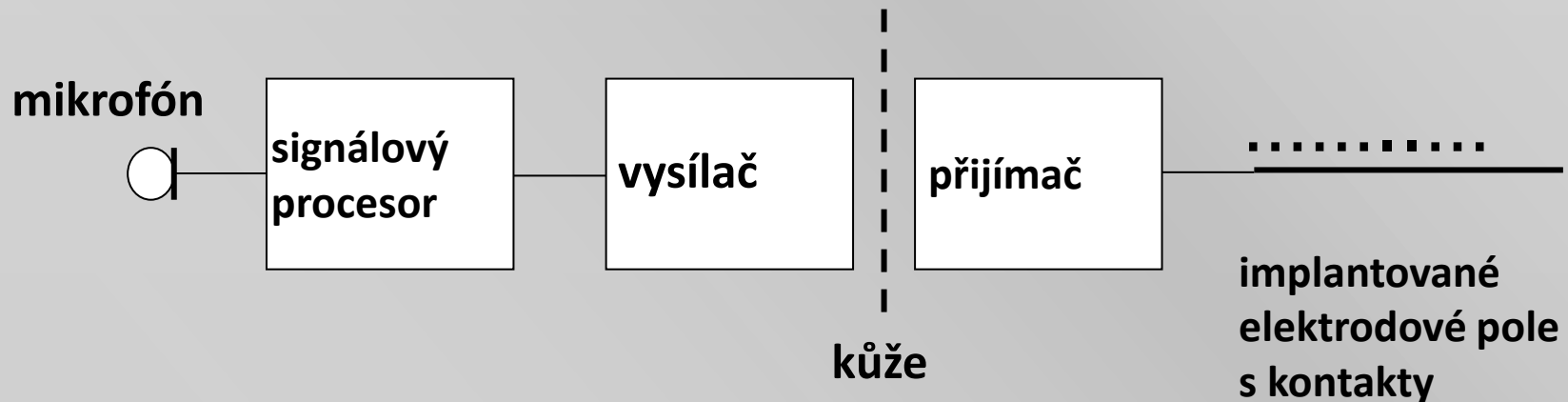
Kochleární neuroprotézy

předpoklady

- těžká ztráta sluchu, tzn. na řečových frekvencích mají ztrátu kolem 90 dB
- není poškozený hlemýžď
- sluchový nerv je dráždivý

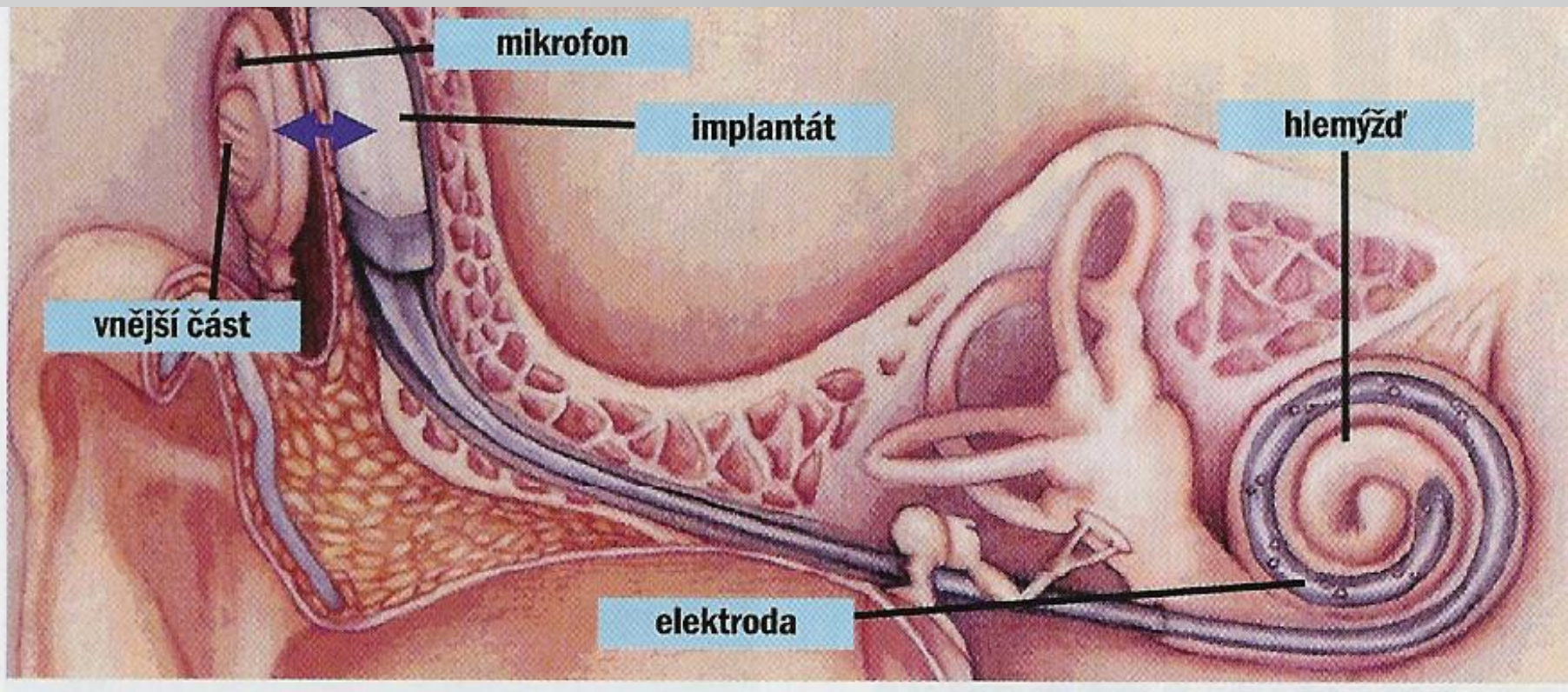
- Systém umožňuje vhodným elektrickým drážděním vyvolat sluchový vjem. Kvalita subjektivního vjemu je však jiná než u normálně slyšícího, zdravého člověka. Mozek pacienta se musí znova naučit tyto podněty vyhodnocovat.
- Principiálně je možné elektrody implantované do hlemýždě budit signálem přivedeným: vodiči transkutánně, indukivní vazbou nebo telemetricky. Počet kanálů zpracovávajících akustický signál, a tím i počet implantovaných elektrod může být různý: 1, 4, 8, 12, 16 nebo 22.

Kochleární neuroprotézy



- elektrodové pole zavedeno **do hlemýždě vnitřního ucha**
- elektrody jsou buzeny podle frekvenčního obsahu zvuku
 - ... blízko báze vf složky, u apexu nf složky...
- signálový procesor rozkládá signál na dílčí frekvenční pásma

Kochleární implantát



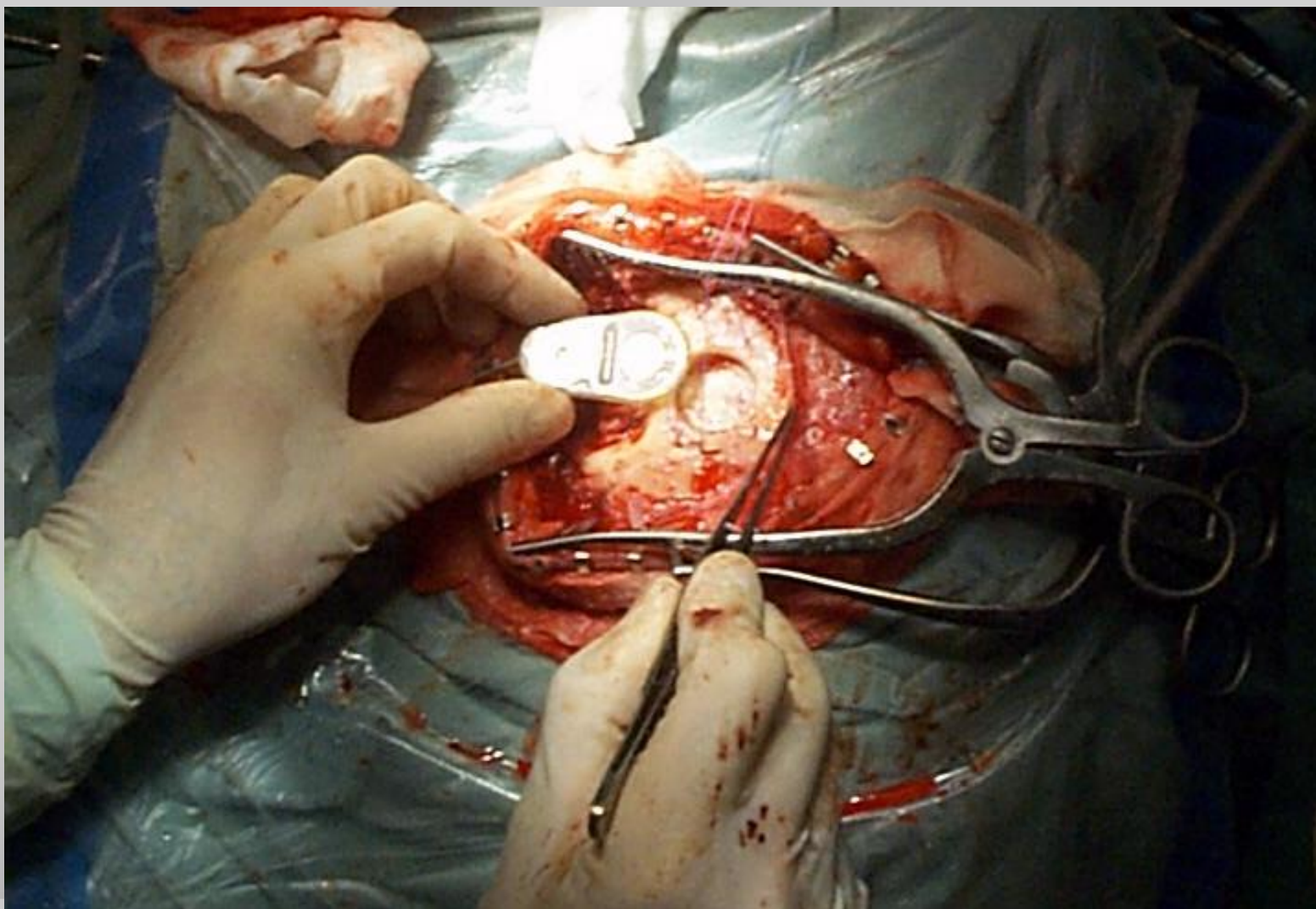
Implantace – příprava pacienta, monitorování nervu



Implantace – příprava operačního pole

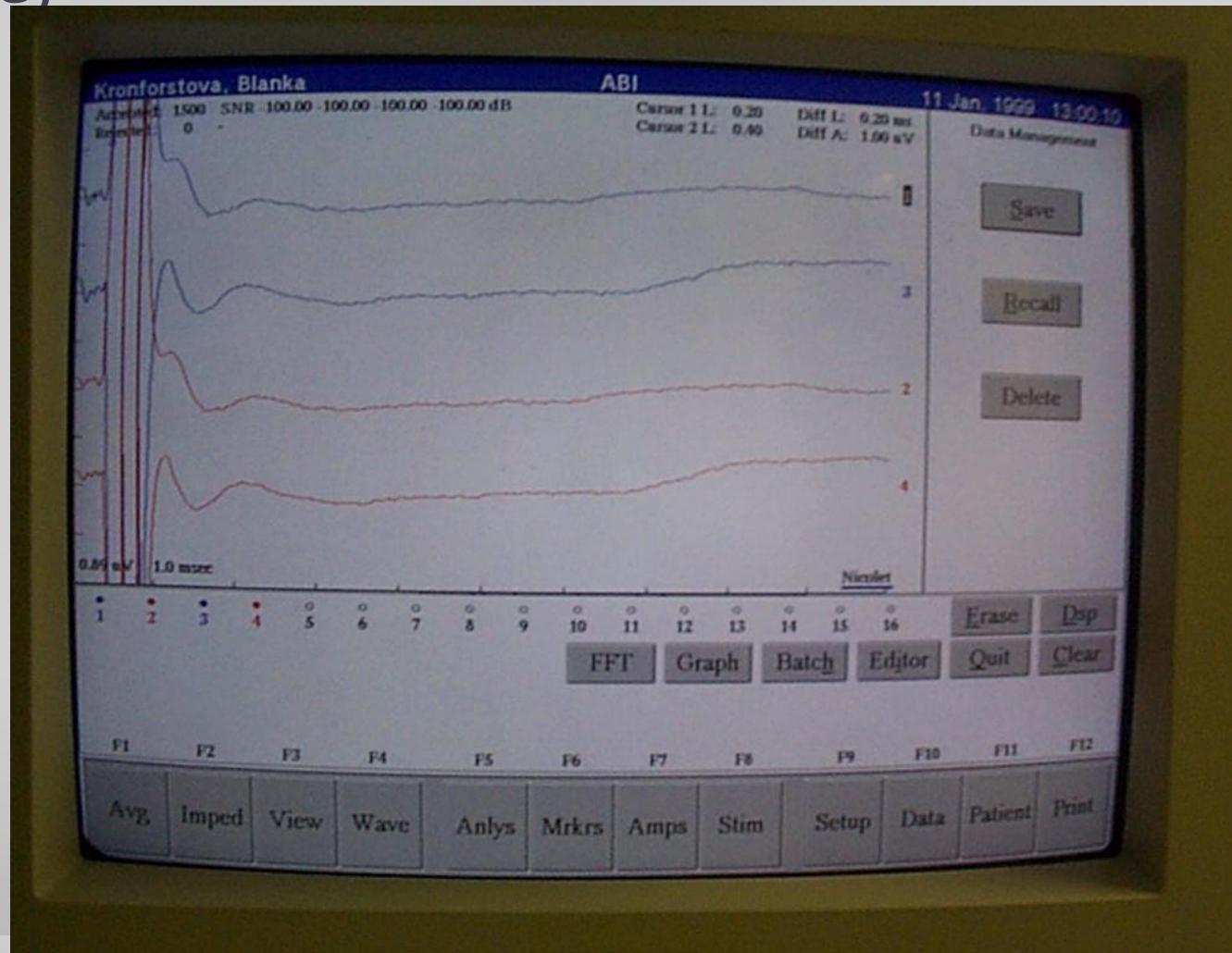


Implantace - vkládání implantátů

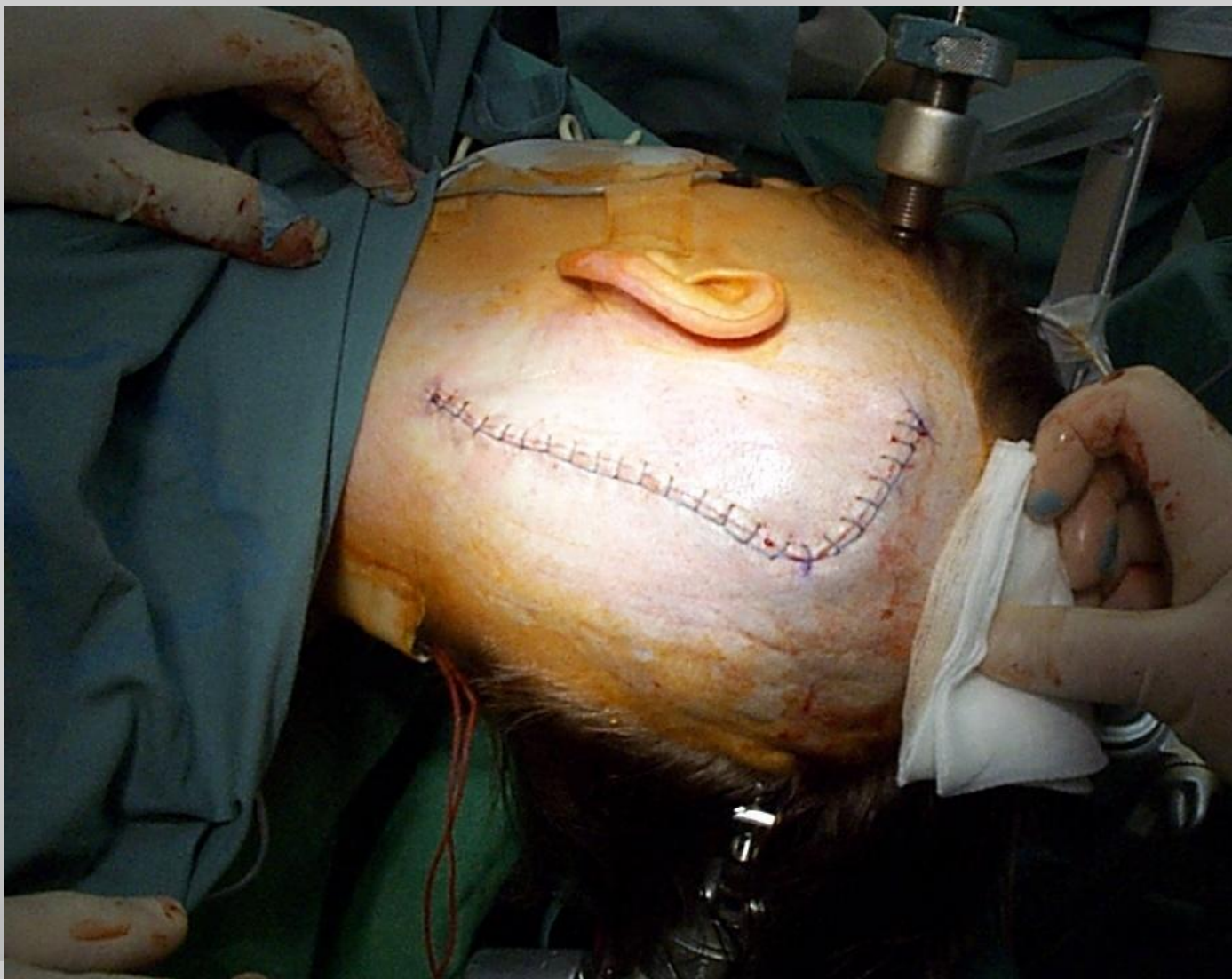


Zaznamenávání EABR

(evokované sluchové odpovědi mozkového kmene)



Závěr operace





Jak pacient slyší s kochleárním implantátem?

<http://auditoryneuroscience.com/prosthetics/music>

<http://shelaza.com/links/what-do-hearing-loss-hearing-aids-and-cochlear-implants-sound-like/>

<http://www.kplu.org/post/hear-what-familiar-tune-sounds-hearing-implant>

Existuje akustický klam?

Shepardův ton:

stoupající

<http://www.youtube.com/watch?v=BzNzgsAE4F0>

klesající

<http://www.youtube.com/watch?v=u9VMfdG873E>