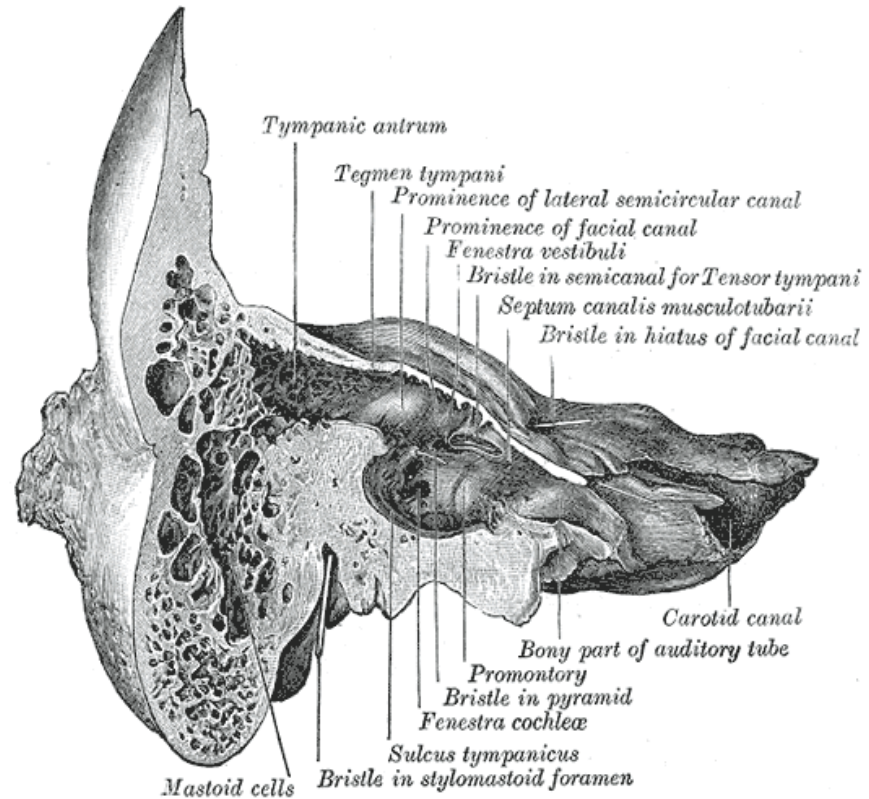
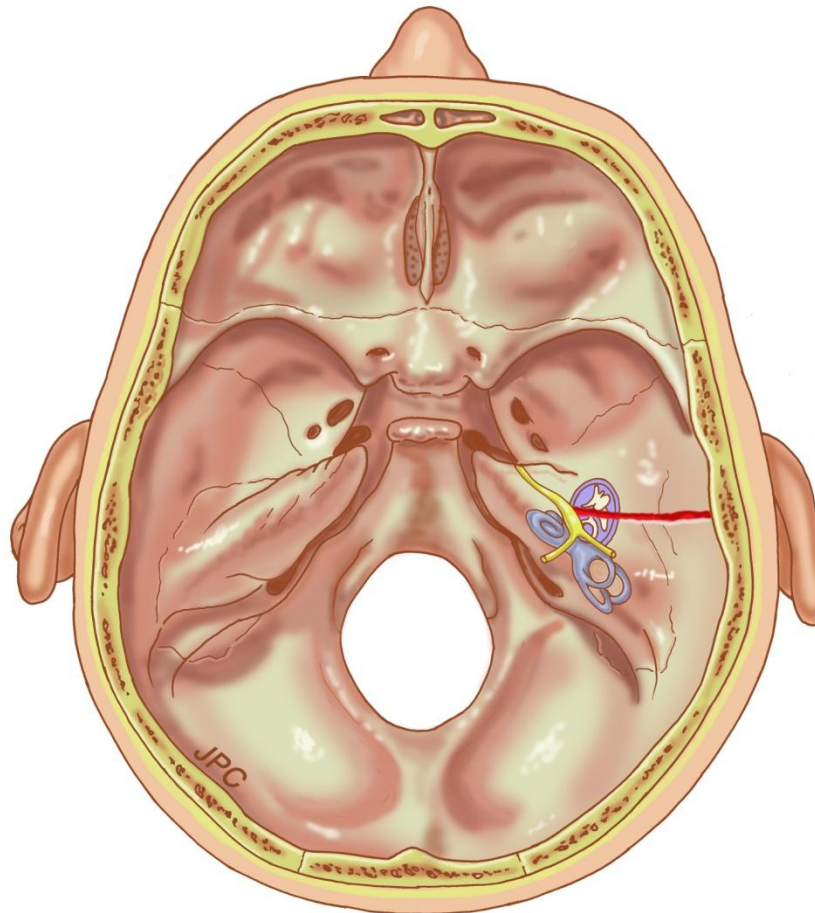
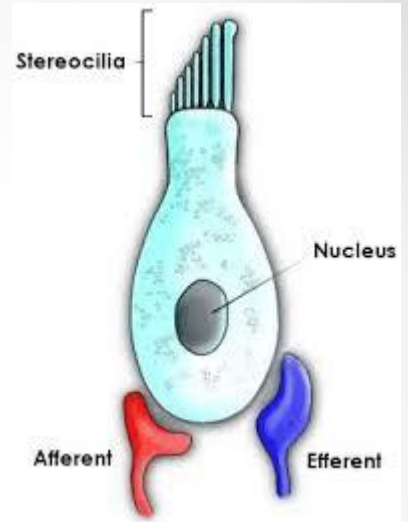


STATOAKUSTICKÝ SYSTEM

Aleš Homola

Anatomie



Kostěný labyrint



- Vestibulum
- Polokruhovitě kanálky
- Kochlea

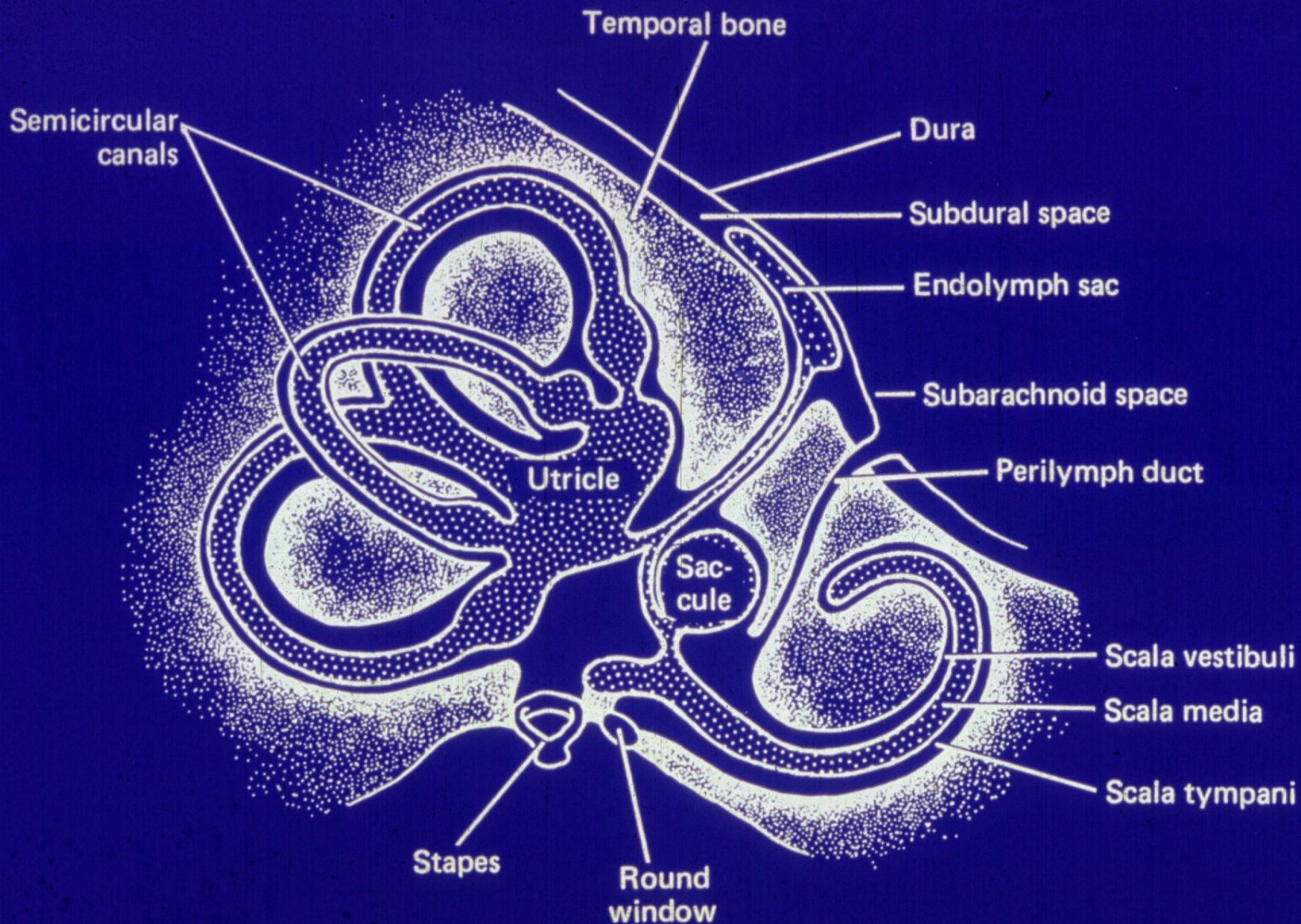


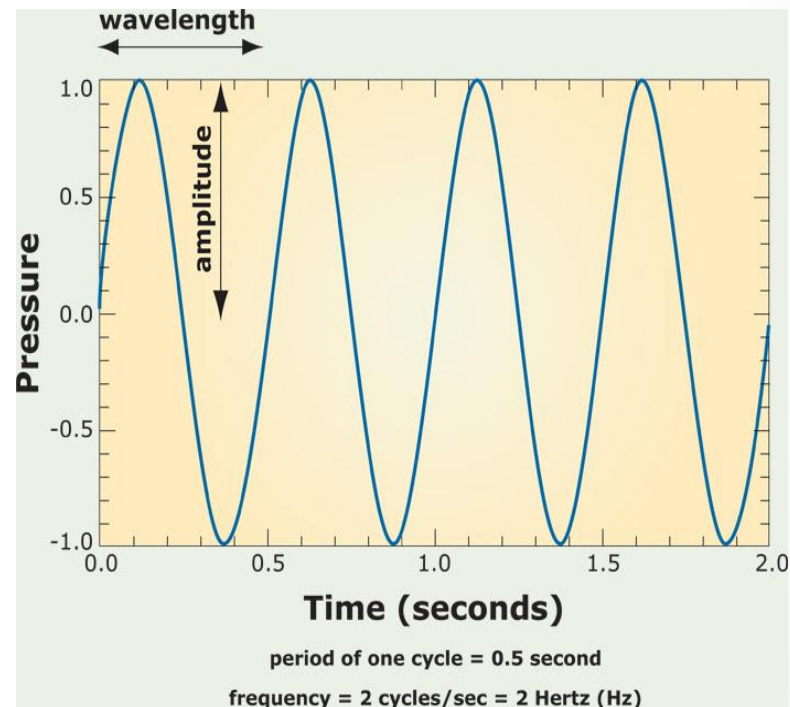
Figure 9-3. Relationship between the membranous and osseous labyrinths (diagrammatic).

Zvuk

- mechanické vlnění v látkovém prostředí (všechny formy hmoty x ne vakuum) schopné vyvolat sluchový vjem
- vlastnosti – výška (dána frekvencí)
barva (dána zastoupením harmonických kmitočtů ve spektru)
hlasitost (dána intenzitou zvuku)
- Zdroj zvuku - může být každé vibrující těleso, vodič – každá látka

Charakteristika zvukové vlny

- *Sinusoida* charakterizovaná:
 - frekvencí
 - vlnovou délkou
 - amplitudou
 - intenzitou
 - rychlostí
 - směrem



Rychlost zvuku

<u>Látka</u>	<u>Rychlost</u> ($m.s^{-1}$)
<u>Kyslík</u> (25 °C)	316
Suchý <u>vzduch</u> (0 °C)	331,4
Suchý vzduch (25 °C)	346,3
<u>Helium</u> (0 °C)	970
<u>Rtuť</u> (20 °C)	1400
<u>Destilovaná voda</u> (25 °C)	1497
<u>Mořská voda</u> (13 °C)	1500
<u>Led</u> (-4 °C)	3250
<u>Sklo</u> (20 °C)	5200
<u>Ocel</u> (20 °C)	5000

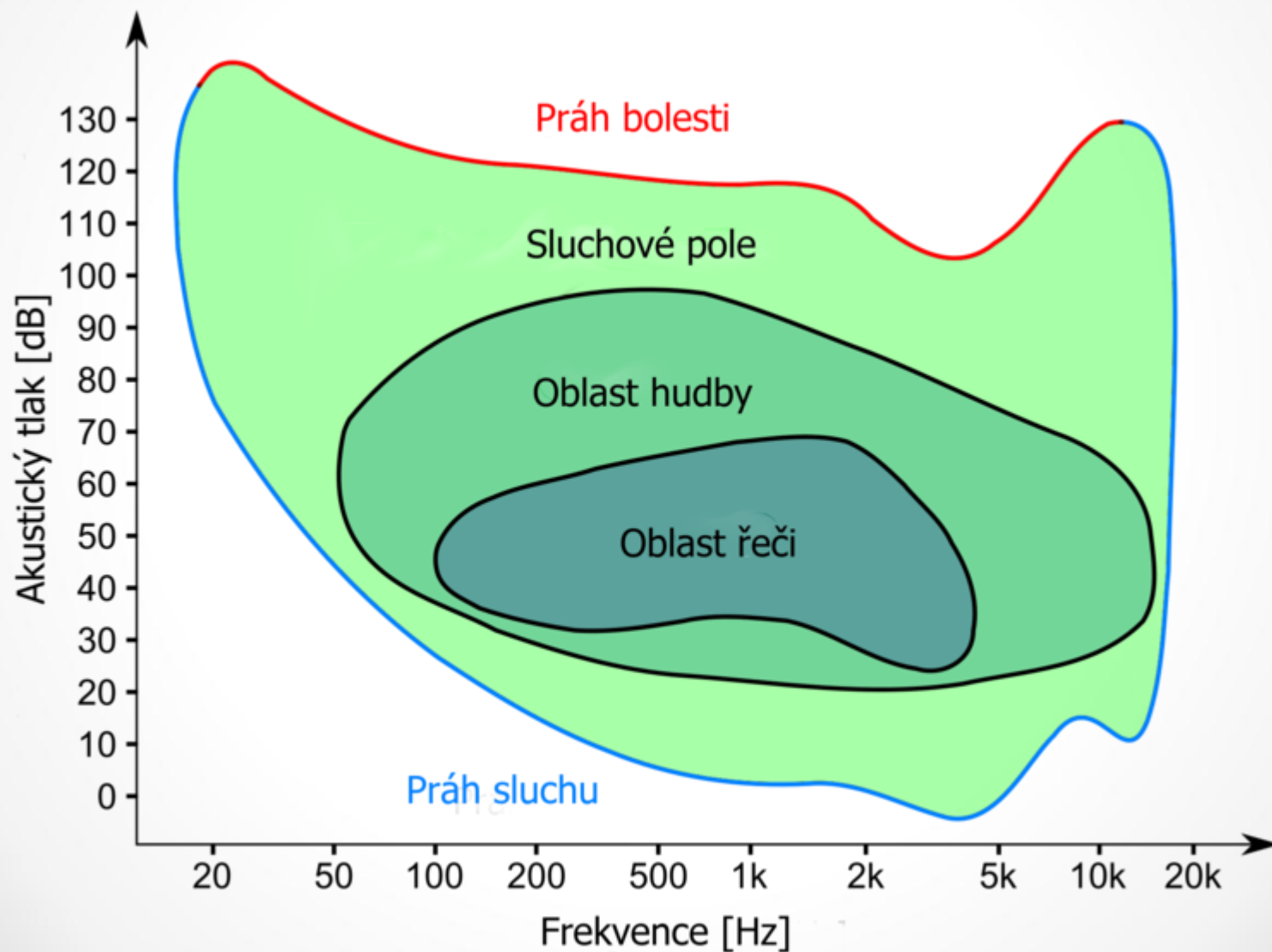
Rychlost zvuku

<u>Nadmořská výška</u>	Teplota vzduchu (<u>°C</u>)	Rychlost (<u>m.s⁻¹</u>)
Hladina moře	15	340
11 000 m - 20 000 m	-57	295
29 000 m	-48	301

Vnímání zvuku

- frekvenční rozsah – u lidí mezi 16 Hz až 20 kHz
- **pod 16 Hz – infrazvuk** (komunikace některých zvířat, doprovází přírodní živly, průmyslové stroje, infrazvukové zbraně)
- **nad 20 kHz – ultrazvuk** (komunikace a echolokace u zvířat, v medicíně, čističky, zbraně)
- dynamický rozsah – rozdíl mezi nejhlasitějším a nejtišším vnímatelným zvukem

Sluchové pole člověka



Hlasitost a intenzita zvuku

- **Hlasitost** – subjektivní veličina závislá na velikosti akustického tlaku
- měřitelnou veličinou je **hladina intenzity**
- **Intenzita** – zvuková energie dopadající na jednotku plochy za jednotku času (akustický výkon na jednotku plochy)
- Vzhledem k velkému rozpětí slyšitelných intenzit (10^{12}) byl zaveden logaritmický poměr s jednotkou bel (B), v praxi decibel (dB). **Hladina intenzity L:**

$$L = 10 \cdot \log(I/I_0) \quad [\text{dB}]$$

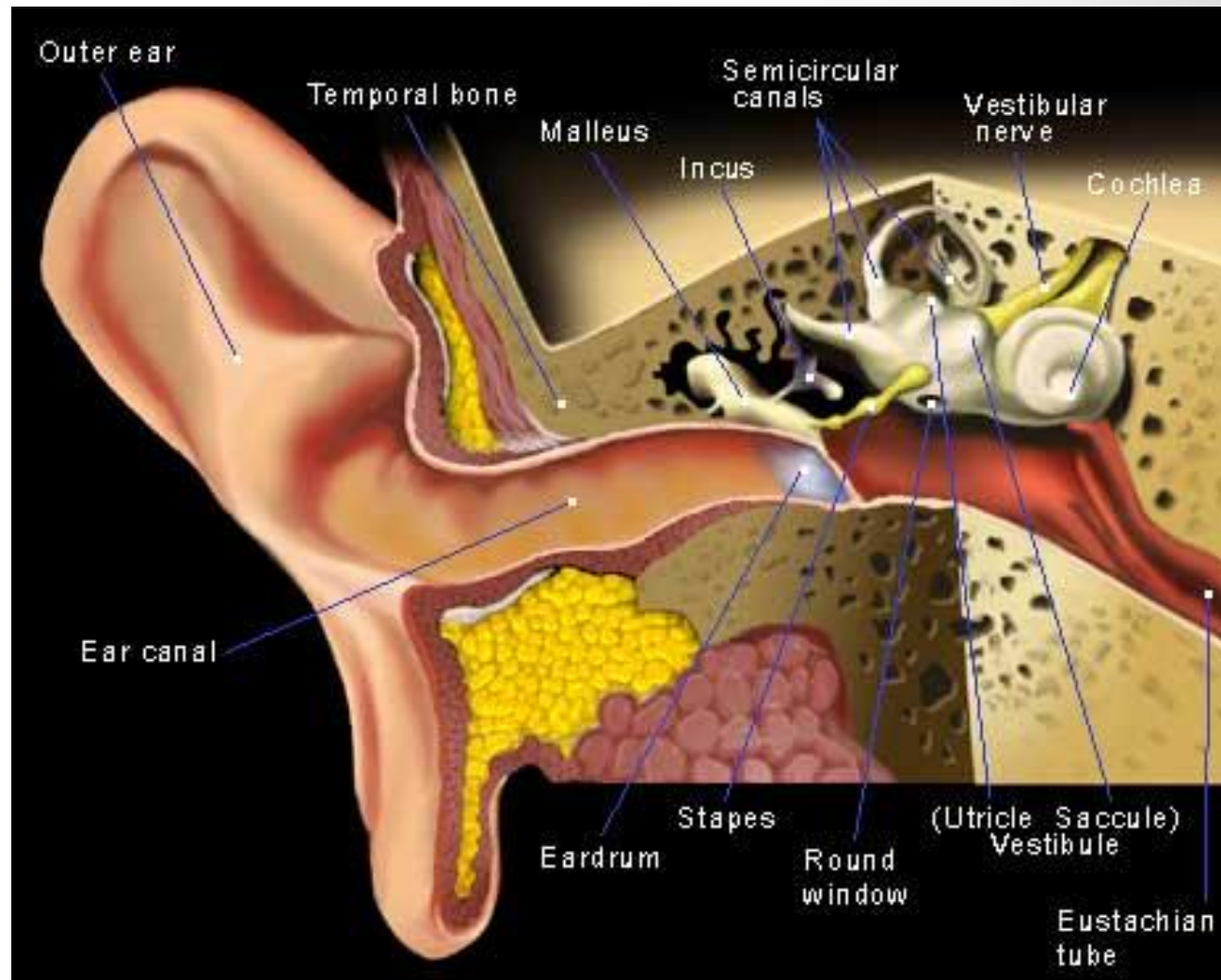
2 škály měřitelné v dB – SIL (Sound Intensity Level) a SPL (Sound Pressure Level)

Hlasitost běžných zvuků

tryskové letadlo	160 dB
práh bolesti	130 dB
rockový koncert	120 dB
metro	100 dB
provoz na ulici	80 dB
řeč	60 dB
šepot	10-20 dB
práh slyšitelnosti	0 dB

Hlavní součásti sluchového ústrojí

- Vnější ucho
- Střední ucho
- Vnitřní ucho
- Sluchové dráhy a sluchová oblast CNS



Zevní ucho

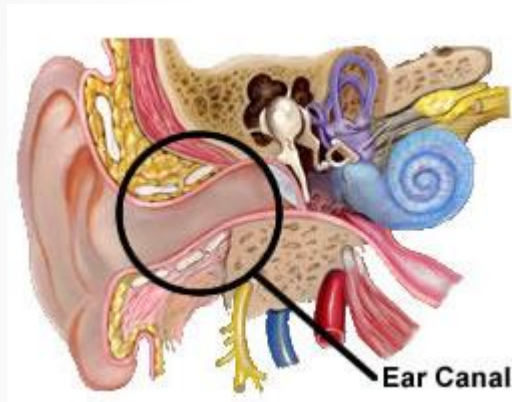
- **Boltec** - dědičné variace tvaru
- **Zvukovod** – přívod zvukových vln
- **Bubínek** - pružná membrána, rozhraní, oddělující střední ucho

Boltec

- boltec usměrňuje zvukové vlny do zvukovodu
- zesílení akustického tlaku
- lokalizace zvukového podnětu
- u některých zvířat boltce pohyblivé



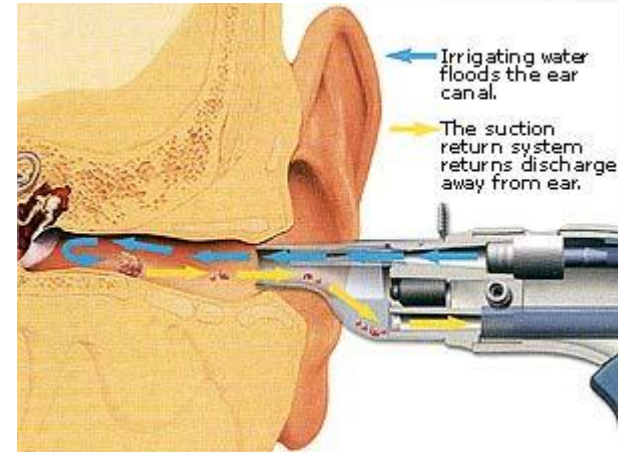
Zevní zvukovod



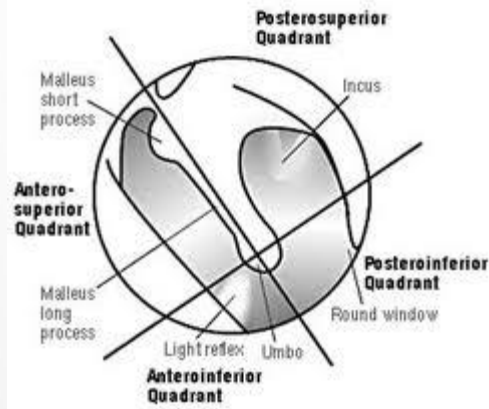
- přibližně 3 cm dlouhý
- esovitě zakřivený
- výstelkou je kůže s mazovými žlázami
- zevní třetina chrupavčitá, vnitřní 2/3 kostěnné

Zevní zvukovod je rezonátor, zesiluje kmitočty 2-6 kHz s maximem v pásmu 3-4 kHz, (+12 dB). Uzávěr zvukovodu zhoršuje slyšení o 40 - 60 dB.

Cerumen



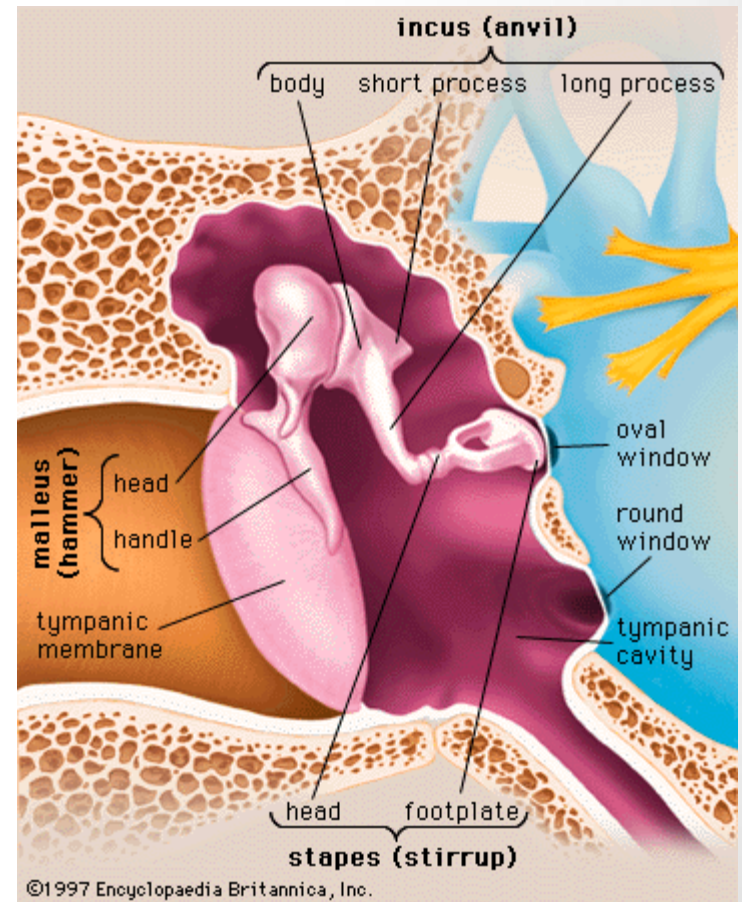
Ušní bubínek



- tenká vazivová membrána (0.1 mm)
- tvoří hranici mezi zevním a středním uchem
- mění akustickou energii na mechanickou energii
- paracentéza – v dolním zadním kvadrantu

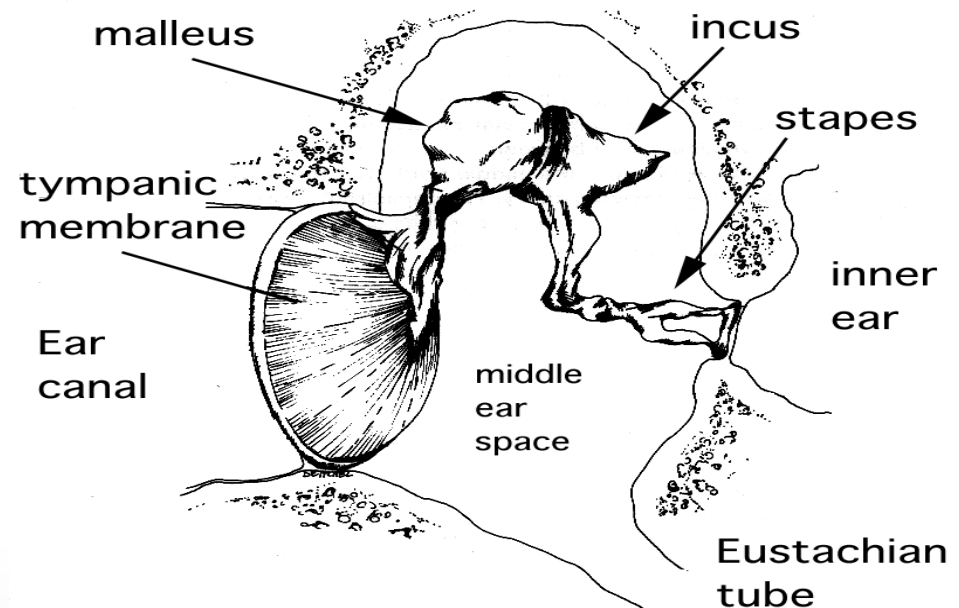
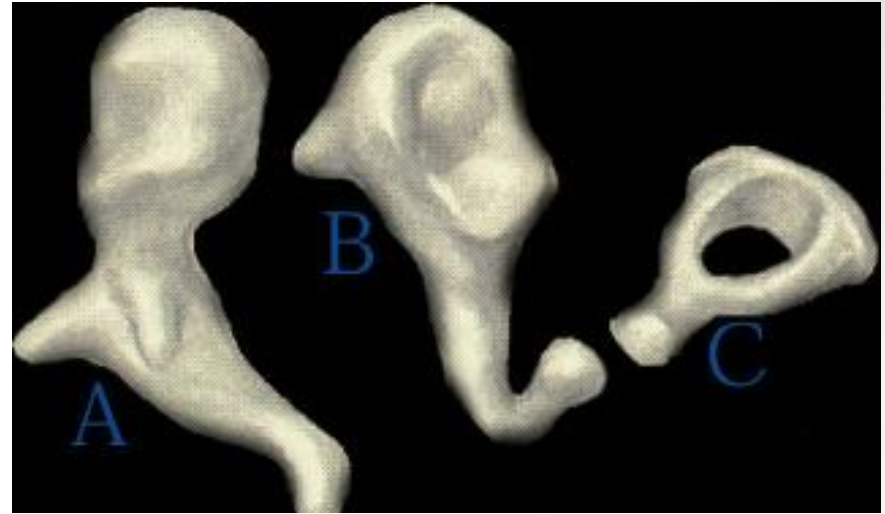
Střední ucho

- **Středoušní dutina** – vzduchem vyplněná dutina uvnitř spánkové kosti (spojena Eustachovou trubicí s nosohltanem).
- **3 sluchové kůstky:** kladívko, kovádlinka a třmínek (malleus, incus a stapes) – přenos kmitů bubínku do vnitřního ucha.
- **2 středoušní svaly** – ochranná funkce před silným zvukem
- **Funkce:** pístový a pákový systém zesílení zvuku („impedanční adaptér“)



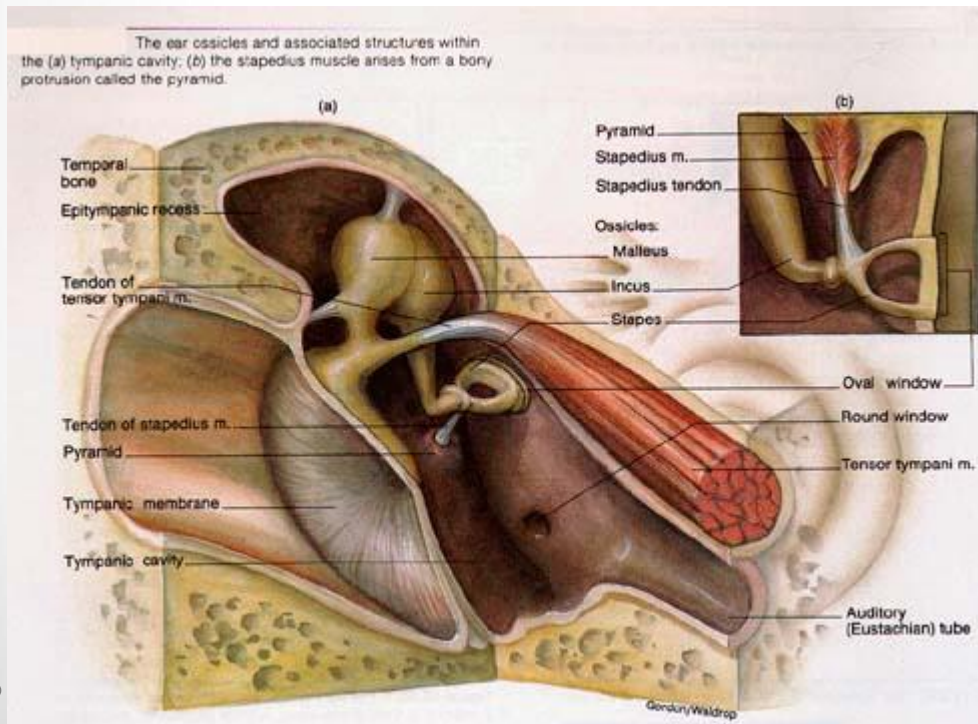
Sluchové kůstky

- A: kladívko,
- B: kovadlinka
- C: třmínek –
přenos kmitů
bubínku do
vnitřního ucha.

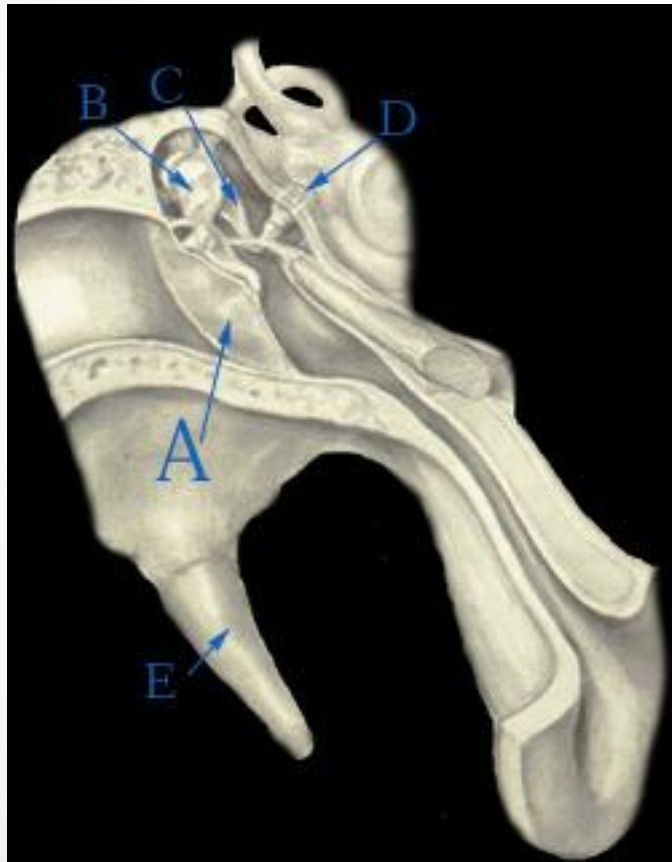


Středoušní svaly

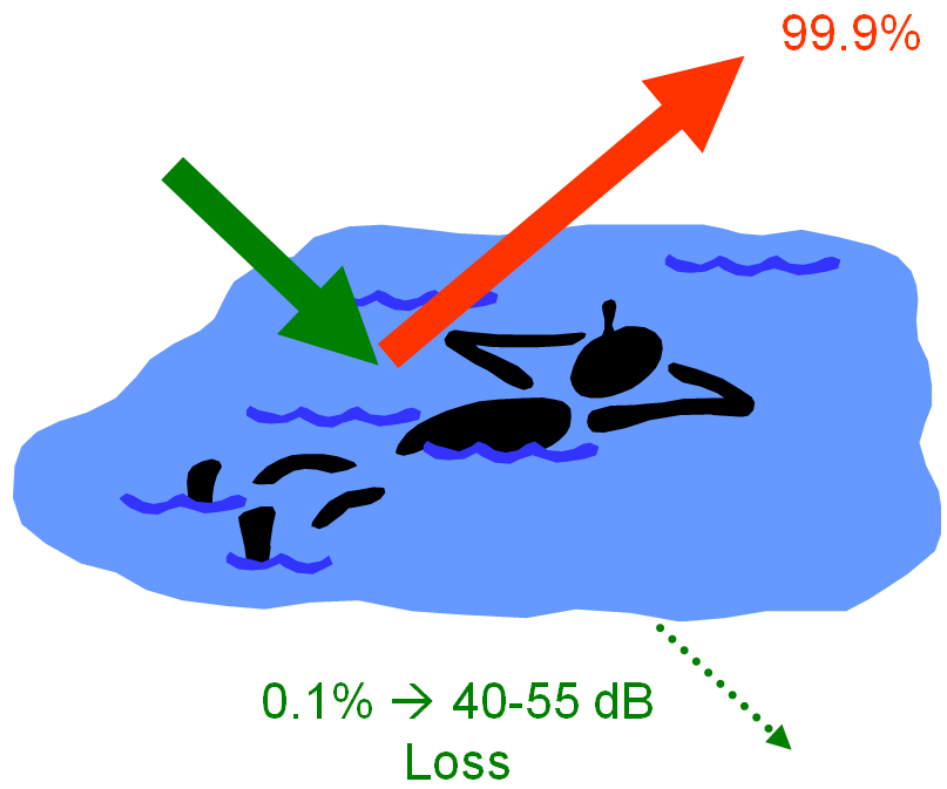
- M. stapedius a tensor tympani
- TTM- napíná ušní bubínek a mění pozici sluchových kůstek
- SM – vytahuje třmínek z oválného okénka
- = chrání vláskové bb . před poškozením silným zvukem – tlumí silné zvuky až o 15 dB



Eustachova trubice

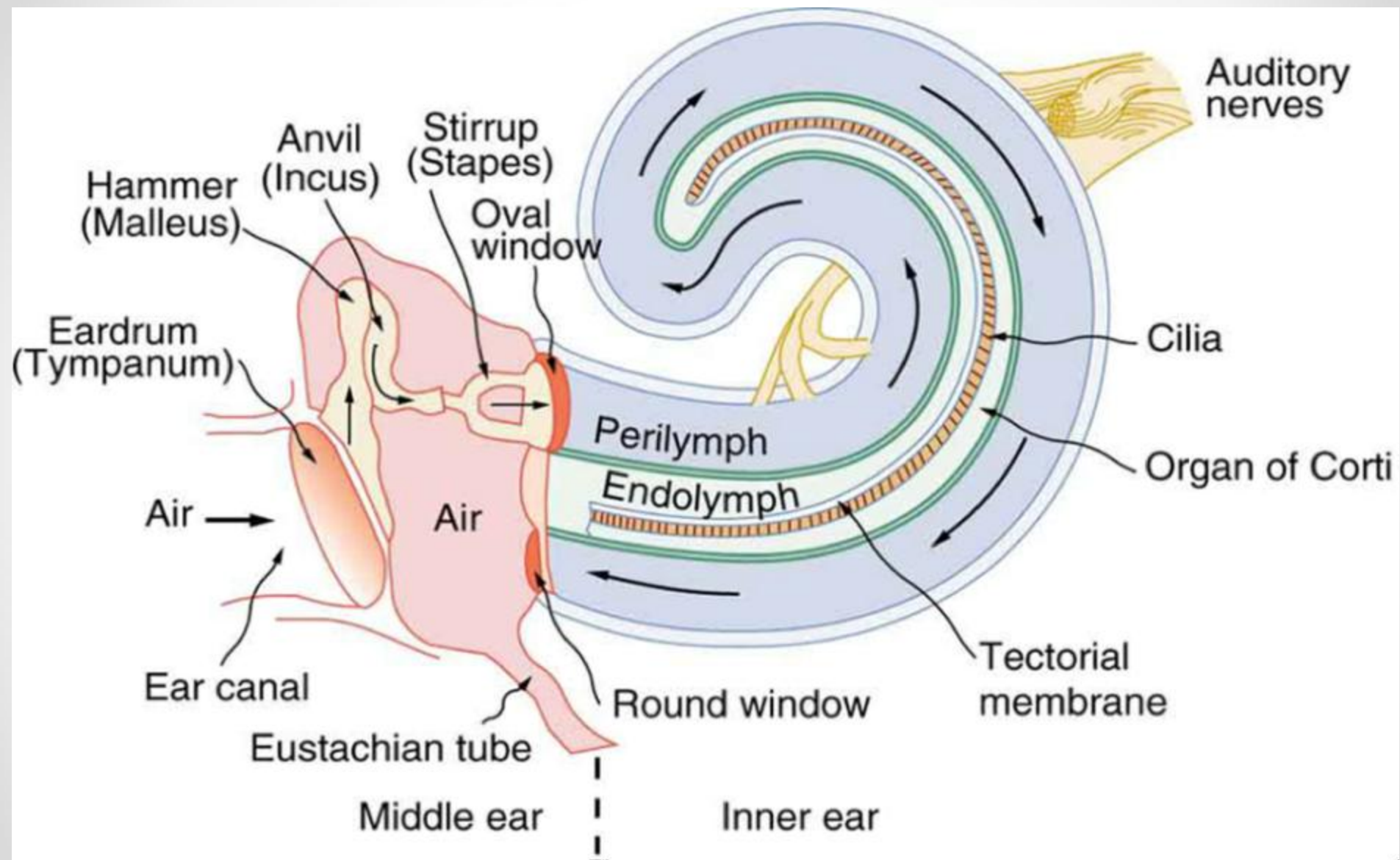


- výstelkou je sliznice, spojuje nosohltan se středním uchem
- vyrovnává tlak vzduchu
- kromě zívání a polykání je uzavřená
- nepodílí se na procesu slyšení



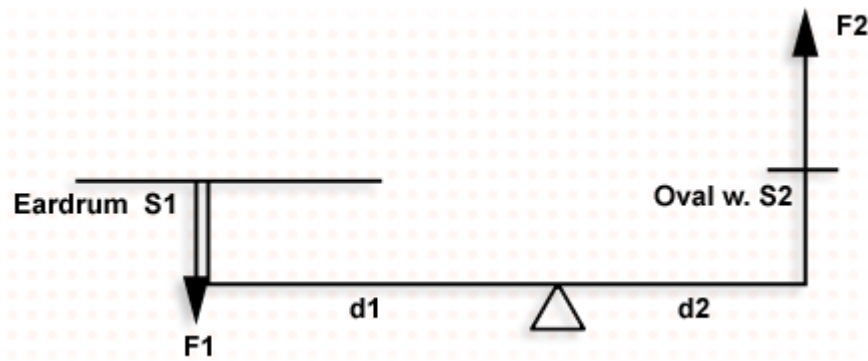
99.9%

0.1% → 40-55 dB
Loss



Převod zvukové energie středouším

$$(S1/S2 = \sim 20) \times (d1/d2 = \sim 1.3) = 26$$

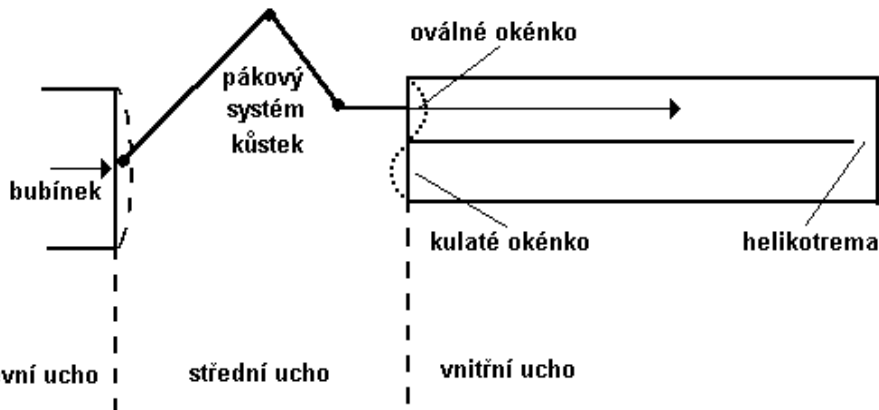


Velký rozdíl akust. impedancí vzduchu ($3,9 \text{ kPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$) a tekutiny vnitřního ucha ($15\,700 \text{ kPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$) by vedl k velké ztrátě intenzity (asi 30 dB) - vyrovnáno poměrem ploch a změnou amplitudy a tlaku zvukového vlnění (ve vzduchu velká amplituda a malý tlak, v tekutém prostředí naopak).

Převod akust. vlnění z bubínku (plocha asi 60 mm^2) na menší plochu oválného okénka (3 mm^2) 20x zvýší tlak.

+
Kladívko a kovadlinka tvoří nerovnoramennou páku (1,3x zvětší tlak).

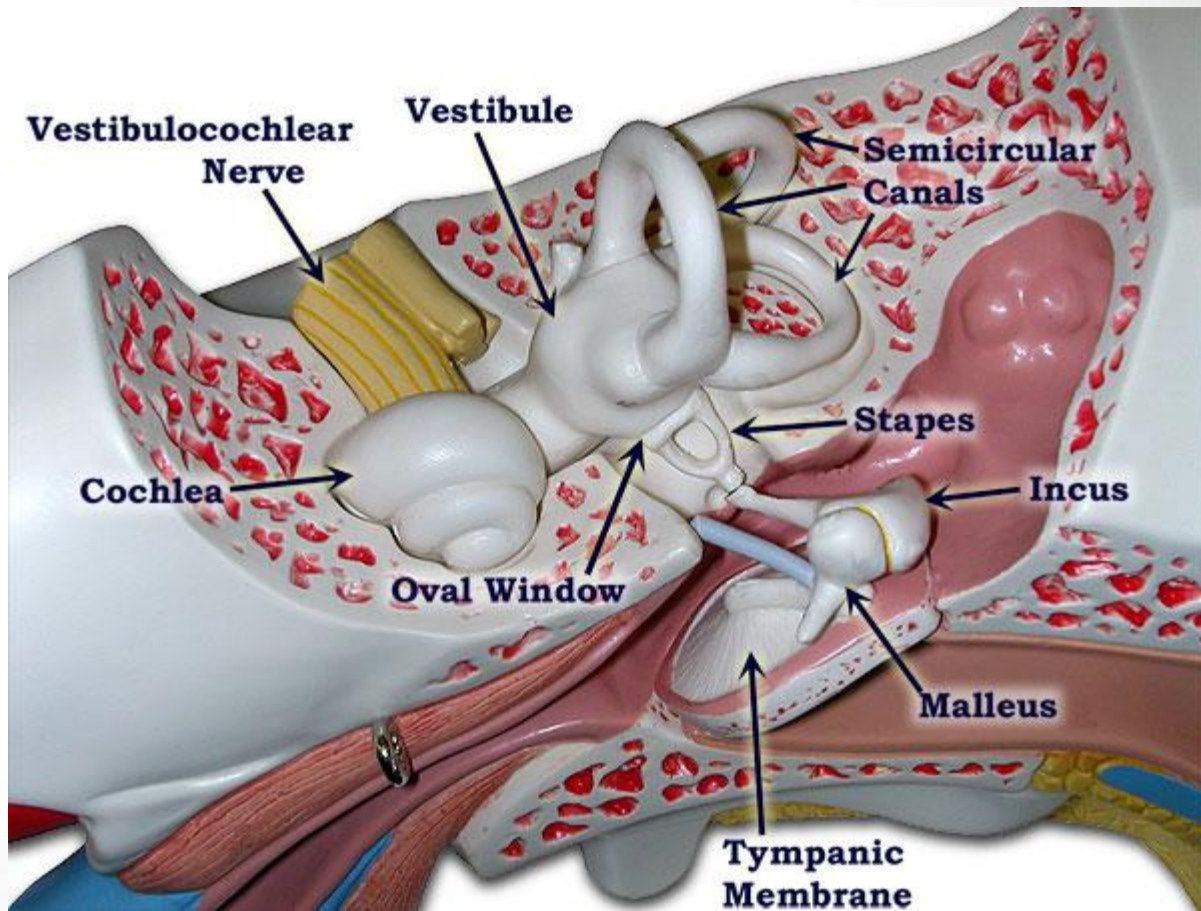
26-násobné zesílení zvuku představuje zesílení intenzity zvuku cca o 28 dB.



Vnitřní ucho

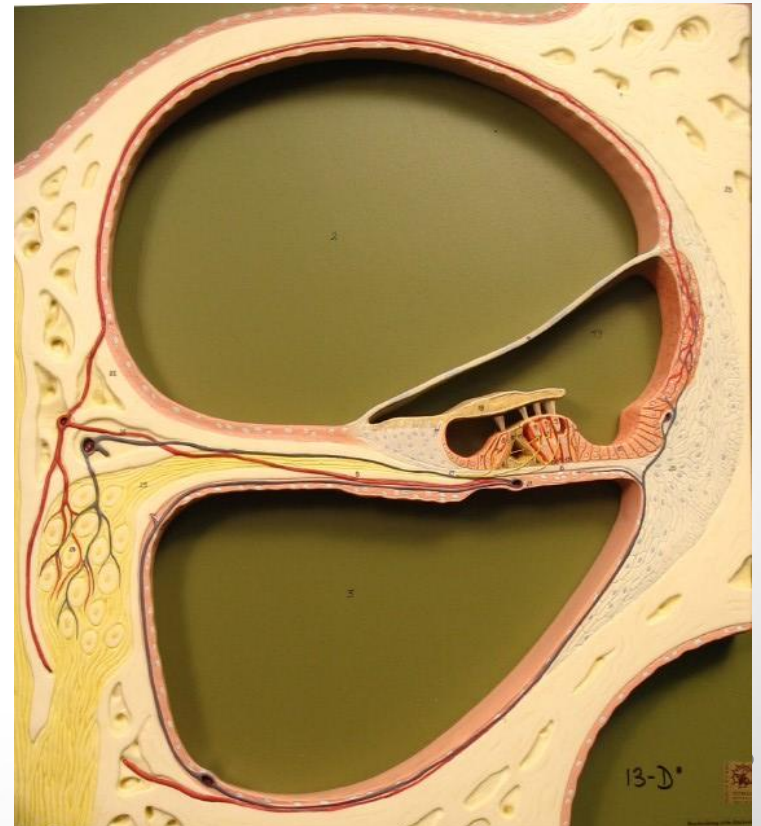
- uložené v pyramidě spánkové kosti
- kostěný labyrint (os temporale), blanitý labyrint

Obsahuje senzory sluchového a vestibulárního aparátu.



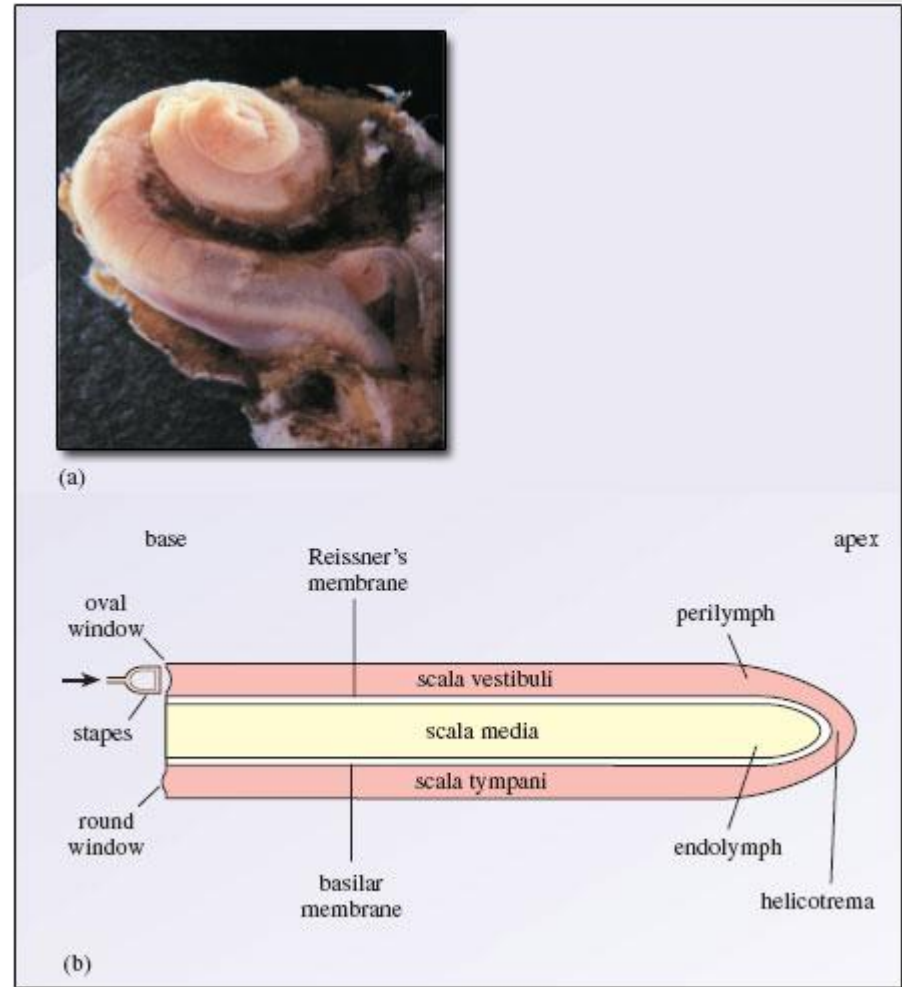
Kochlea

- Z řeckého slova *kokhlias*, - hlemýžď
- spirálovitě zatočená trubice, u člověka cca 35 mm dlouhá, $2\frac{3}{4}$ závitů okolo centrálního pilíře (modiolus), který obsahuje sluchový nerv
- obsahuje sluchový senzorický orgán s receptorovými buňkami – Cortiho orgán

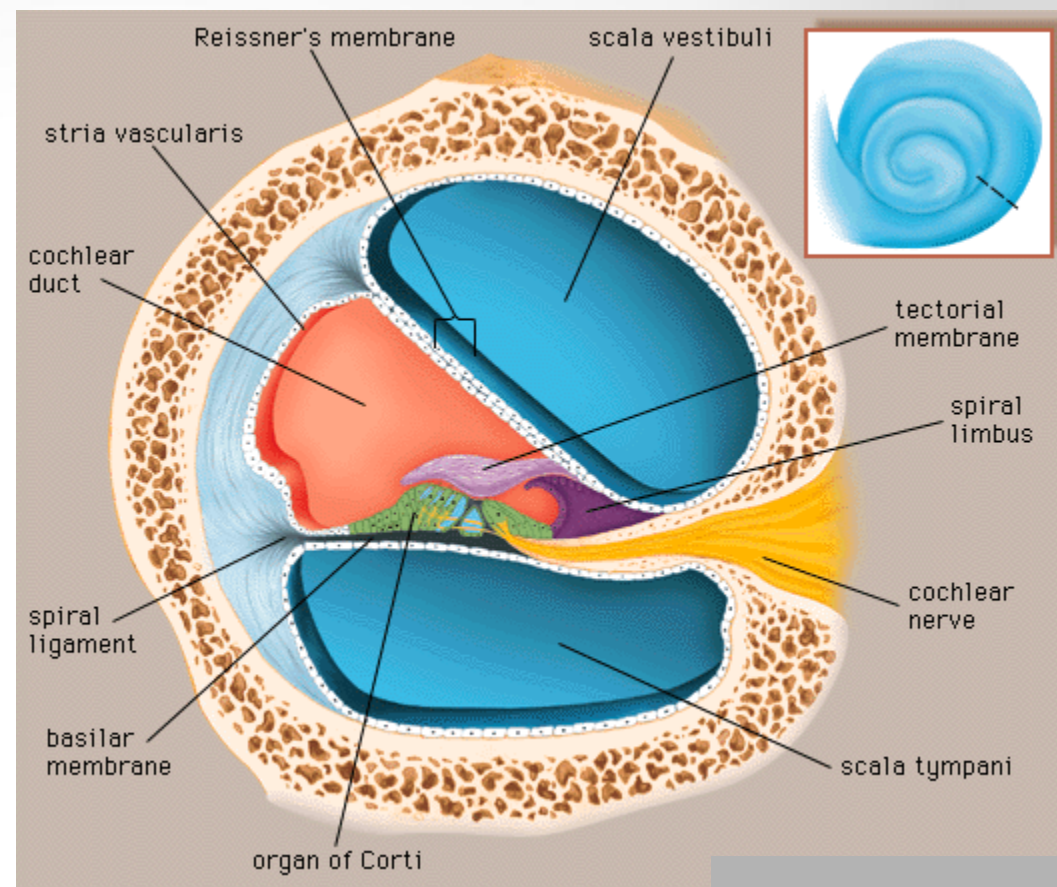
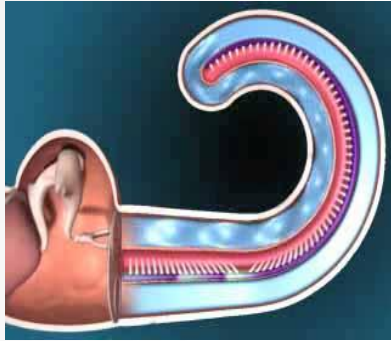


Kochlea

- rozdělena bazilární a Reissnerovou membránou na 3 oddíly: horní **scala vestibuli**, dolní **scala tympani** a střední **scala media**. Scala vestibuli a scala tympani jsou propojeny na vrcholu hlemýždě malým otvorem-**helicotrema**. Oba kompartmenty jsou též vyplněny tekutinou o stejném složení jako extracelulární tekutina – **perilymfou**. Scala media je vyplněna **endolymfou** a s ostatními kompartmenty nekomunikuje.



Kochlea



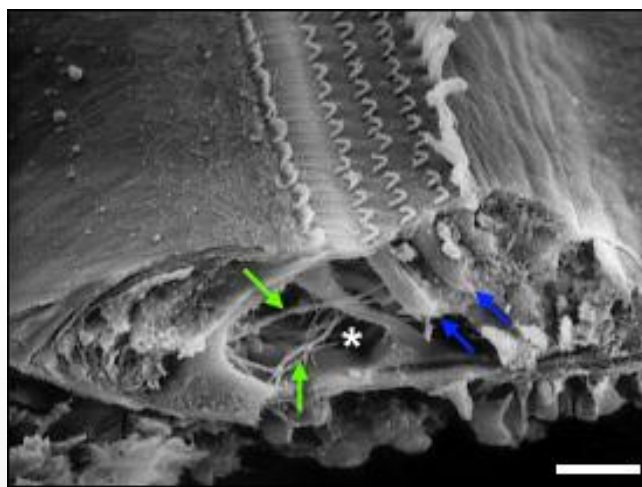
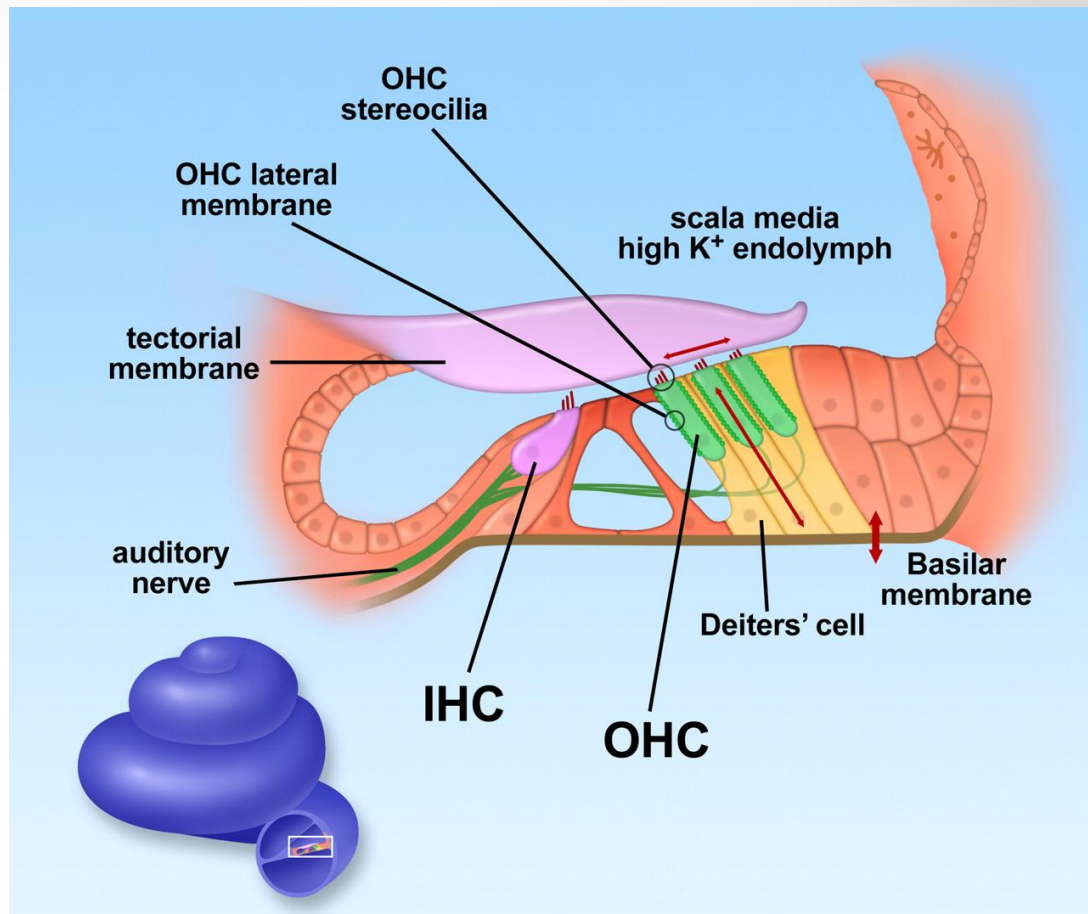
Perilymfa a endolymfa se liší v obsahu K^+ a Na^+ .

Endolymfa se obsahem K^+ blíží intersticiu- udržováno stria vascularis. Mezi endolymfou a perilymfou je klidový potenciálový rozdíl **+ 80 mV - endokochleární potenciál.**

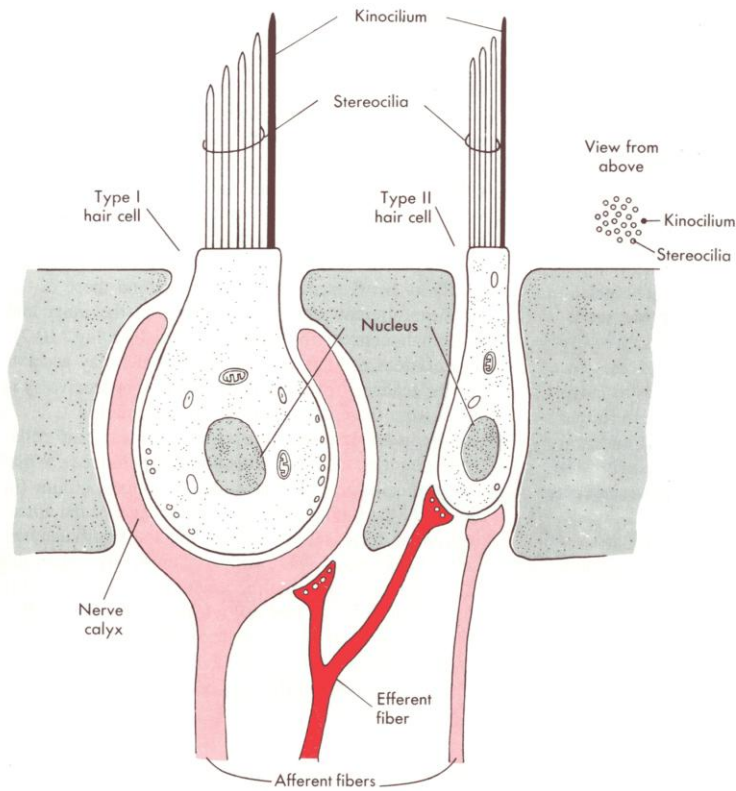
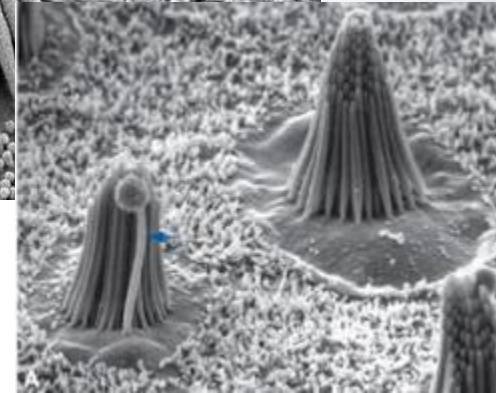
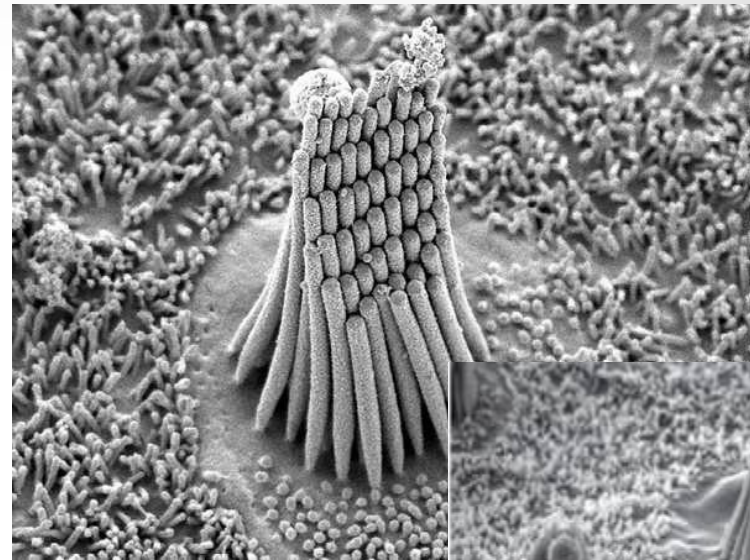
	sodium [mmol/l]	potassium [mmol/l]	chloride [mmol/l]
s. vestibuli perilymph	150	5	125
s. tympani perilymph	150	3	125
s. media endolymph	1	150	130

Cortiho orgán

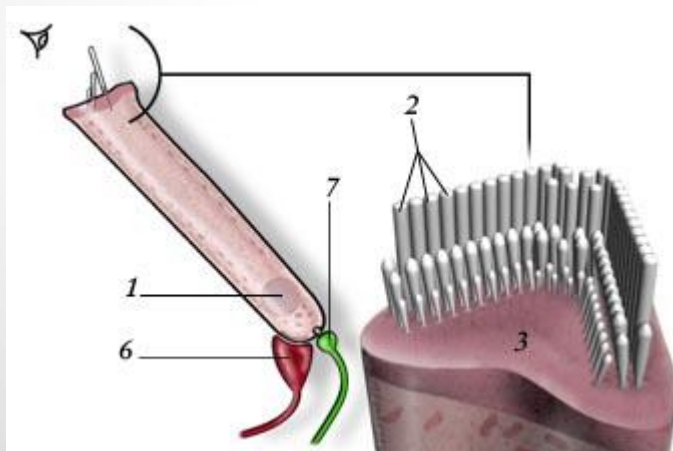
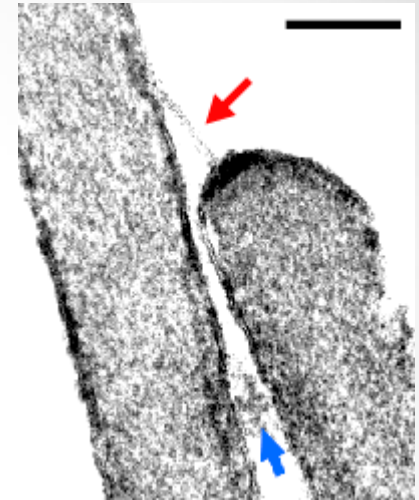
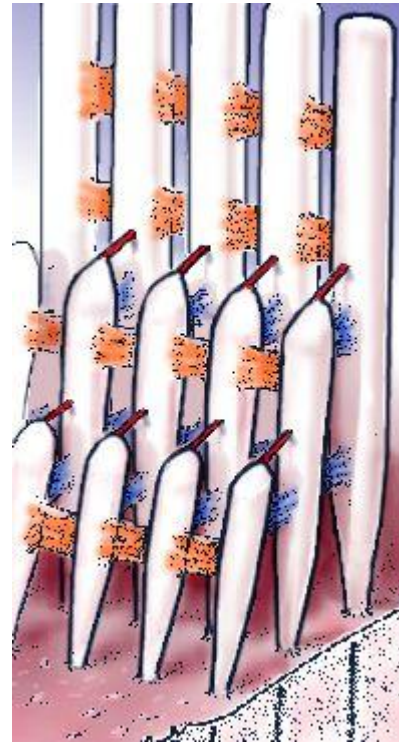
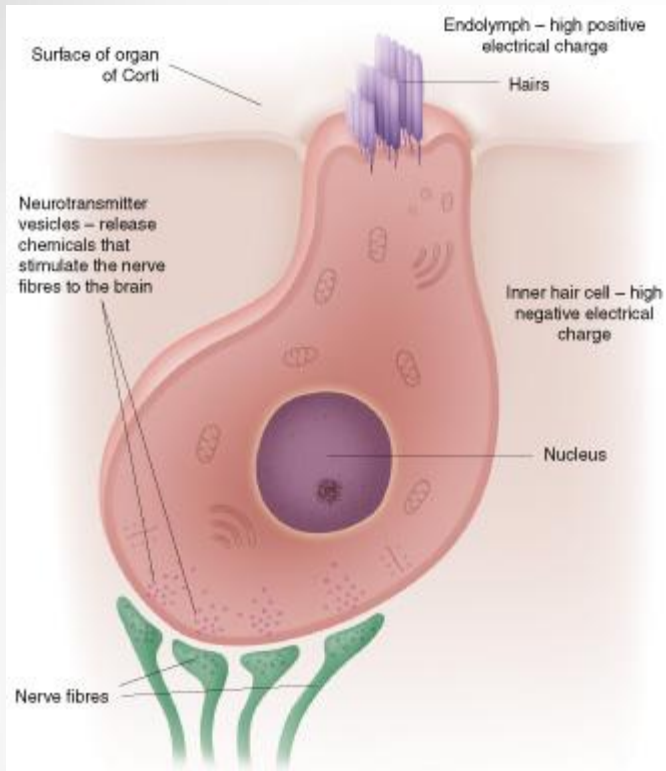
- na bazilární membráně
- vnější VB: 3 řady, 15000
- vnitřní VB: 1 řada, 3500
- membrana tectoria



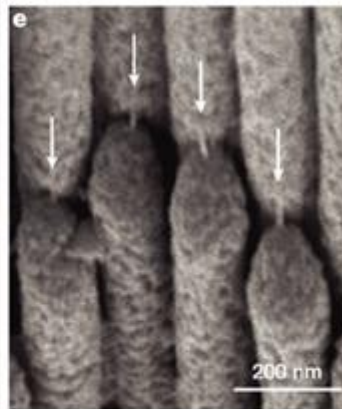
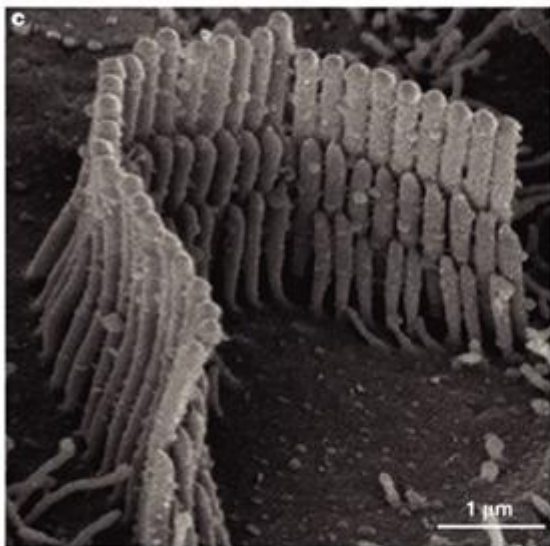
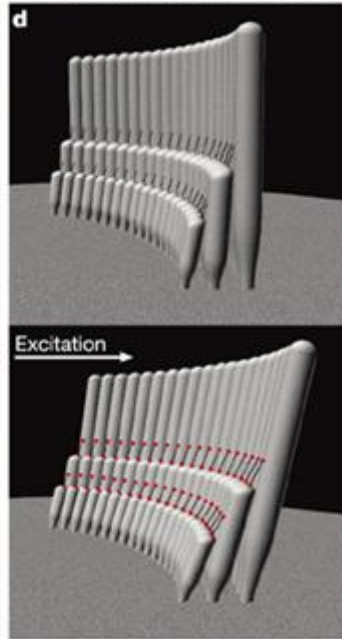
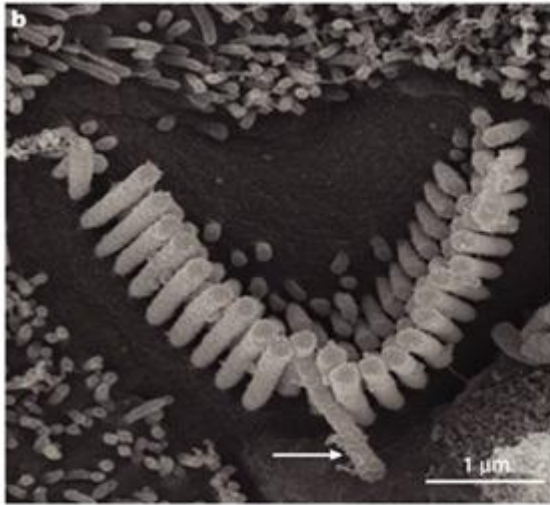
Vlásokové buňky



- stereocilia (50-200), kinocilium (největší, není v hlemýždi)
- baze omývaná perilymfou, apex endolymfou
- klidový potenciál -60mV , pohyb stereocilií vyvolává změnu potenciálu (závislá na směru ohybu)
- **Nejsou schopny regenerace**

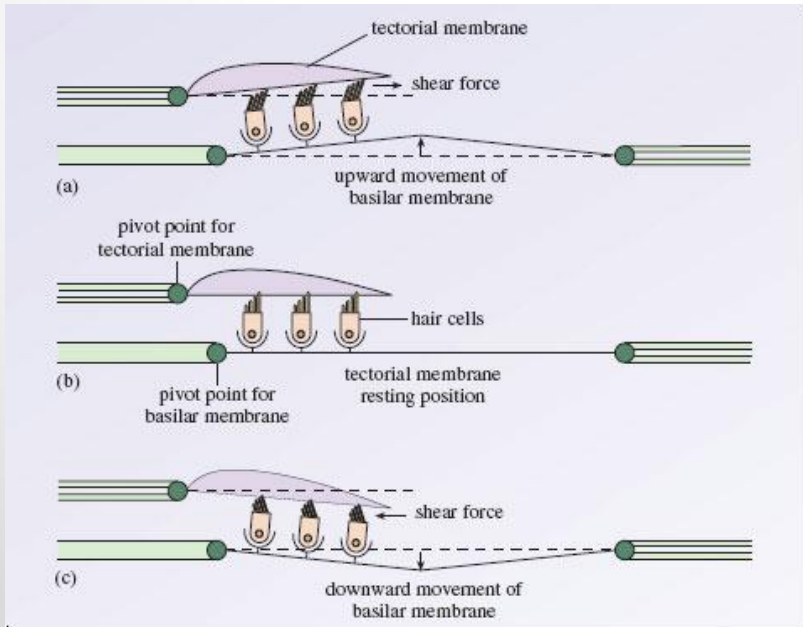
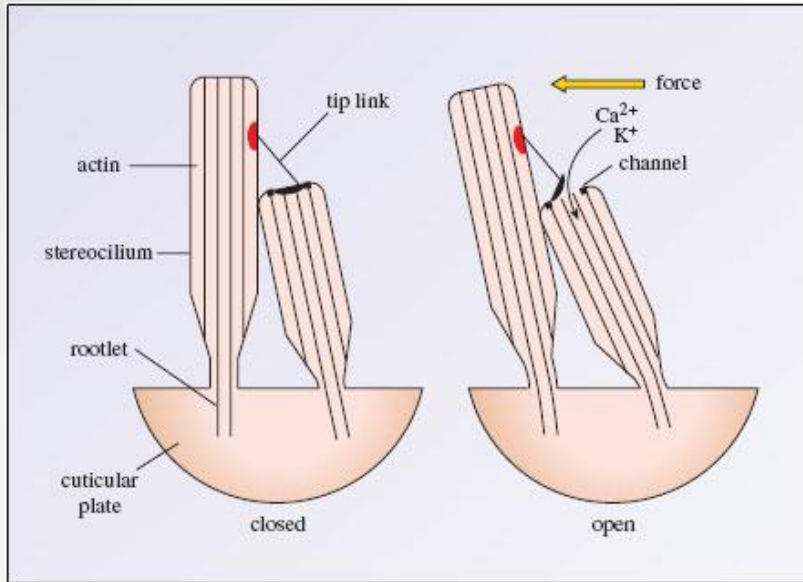


Stereocilia jsou obvykle uspořádané ve 3 řadách vzestupné výšky. Sousedící stereocilia jsou spojené tenkým vláknem zvaným **tip link**, které umožňuje otevření mechanosensitivních K^+ kanálů umístěných na vrcholu.

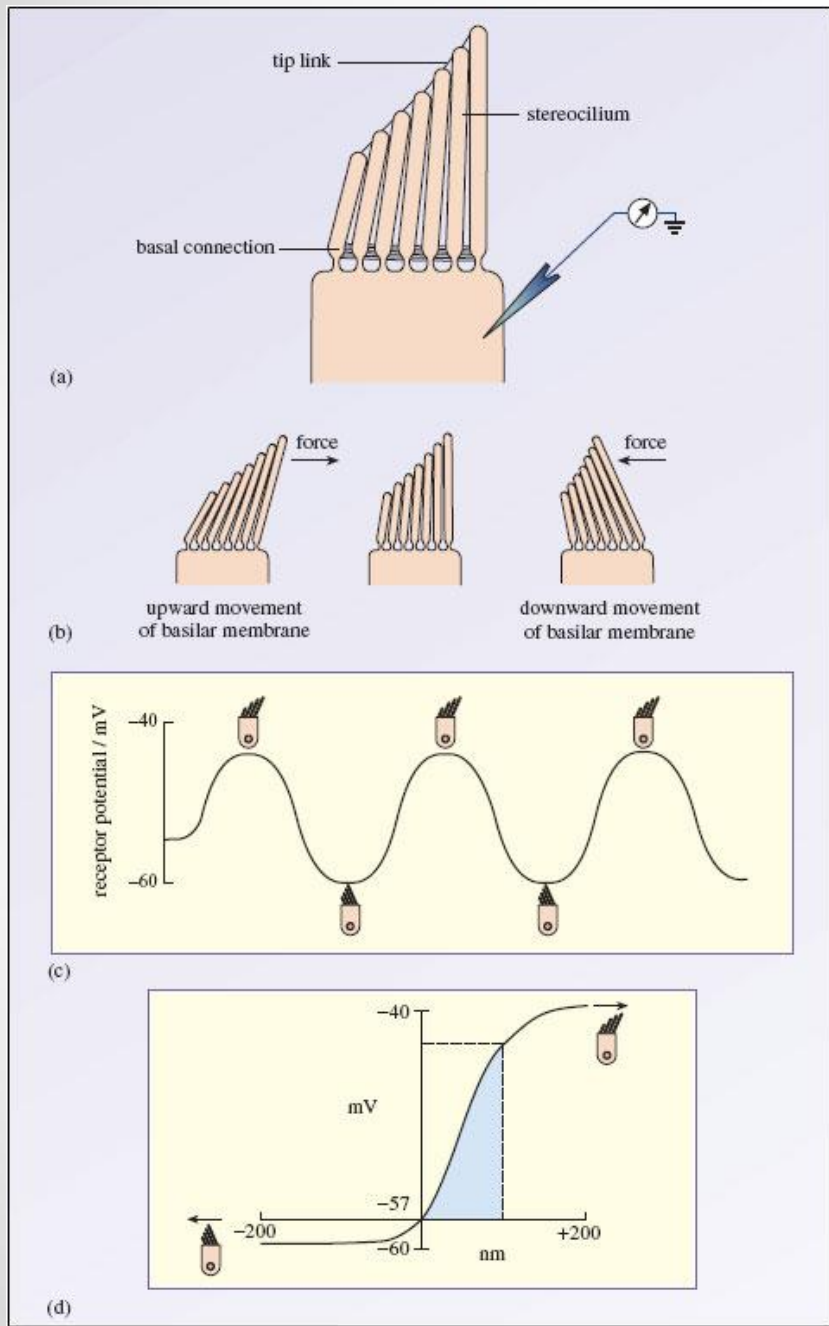


a | Scanning electron microscopy (SEM) image of three rows of outer hair cells that is viewed from the top of the organ of Corti and that shows unidirectional orientation of V/W-shaped hair bundles. **b** | Close-up view of one of these hair bundles that consists of three rows of individual stereocilia and a true cilium, the kinocilium (white arrow), which is always positioned at the vertex of the bundle. **c** | Side view of a outer hair cell bundle that shows the precise staircase organization of stereocilia rows. **d** | Sound-induced, nanometer-scale deflections of the hair bundle open mechanically gated ion channels (shown in red). These channels are thought to be located at the ends of tip-links. **e** | The tip-link (indicated by white arrows) is a tiny filament that connects neighbouring stereocilia.

Depolarizace vláskových buněk



Depolarizace vláskových buněk je **podmíněna mechanickým otevřením K⁺ kanálů**, jež jsou pravděpodobně umístěné na vrcholu stereocilia. Pokud dojde k ohnutí stereocilií ve směru vyššího okraje, otevřou se prostřednictvím vrcholových spojek „tip links“ rychle a synchronizovaně K⁺ kanály. Do otevřených kanálů vstupují draslíkové ionty a depolarizují membránu. **Hnací silou** není koncentrační spád, ale **elektrický gradient**, který činí asi 140mV (+80 v endolymfě a -60mV ve VB).

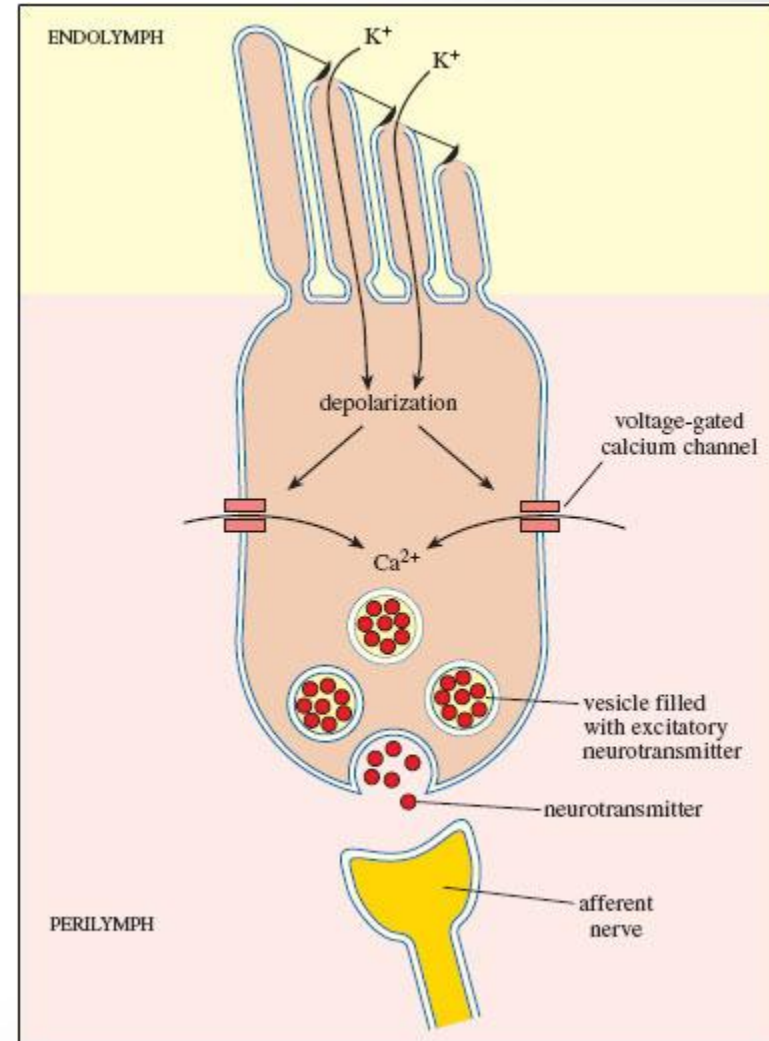


Je-li VB vychýlena mechanickým podnětem, její odpověď bude záviset na velikosti a směru podnětu: **vychýlení stereocilií ve směru vyššího okraje vlásků** dostatečně silným podnětem **vede k** vtoku draslíkových iontů a následné **depolarizaci** buňky. **Vychýlení vlásků ve směru nižšího okraje vede k** uzavření K^+ kanálů (v klidovém stavu asi 10% všech kanálů je otevřeno), což způsobí **hyperpolarizaci** buňky.

Tato směrová senzitivita VB, jejich uspořádání v Cortiho orgánu a hypotetická pohyblivost Cortiho orgánu po stimulaci zvukovým podnětem, znamená, že **pohyb bazilární membrány nahoru vede k depolarizaci buněk, zatímco pohyb dolů způsobí jejich hyperpolarizaci**. Výsledná velikost potenciálu VB je závislá na intenzitě podnětu – se vzrůstající amplitudou podnětu vzrůstá i velikost potenciálu VB.

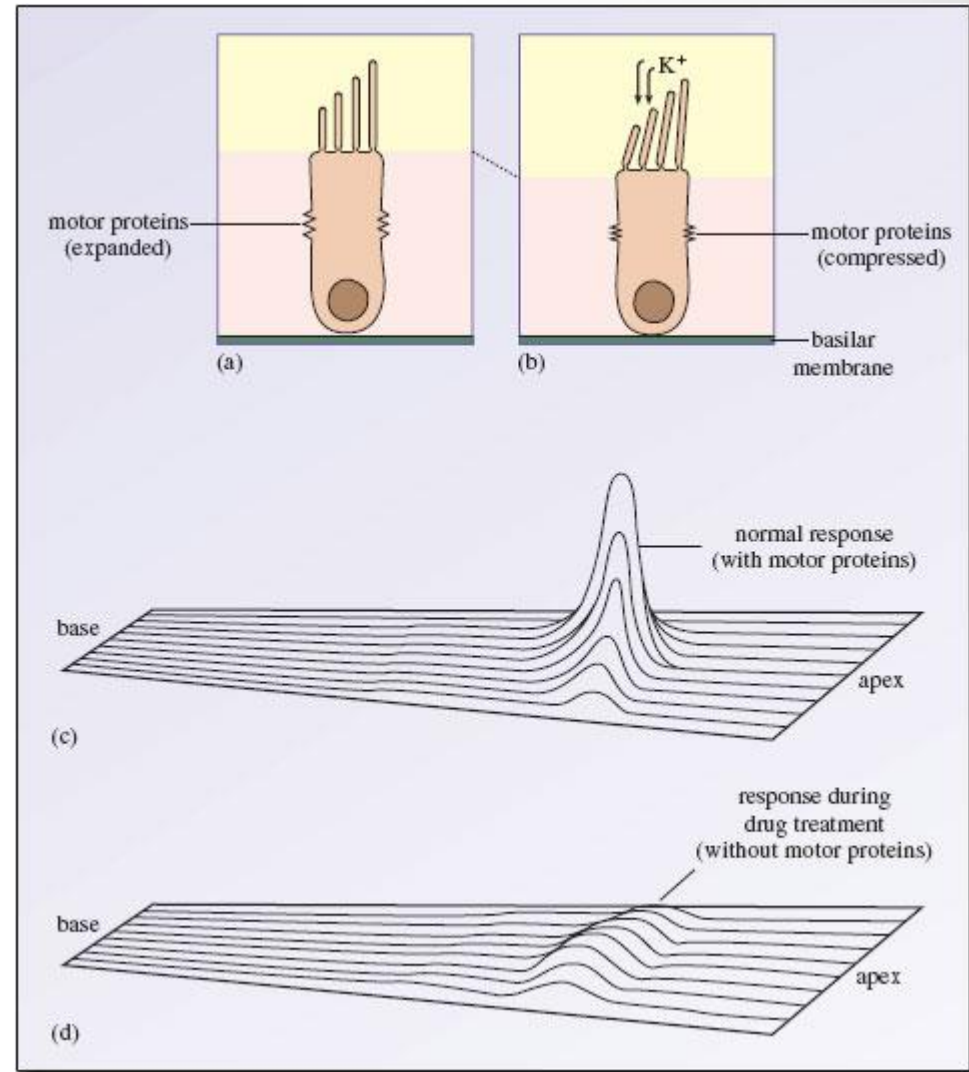
Synaptický přenos u vláskových buněk

- VB jsou senzory, které vstupují do kontaktu s vlákny aferentních neuronů, které zajišťují další přenos informace o podnětu do místa analýzy. Je-li VB depolarizovaná, dojde k otevření napětově řízených Ca^{2+} kanálů, vstupu Ca^{2+} iontů a následnému uvolnění neurotransmiteru do synaptické štěrbiny. To způsobí depolarizaci membrány vláken aferentních neuronů a vznik AP. Vápník má i další funkci: otevírá vápníkem řízené K^+ kanály, což umožňuje odtok iontů K^+ z buňky do perilymfy a repolarizaci VB.



Zevní vláskové buňky - funkce

- Pravděpodobně zesilují **chvění bazilární membrány** (fungují jako „kochleární zesilovač“). Membrána zevních VB obsahuje kontraktilní proteiny (actin, myosin a **prestín**), které mění délku VB po stimulaci podnětem. Mechanická odpověď je závislá na napětí: **depolarizující podněty vyvolávají kontrakci** a **hyperpolarizující podněty vyvolávají prodloužení VB**. Konformační změny kontraktilních proteinů membrány VB ve výsledku zvyšují vibrace bazilární membrány, což vede k většímu vychýlení stereocilií vnitřních VB a zesílení odpovědi na původní podnět.



Kódování frekvencí zvuku

Teorie místa:

A) Teorie postupující vlny – von Bekésy – různé vibrace BM v závislosti na frekvenci a intenzitě zvukového podnětu

B) Rezonanční teorie - Navrhl ji **Hermann von Helmholtz**. Helmholtz předpokládal, že jednotlivé úseky bazilární membrány jsou „naladěny“ na zvuky rozdílných frekvencí. Rezonanční funkci plní vlákna bazilární membrány. Tudíž místa na bazilární membráně, která nejvíce vibrují, určují, která nervová vlákna budou aktivována nejvíce. Tím se určuje výška tónu, který vnímáme.

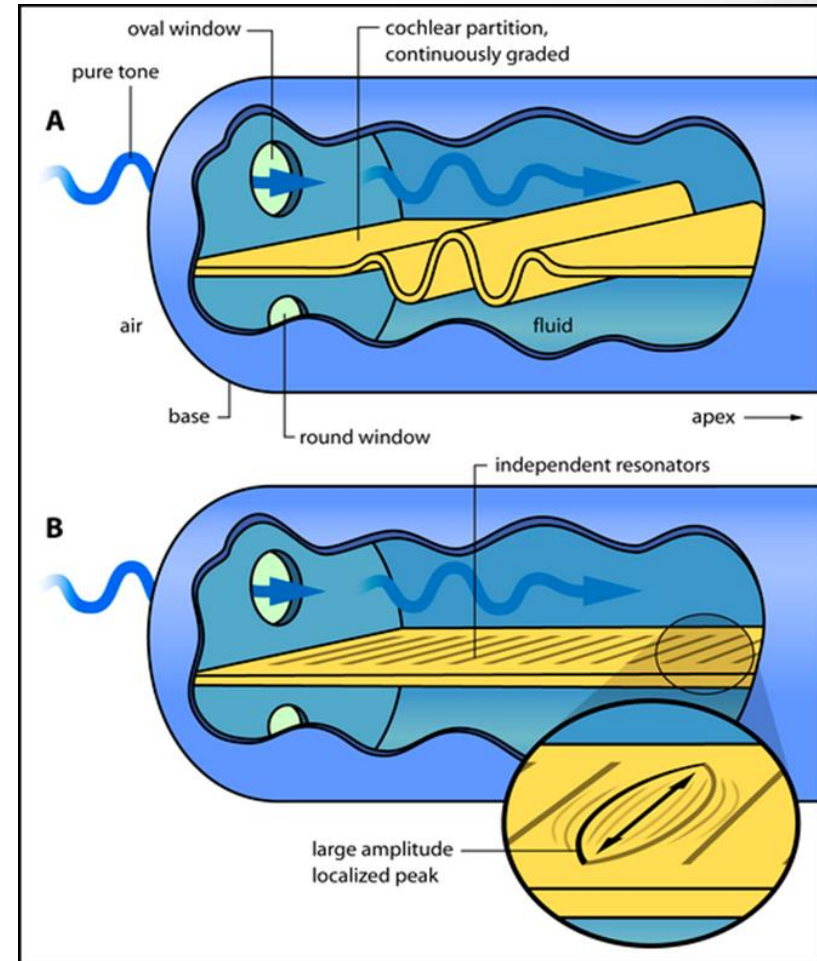
Časová (frekvenční) teorie:

Navržena **Lordem Rutherfordem** v 19. století. Předpokládá, že informace o výšce tónu jsou zprostředkovány četností reakce vláskových buněk. Například tón o frekvenci 600 Hz vyvolá vibrace bazilární membrány o stejné frekvenci → vláskové buňky odešlou do mozku 600 impulzů. Mozek pak vyhodnotí dle počtu impulzů výšku slyšeného tónu.

Ve 20. století byla tato teorie značně zpochybněna, neboť se ukázalo, že nervové buňky jsou omezeny ve svém reagování, nemůžou totiž přenést více než 1000 impulzů za sekundu. Z tohoto pohledu by tak nebylo možné vnímat tóny o frekvenci vyšší než 1000Hz,

Teorii zachránil **E. Wever**, když poukázal na možnost, že informace o frekvenci je posílána několika nervovými drahami najednou.

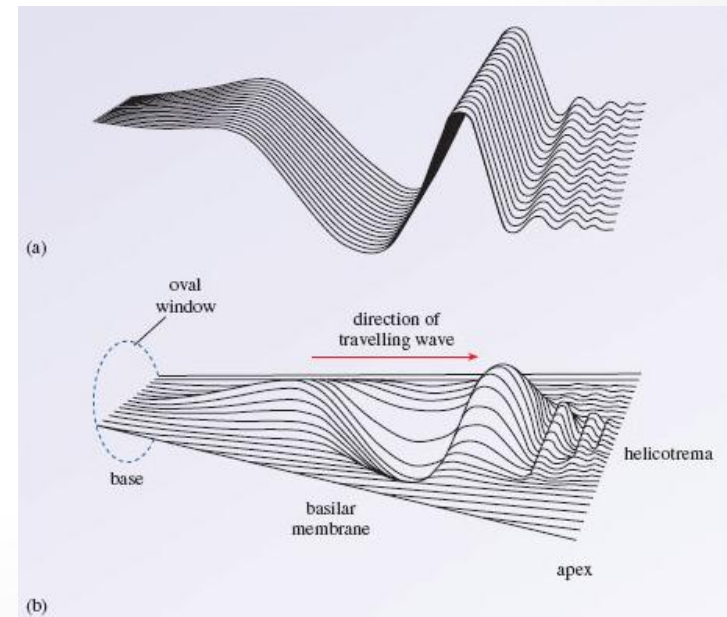
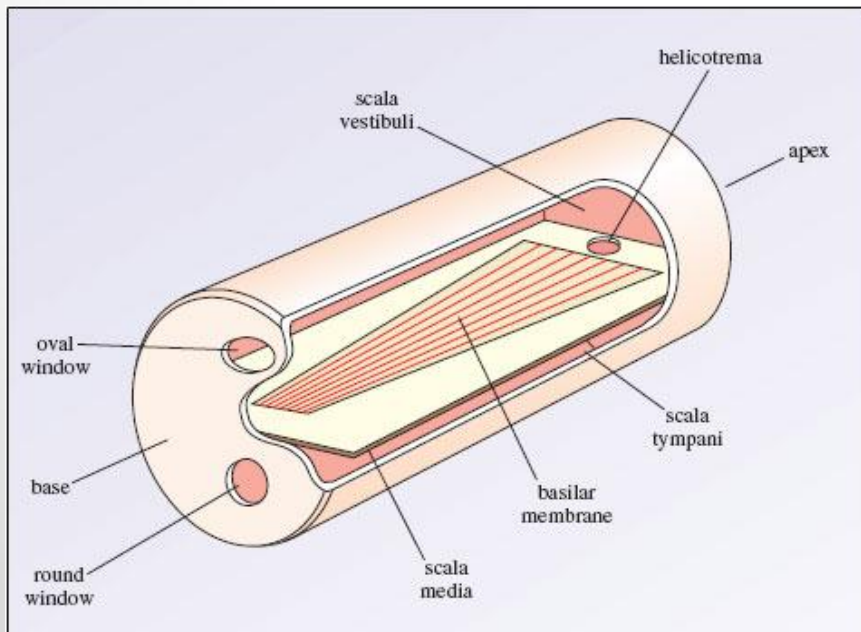
Smíšené teorie předpokládají, že se oba principy (místní rozvrstvení, poznání frekvence při sluchových vjemech) kombinují.



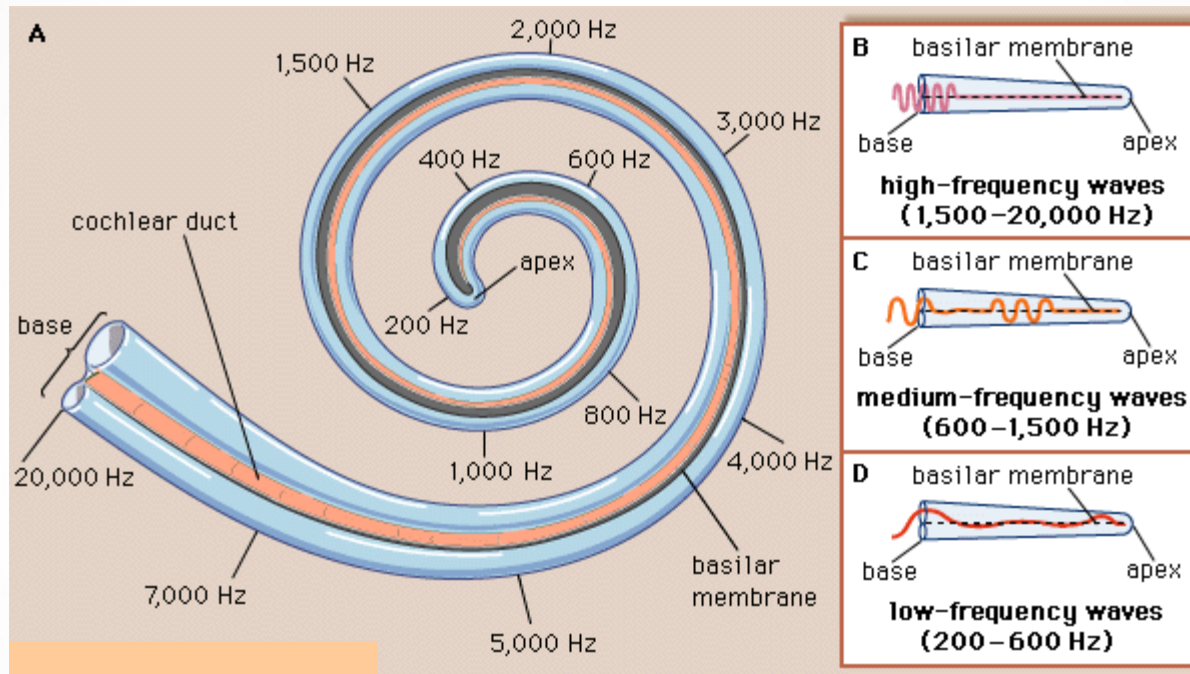
Teorie postupující vlny

-von Bekesy (1961)

- Pohyb středoušních kůstek vede k rozkmitání tekutiny ve scala vestibuli a vibraci bazilární membrány.
- Díky variabilní šířce a tuhosti bazilární membrány (na bazi je asi 5x užší a 100x tužší než v oblasti apexu), jednotlivé oddíly BM nevibrují ve vzájemném souladu (v daném okamžiku se některé oddíly pohybují směrem dolů a jiné směrem vzhůru). Vzorec pohybu membrány je označován termínem postupující vlna.

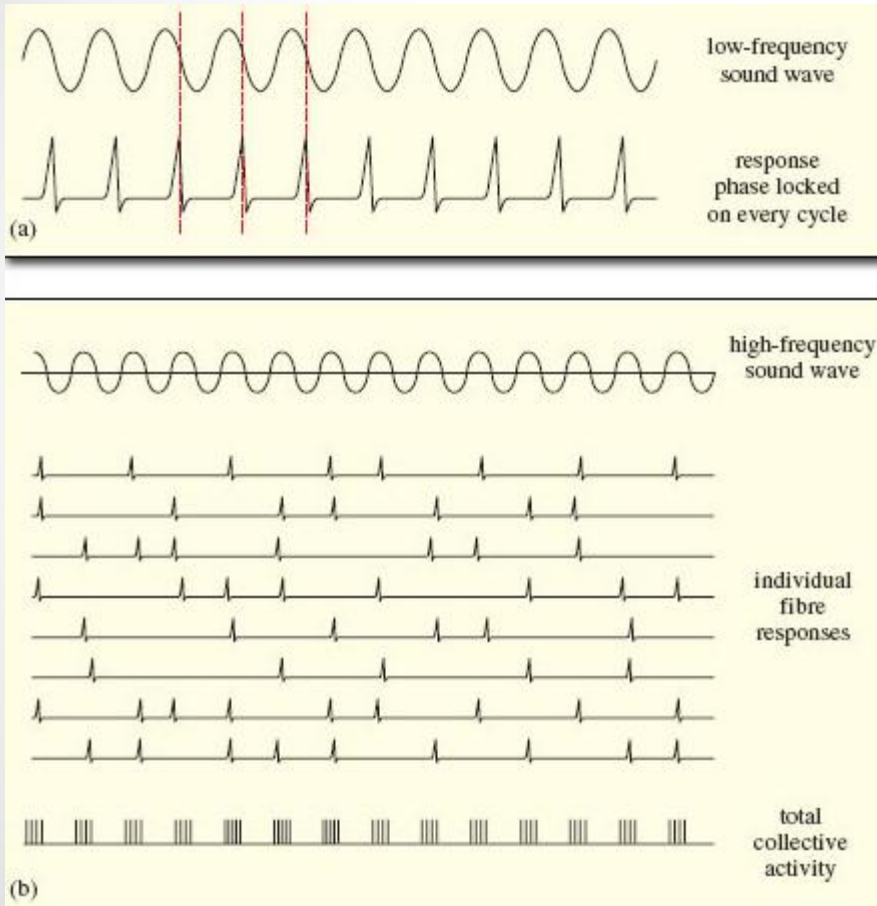


Tonotopická organizace kochley



- Zvuky o vysoké frekvenci způsobují deformaci BM v oblasti baze kochley, zatímco zvuky o nízké frekvenci rozkmitají BM po celé její délce, ale maximum její deformace leží směrem k apexu – čím nižší frekvence tím blíže k apexu.

Kódování frekvencí zvuku



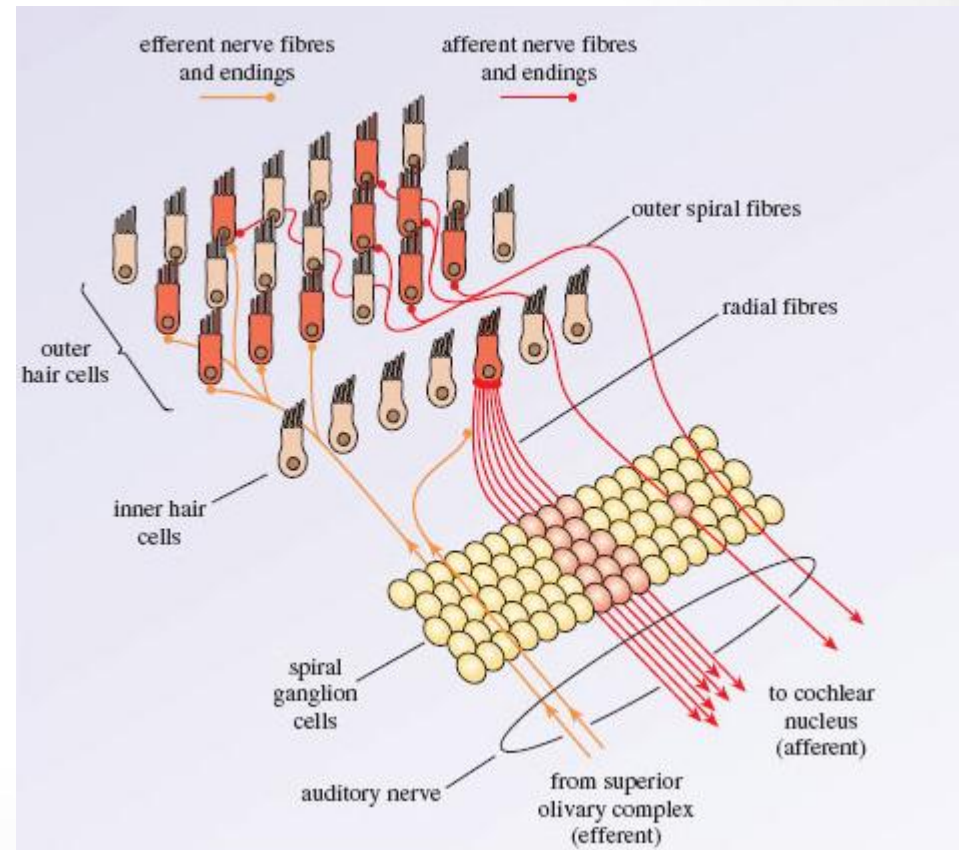
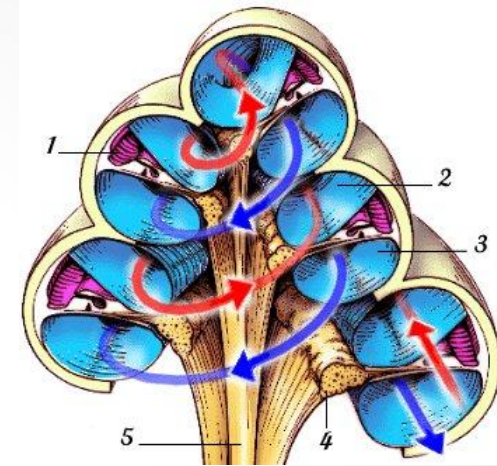
pod 50 Hz pouze časový kód

nad 5 kHz pouze místní kód

střední frekvence - oboje

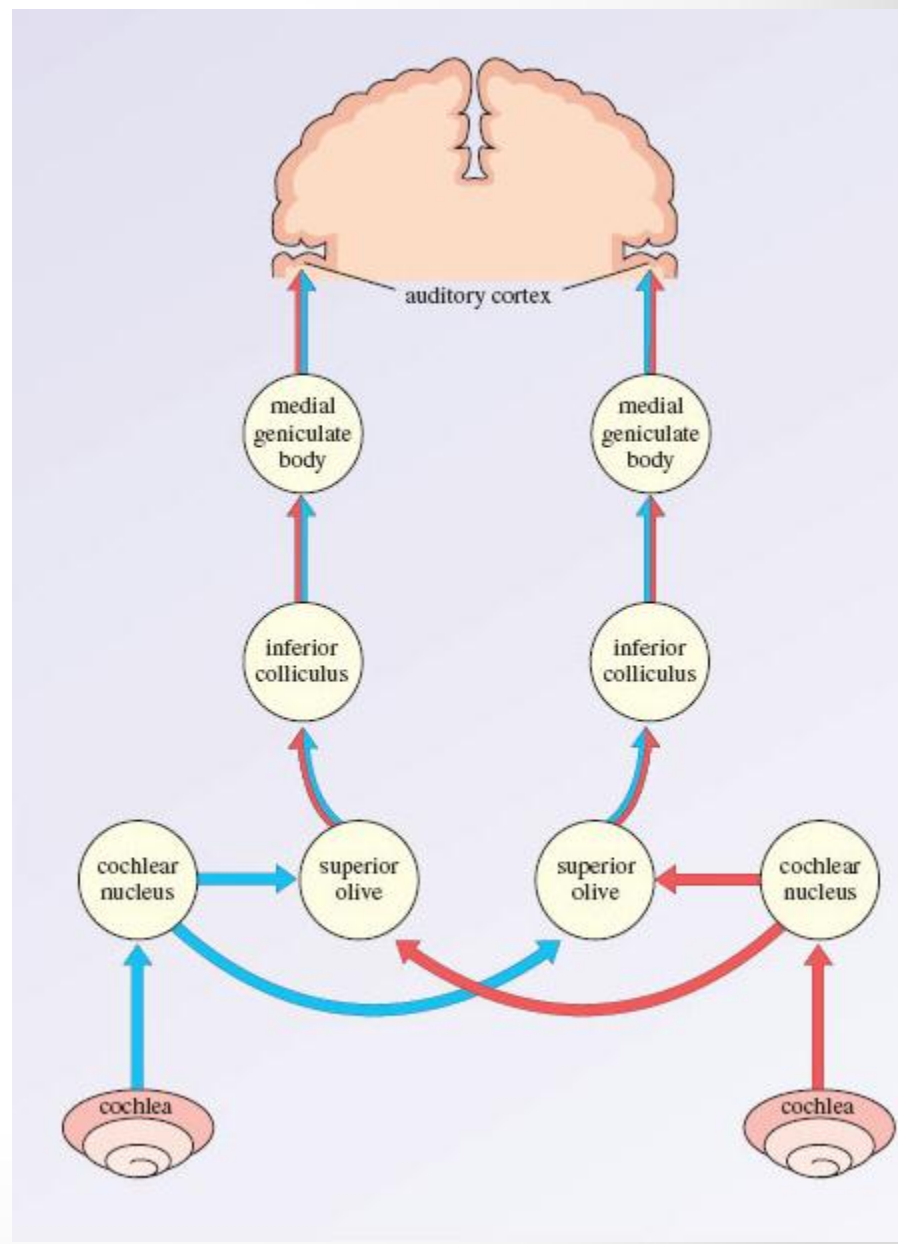
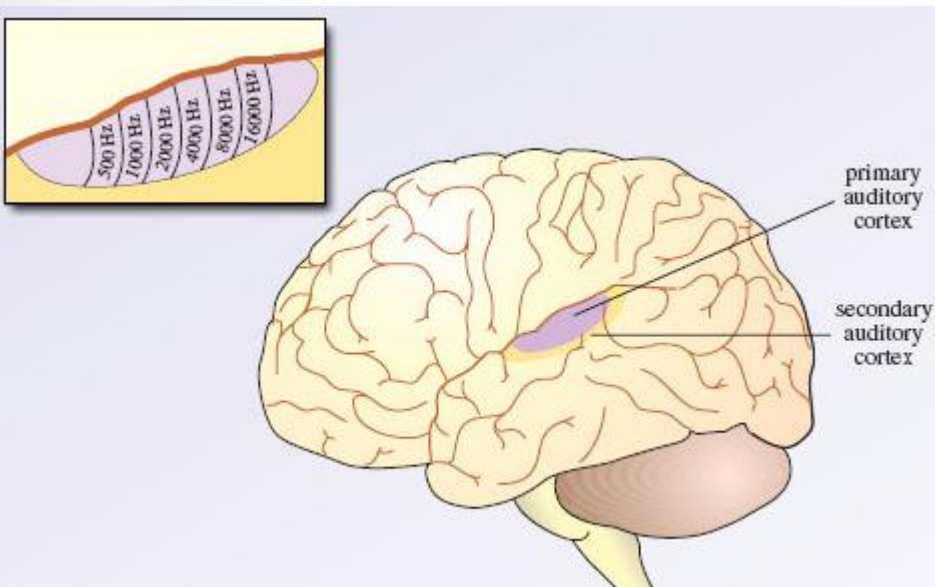
Periferní sluchová dráha

Inervace kochleárních VB je zajištěna kochleární porcí n. VIII (**n. vestibulocochlearis**). Primárními aferentními neurony jsou buňky ganglion spirale (v modiolu hlemýždě). Ty jsou v kontaktu především s vnitřními VB – až 95 % všech aferentních vláken je napojeno na vnitřní VB (na 1 VB asi 8 vláken). Sluchový nerv po opuštění modiolu vstupuje do mozkového kmene a napojuje se na dorzální a ventrální kochleární jádro.

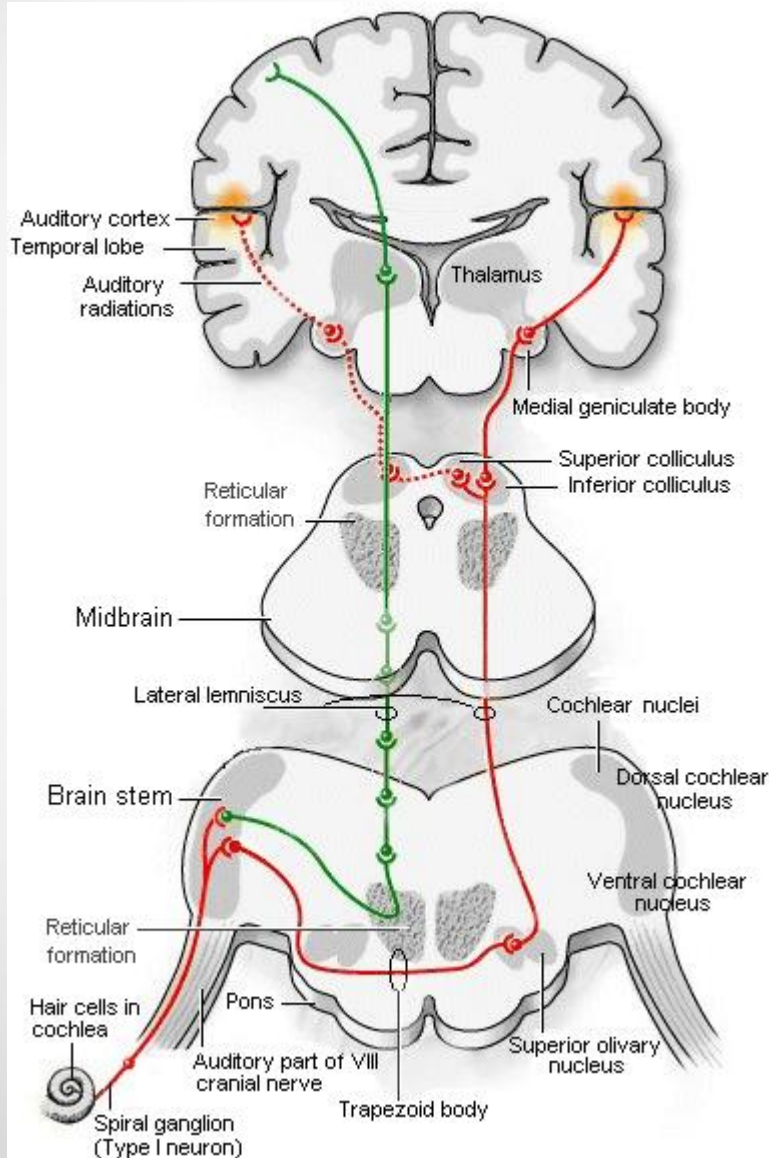


Ascendentní sluchová dráha

Axony neuronů **kochleárních jader** po překřížení na kontralaterální stranu pokračují do komplexu **oliva superior**. Ta představuje první místo v CNS kam přichází informace nervovými vlákny z obou uší. Odsud směřují aferentní vlákna ve svazku nazývaném **lemniscus lateralis** do středního mozku (jader **colliculus inferior**) a po přepojení do **corpus geniculatum mediale**. Konečným cílem vzestupné sluchové dráhy je **primární a sekundární sluchová kůra**. (Heschlův závit temporálního laloku)

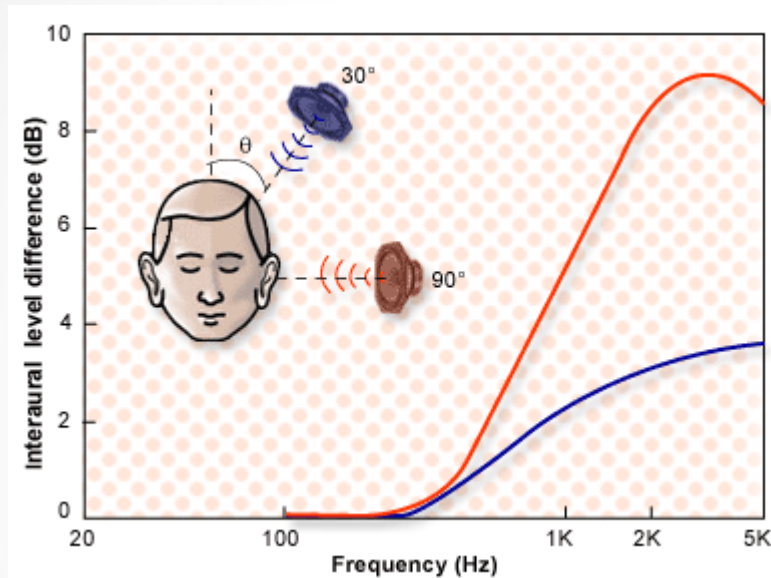


Zpracování zvuku v CNS

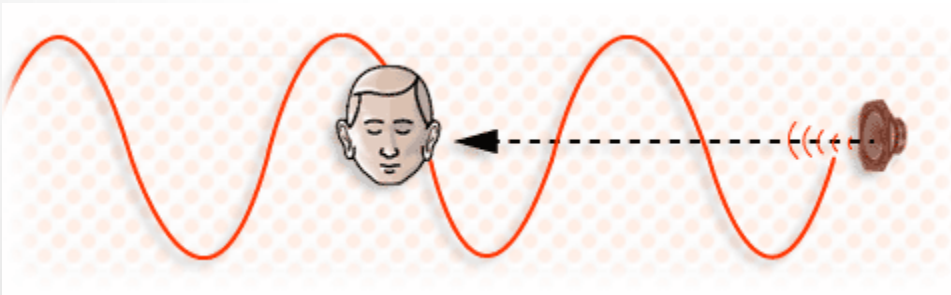


- Každé kochleární jádro dostává vstupy pouze z jednoho ucha. V **kochleárních jádrech** se vyskytují různé typy neuronů, jejichž úkolem je **spektrální analýza přicházejícího zvuku**.
- Neurony **komplexu olivy superior (SOC)** jsou prvními neurony sluchové dráhy, které dostávají informace z obou uší. Předpokládá se, že hrají klíčovou roli v lokalizaci zvuku (prostřednictvím detekce časového zpoždění a hlasitosti zvuku).
- Neurony **colliculus inferior (IC)** jsou organizovány ve vrstvách a jednotlivá jádra jsou komplexně propojena. V jádrech IC dochází k **integraci dostupných informací** o zvukovém podnětu před přepojením do thalamu a sluchové kůry.

Lokalizace zdroje zvuku

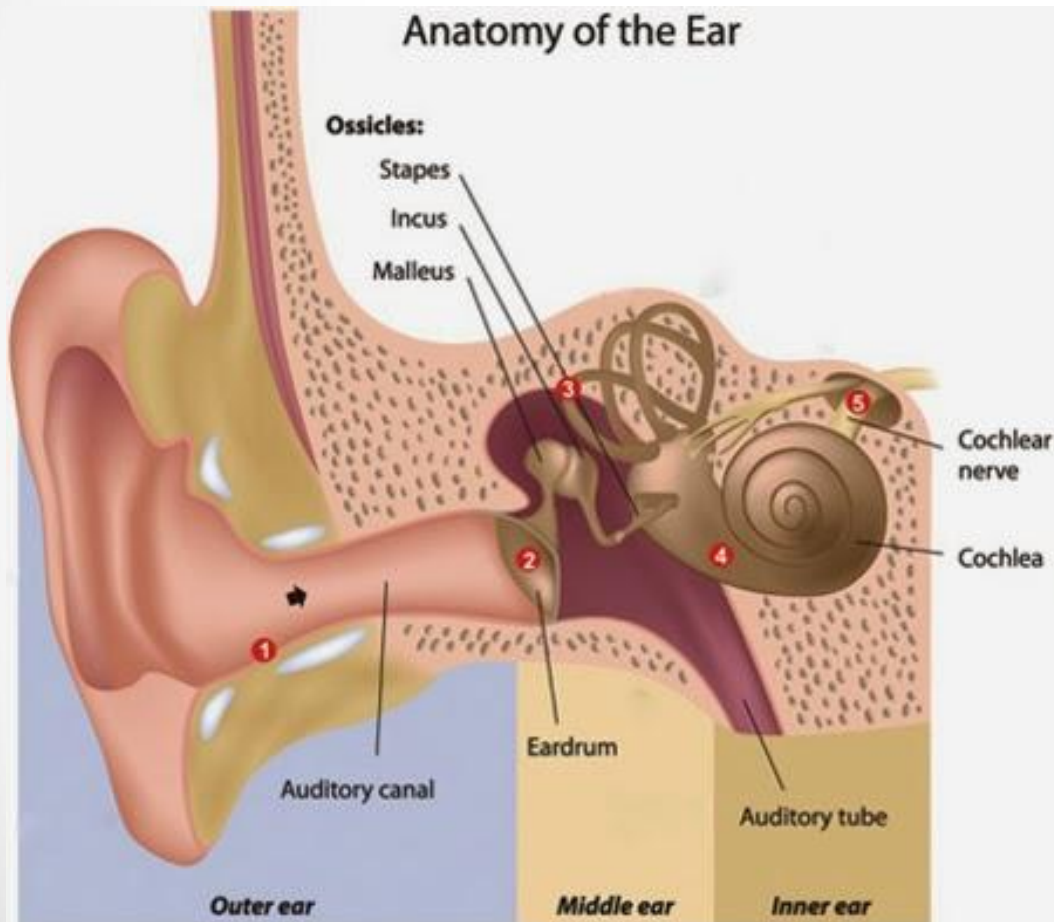


Lokalizace zdroje zvuku ve volném prostoru je založena na analýze interaurálního časového rozdílu a rozdílu hlasitosti. Při f zvuku pod 800 Hz hraje větší roli analýza interaurálního časového rozdílu, nad 1600 Hz pak analýza interaurálního rozdílu hlasitosti.



Maximální časový rozdíl je 760 mikrosekund. Lidské ucho je ale schopné lokalizovat zdroj zvuku umístěný frontálně s přesností na 1-2 stupně. To odpovídá rozlišení časového rozdílu okolo 10 mikrosekund.

Proces slyšení



- 1 Sound waves enter your outer ear and travel through the ear canal to your eardrum.
- 2 Your eardrum vibrates with the incoming sound and sends the vibrations to three tiny bones in your middle ear.
- 3 The bones in your middle ear amplify the sound vibrations and send them to your inner ear or cochlea.
- 4 The sound vibrations activate tiny hair cells in the inner ear, which in turn release neurochemical messengers.
- 5 Your auditory nerve carries this electrical signal to the brain, which translates it into a sound you can understand.

Poruchy sluchu

Vrozené: geneticky podmíněné
(mutace pro connexin 26)

Získané: perinatálně
postnatálně

Převodní x percepční

Porucha převodu

- Porucha ventilace středouší
- Středoušní záněty
- Traumata bubínku, kůstek
- Uzávěr zvukovodu (cerumen)
- Vrozené vady

Senzorineurální poruchy

- Akustické trauma (akutní – chronické), mechanické poranění
- Ototoxické látky (ATB, chinin)
- Cévní příčiny (atheroscl., spasmus, krvácení)
- Jiné noxy (virózy, meningitis)

LÉKY S OTOTOXICKÝMI ÚČINKY

antibiotika

neomycin
gentamicin
tobramycin
sisomicin
kanamycin
amikacin
dibekacin
streptomycin
vankomycin
viomycin
capreomycin

vnější
vláskové buňky

diuretika

etakrynová kyselina
furosemid
bumetanid
piretanid
acetazolamid

stria vascularis

místo primárního účinku

cytostatika

cisplatina
karboplatina

vnější
vláskové buňky

jiné látky

kys. acetylsalicylová
chinin

vláskové buňky
sluchový nerv

Presbycusis

- „stařecká“ nedoslýchavost

- **Nerozhoduje věk,**

ale souhrn negativních vlivů jak zevních (hluk, toxické látky, kouření)

tak vnitřních (choroby ledvin, jater, cukrovka, vysoký TK)

Presbycusis

- - **senzorická presbyakuze:**

- vzniká v důsledku atrofie epitelu Cortiho orgánu se ztrátou smyslových vláskových buněk a podpůrných buněk
- - proces začíná na bázi hlemýždě a pomalu postupuje směrem k apexu
- - tyto změny odpovídají náhlému vzestupu sluchového prahu na frekvencích vyšších nežli jsou frekvence řeči, proto je porozumění řeči zprvu zachováno

- - **metabolická (striální) presbyakuze:**

- - je důsledkem atrofie stria vascularis
- - za normálních okolností stria vascularis zajišťuje chemickou a bioelektrickou rovnováhu vnitřního ucha
- - její atrofie má za následek sluchovou ztrátu charakterizovanou plochou audiometrickou křivkou se zvýšením sluchových prahů na všech frekvencích, protože je postižen celý hlemýžď.
- - k takovýmto změnám dochází u lidí 30-60 letých, progredují pomalu a jejich výskyt bývá familiární. Rozlišení řeči je zachováno

Presbycusis

- - **mechanická (převodní) presbyakuze:**
- je způsobená ztluštěním a druhotným ztuhnutím basilární membrány hlemýždě.
- Ztluštění větší měrou postihuje bazální závit, kde je membrána úzká. To odpovídá postupně se zvyšujícímu sluchovému prahu s rostoucí frekvencí.
- Postižení progreduje pomalu. Práh porozumění řeči odpovídá audiometrickému prahu na řečových frekvencích.

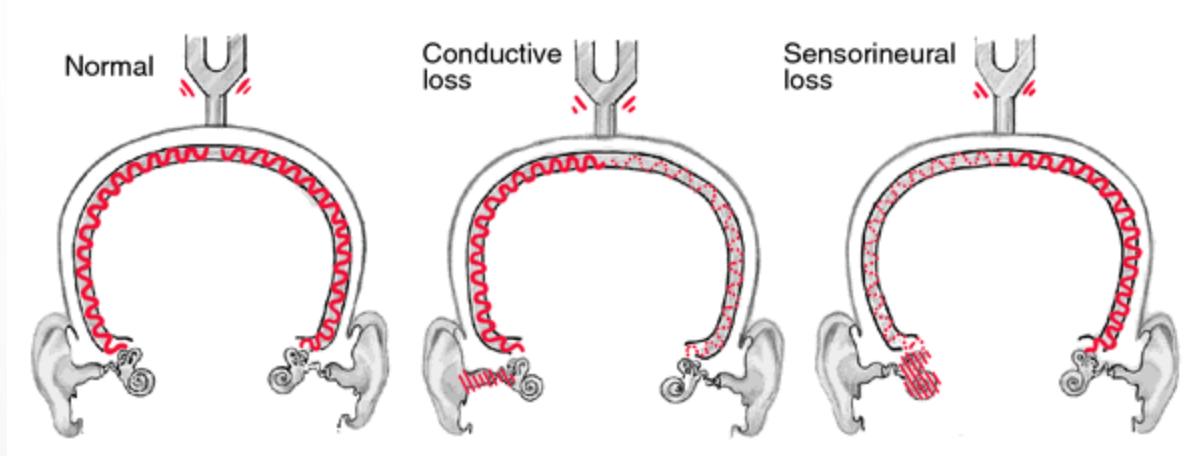
- - **neurální presbyakuze:**
- je následkem atrofie nervových buněk v ganglion spirale cochleae a jádrech v průběhu sluchové dráhy. Podle odhadů dochází každých 10 let ke ztrátě asi 2100 neuronů (z celkového počtu 35000).

- Tato ztráta začíná již v dětství a závisí snad též na genetických faktorech. Až do vyššího věku probíhá latentně, protože k posunu audiometrického prahu pro čisté tóny dochází až při úbytku 90% neuronů. K atrofii dochází po celé délce hlemýždě, bazální části jsou jen lehce postiženější nežli zbytek Cortiho orgánu. Proto na audiogramu nepozorujeme se stoupající frekvencí tónů prudký vzestup prahů.

- Výrazným klinickým projevem neurální presbyakuze je zhoršení v porozumění řeči

Vyšetřování sluchu

- **subjektivní metody**
- *slovní audiometrie*
- *tónová audiometrie*
- *zkouška ladičkami – Weber, Rinne, Schwabach*



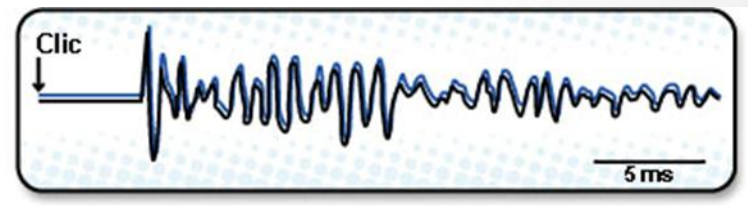
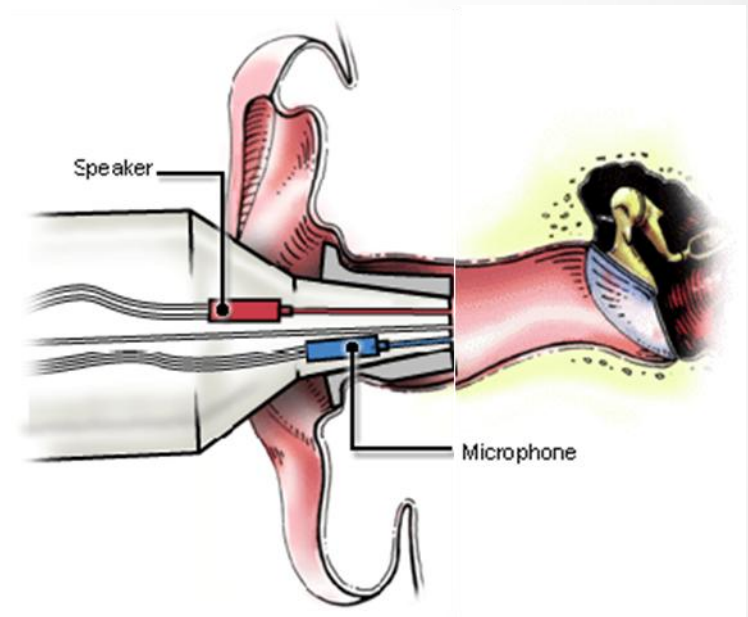
- Weber test. Conductive loss—sound lateralizes to “poorer” ear owing to background room noise, which masks hearing in normal ear. “Poorer” ear (the one with conductive loss) is not distracted by background noise, thus has a better chance to hear bone-conducted sound., Sensorineural loss—sound lateralizes to “better” ear or unaffected ear. Poorer ear (the one with nerve loss) is unable to perceive the sound.

Vyšetřování sluchu

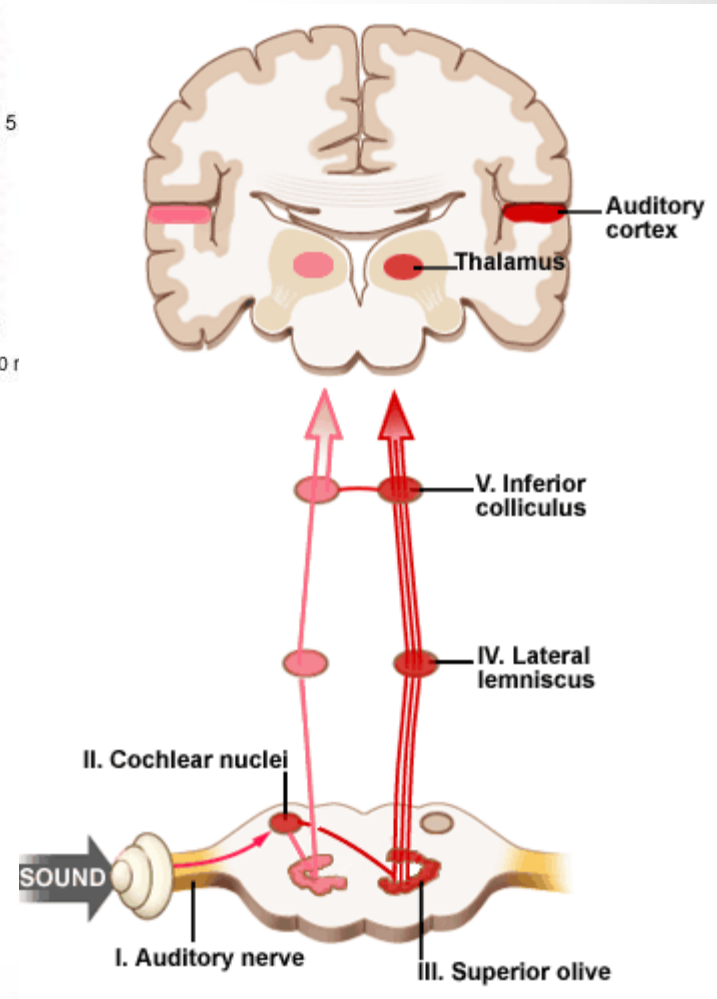
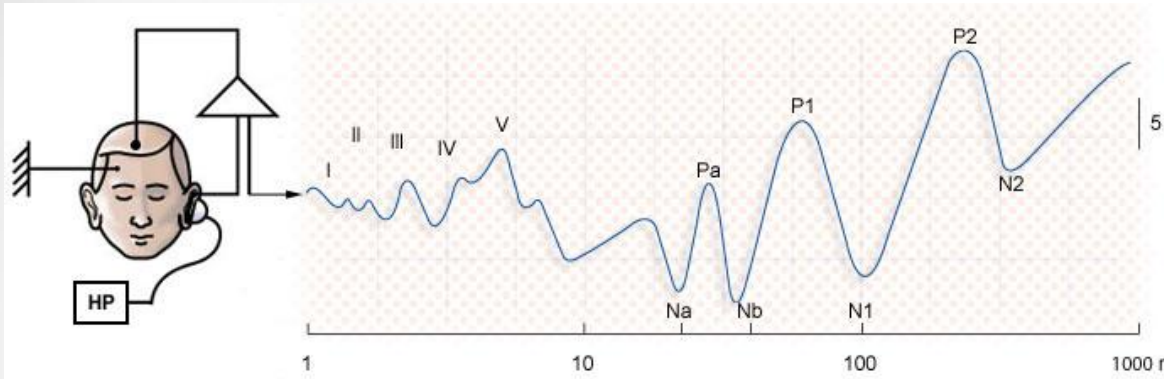
- **Objektivní metody**
 - *tympanometrie*
 - *otoakustické emise*
 - *evokované potenciály (BAEP)*

Otoakustické emise

- **Akustická energie registrovatelná mikrofonem v zevním zvukovodu**
- Vzniká důsledkem aktivního pohybu vnějších VB
- **Spontánní** (asi 40% lidí) x **evokované** (SFOAE, DPOAE, TEOAE)
- **TEOAE** (transiently evoked otoacoustic emissions) -- reakce na stimulaci krátkým podnětem v zevním zvukovodu
- - nevýbavné u sensorineurální nedoslýchavosti se ztrátou sluchu alespoň 30dB
- **Screening sluchové vady novorozenců:**
- Emisní odpověď je nevybavitelná v těchto případech
- Kochleární postižení – kongenitální, hypoxie, ototoxická antibiotická terapie etc.
- Nefyziologický nálezn ve středouší – amniová tekutina, zánětlivý výpotek, hemotympanon
- Blokáda zevního zvukovodu – cerumen, vernix caseosa, detritus epitelí zvukovodu, kolaps zvukovodu u některých novorozenců etc.
- Kombinovaná nedoslýchavost



Sluchové evokované potenciály

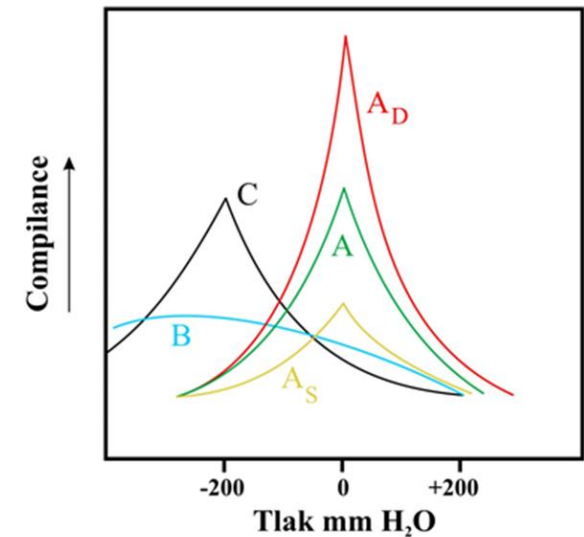
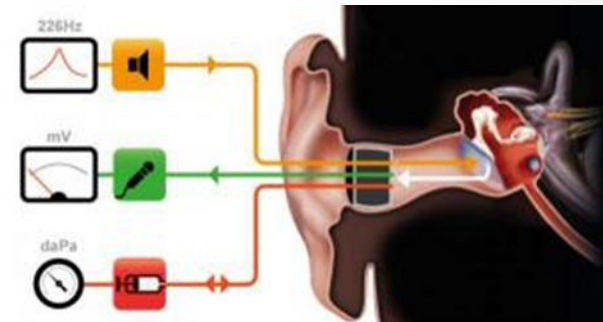


- Diagram illustrating the auditory pathway and the anatomical locations related to the the different waves of the AEP
- - auditory nerve = wave I
 - cochlear nuclei = wave II
 - superior olive = wave III
 - lateral lemniscus = wave IV
 - inferior colliculus = wave V

Waves I to V make up the brainstem potentials (BAEPs). The thalamus (medial geniculate ganglion) and the auditory cortex (temporal lobe) make up the middle and late waves (N, P) of the AEP.

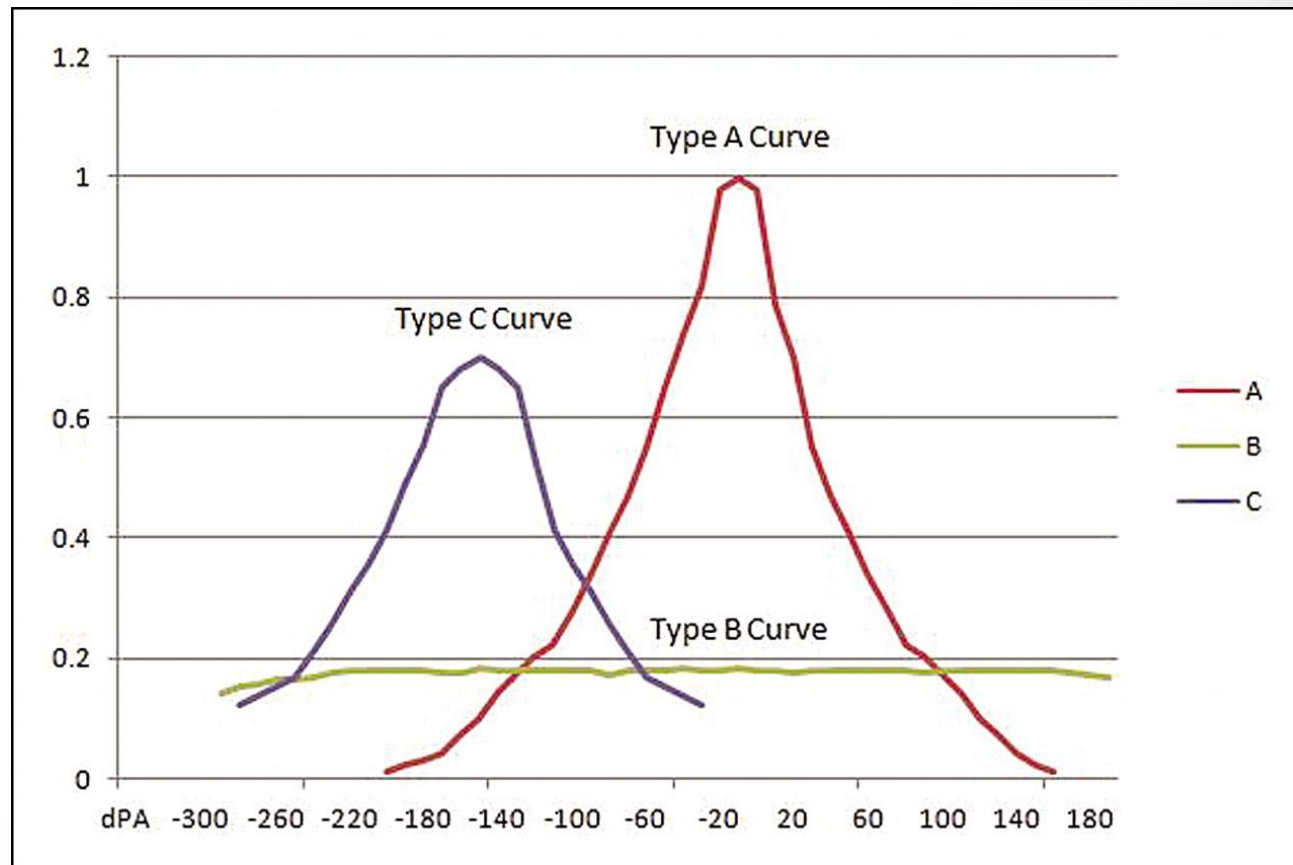
Tympanometrie (impedanční audiometrie)

- Představuje měření **akustické admittance** za různých tlakových podmínek v zevním zvukovodu. Akustická admittance je převrácenou hodnotou akustické impedance.
- Tympanometr je zařízení, které vysílá zvukové vlny k bubínku, přijímá a zpracovává zpět odražené zvukové vlny od bubínku a zároveň mění tlak vzduchu v zevním zvukovodu. Platí, že nejlépe zvuková energie prochází převodním systémem do vnitřního ucha (a tedy nejméně se odráží od bubínku zpět k tympanometru), pokud jsou tlaky na obou stranách bubínku shodné (compliance – poddajnost bubínku a středoušních kůstek - je nejvyšší). Čím více jsou tlaky na obou stranách bubínku rozdílné, tím více se snižuje compliance a naopak se zvyšuje admittance (tuhost). Odráží se tedy od bubínku zpět k tympanometru více zvukových vln a méně je jich převáděno středoušními kůstkami. Na základě hodnoty admittance tympanometr zapíše různé typy křivek.



Tympanometrie

- Každá tympanometrická křivka je charakterizována vrcholem, gradientem a objemem zvukovodu. **Vrchol** vypovídá o středoušním tlaku. **Gradient** vyjadřuje vztah mezi strmostí a šířkou tympanogramu.
-
- **Křivka A** má vrchol při hodnotách barometrického tlaku a odpovídá normálnímu sluchu.
- **Křivka B** je výrazně plochá v celém průběhu a svědčí většinou pro tekutinu, ev. tumor ve středouší. Může být i u perforace bubínku či obstrukce zevního zvukovodu.
- **Křivka C** znamená poruchu ventilační funkce Eustachovy tuby.

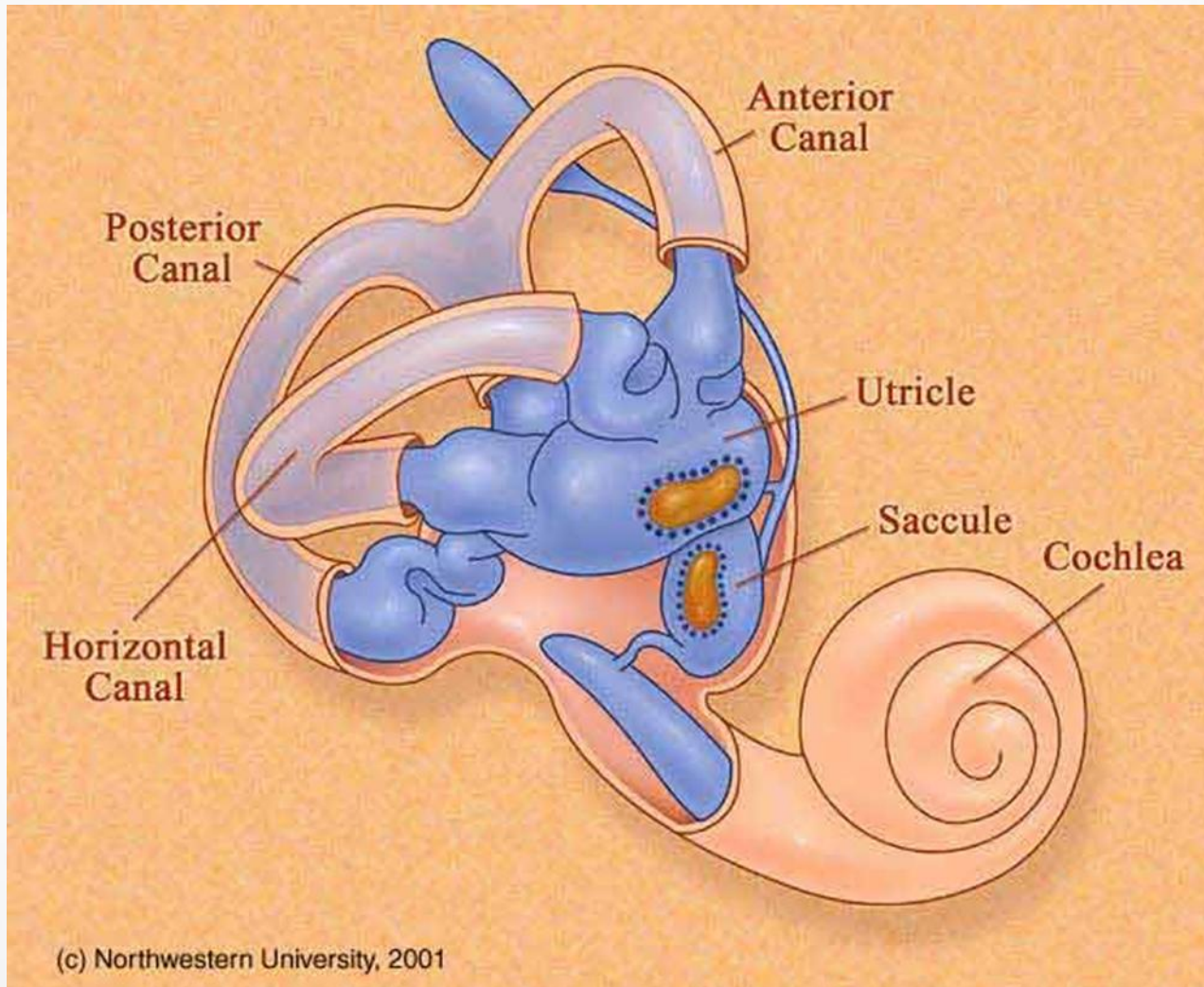


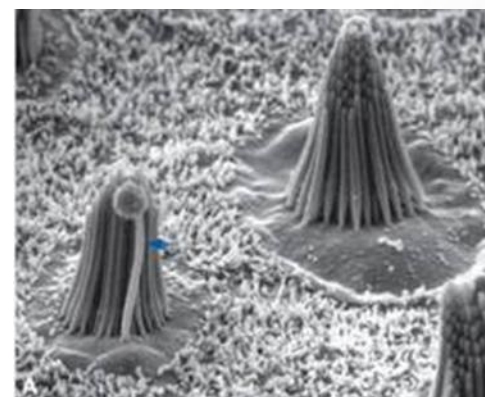
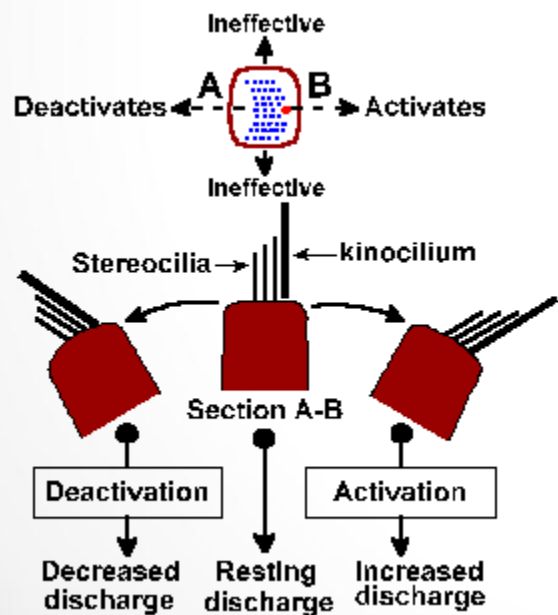
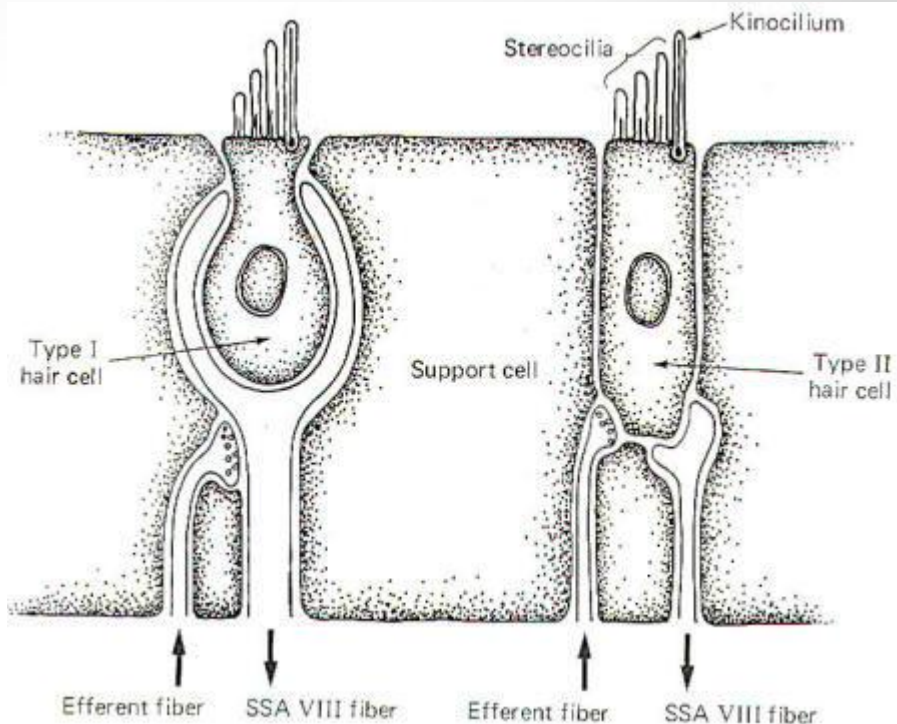
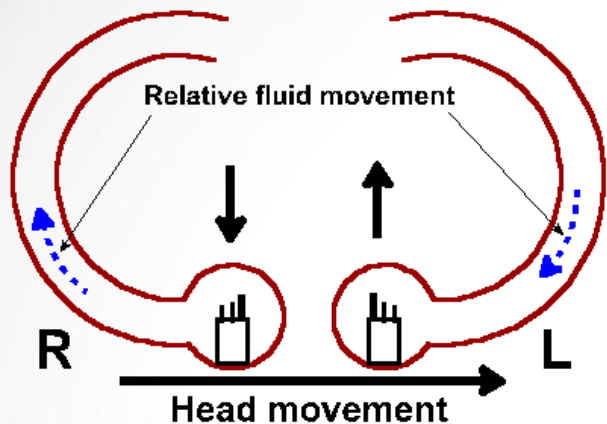
Zásady prevence sluchových poruch

- Včasná léčba středoušních zánětů a vad
- Ochrana před nadměrným hlukem
- Léčba a prevence vaskulárních rizik (cukrovka, dyslipidemie, vysoký krevní tlak)
- Úprava životosprávy (stres, kouření, spánek, strava, redukce hmotnosti)

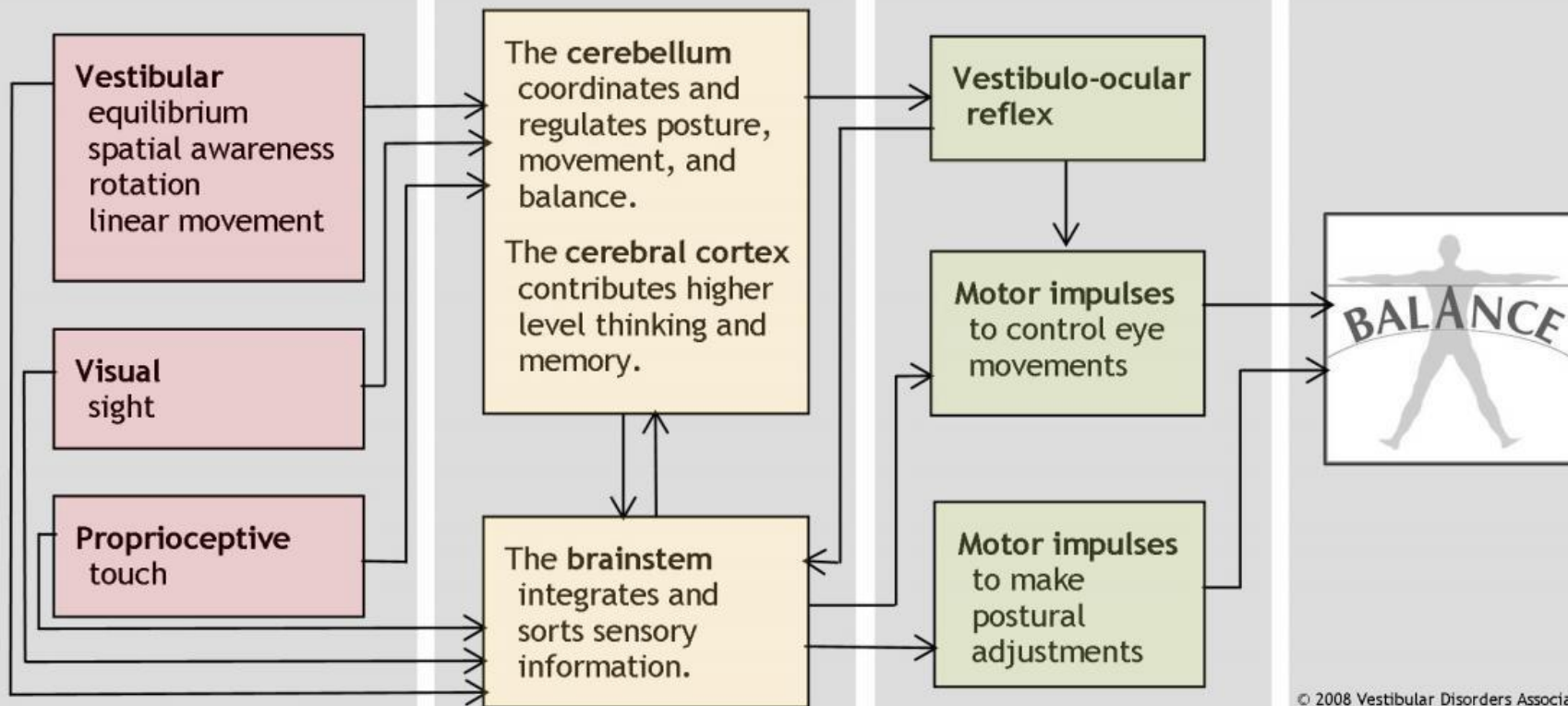


Vestibulární systém





SENSORY INPUT → INTEGRATION OF INPUT → MOTOR OUTPUT → BALANCE

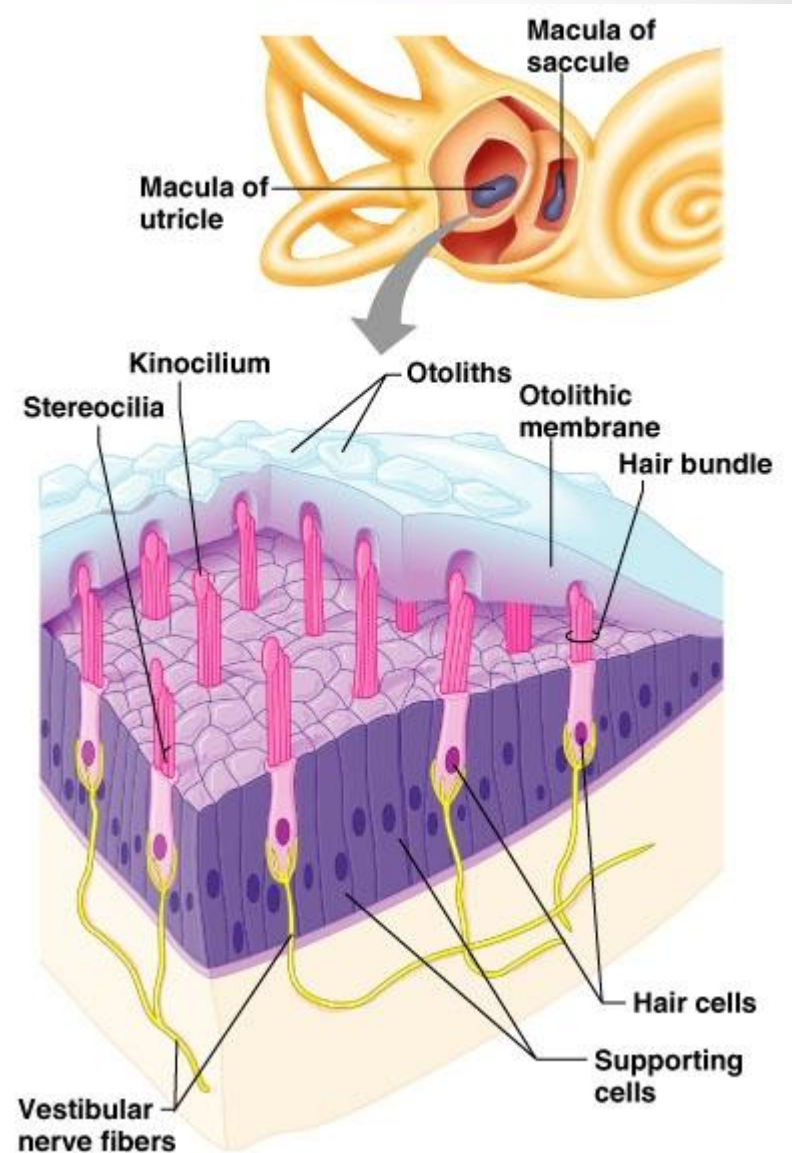


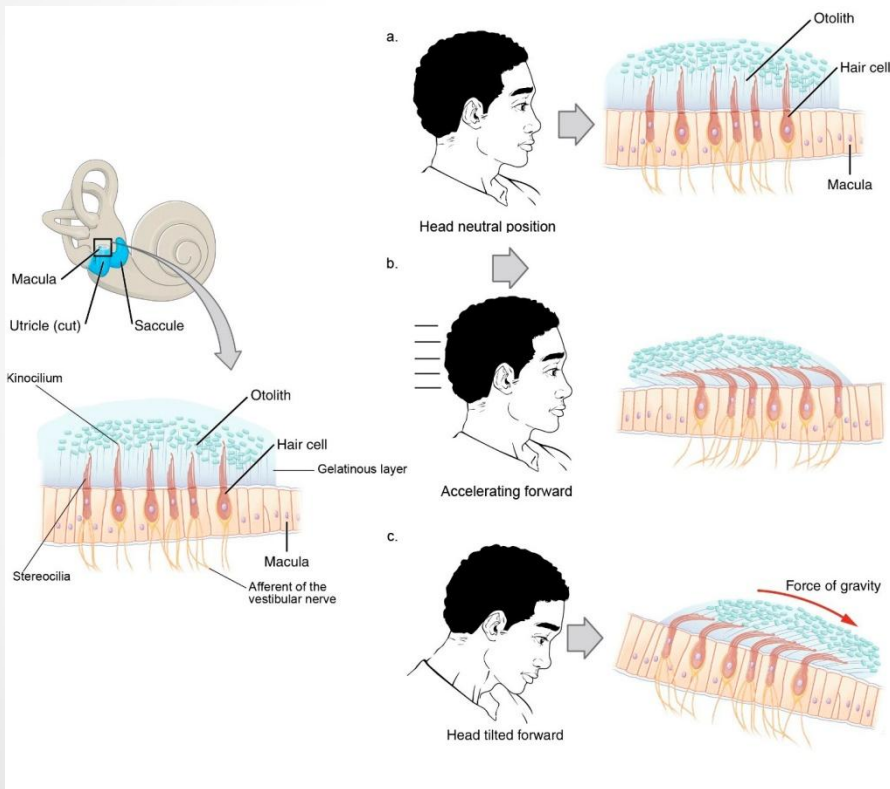
Funkce vestibulárního aparátu

- Stabilizace retinálního obrazu a udržení zrakové ostrosti při pohybu
- Udržení rovnováhy těla při stoji a pohybu
- X
- Pomocí:
- Regulace svalového tonu
- Koordinace pohybu hlavy a očí
- (Základní aferentace pro udržení rovnováhy – vestib. aparát, zrak, propiocepce a mozeček)
-

Otolitové orgány: sakulus a utrikulus

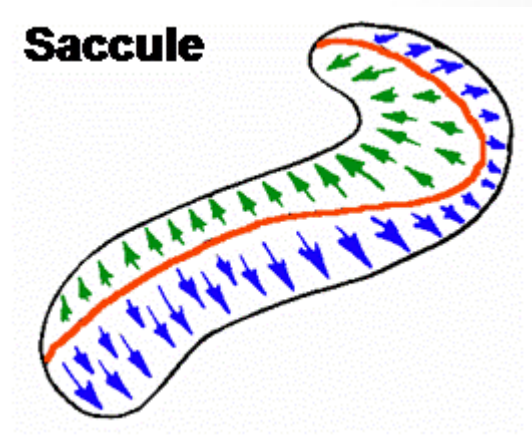
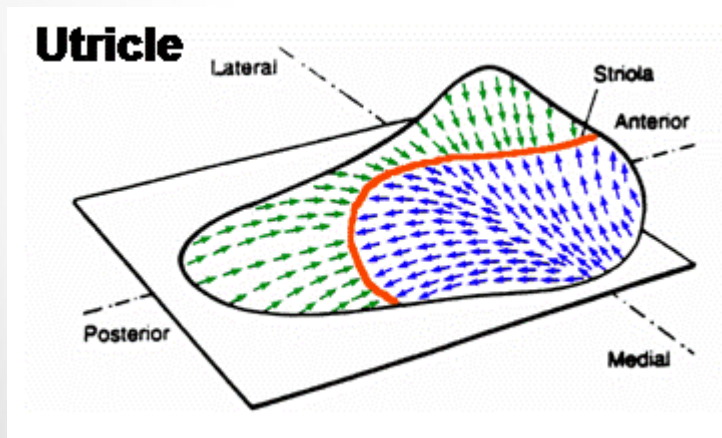
- senzorický orgán-**makula**, v utrikulu uložena horizontálně v sakulu vertikálně
- makula obsahuje vláskové buňky, gelatinosní vrstvu s krystaly CaCO_3
- registrují lineární zrychlení (horizontální a vertikální rovina)





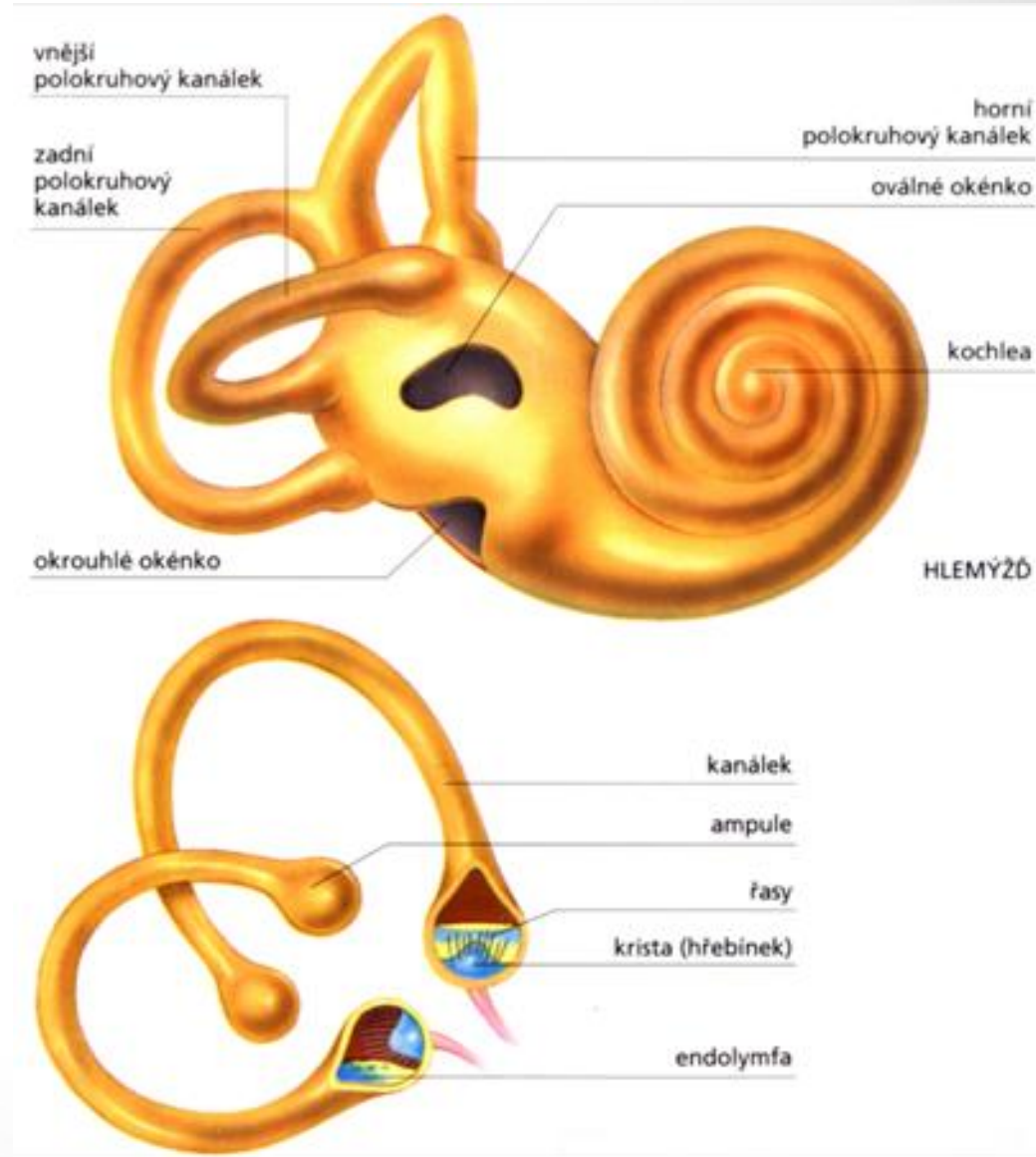
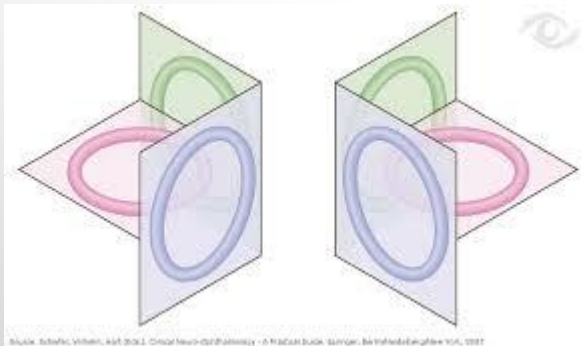
- Zatímco crista ampullaris má specifickou hmotnost stejnou jako endolymfa, otolity zvyšují hustotu makuly a jsou nezbytným předpokladem její schopnosti registrovat lineární zrychlení.
- Při lineárním zrychlení, těžké otolity, díky setrvačnosti, zaostávají v pohybu a tím ohýbají stereocilia vláskových bb. v makule. Při déletrvající změně polohy hlavy, se pak otolity posouvají v makule ve směru gravitace.

- Určení směru působící síly je v otolitových orgánech založeno na prostorovém uspořádání stereocilií uvnitř makuly
- Uspořádání stereocilií je vztaženo k mělkému žlábkku (striola), rozdělující makulu na dvě poloviny
 - v utrikulu jsou kinocilia orientována směrem ke striole, v sakulu jsou kinocilia orientována směrem od ní
- v každé pozici hlavy budou proto některé vláskové buňky depolarizovány a jiné naopak hyperpolarizovány



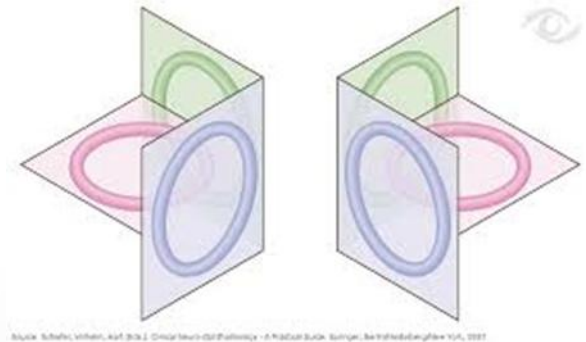
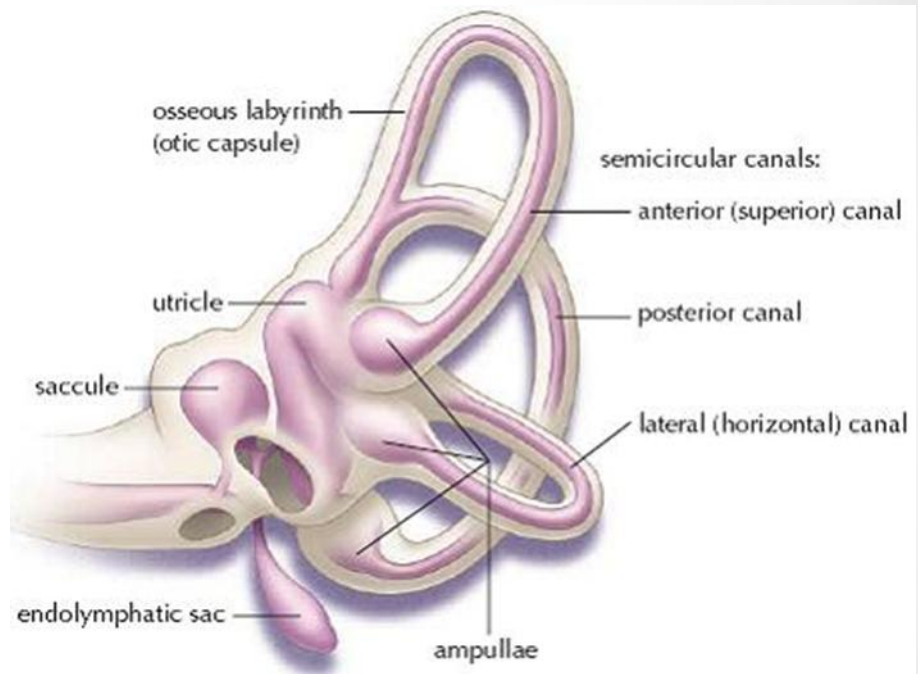
Polokruhovit  kanálky

- na sebe navzájem kolm , na koncích roz  ir n  - ampula
- Senzorický orgán: **crista ampullaris** (vláskové buňky, kter  reagují na pohyb endolymfy), překrytý rosolovitou hmotou - kupula
- rotační zrychlen  v rovině příslušného kanálku



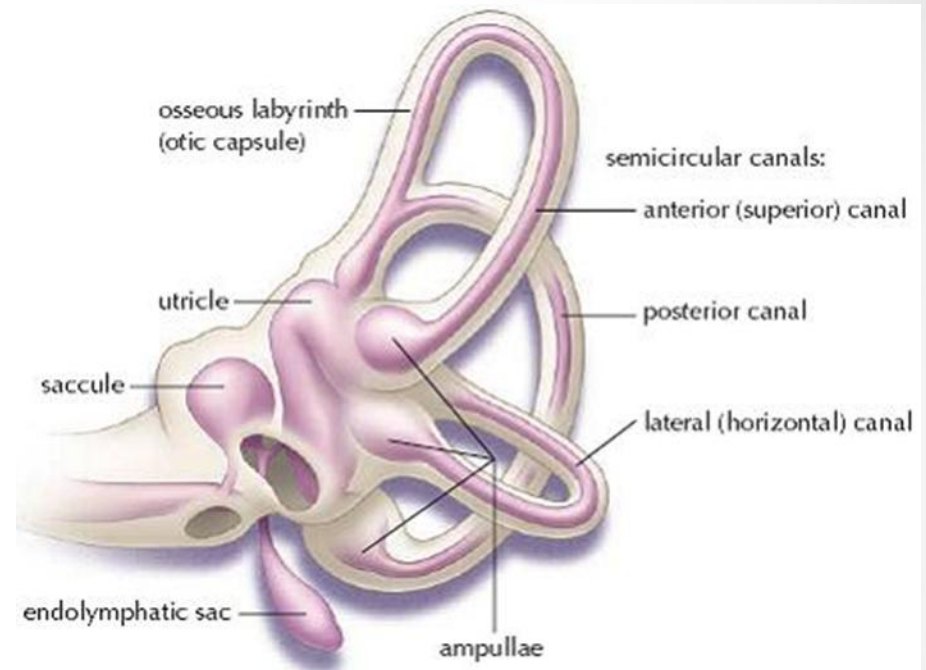
Semicircular canals

- Three semicircular canals:
 - **Lateral (Horizontal)**
 - **Superior (Anterior vertical)**
 - **Posterior (Posterior vertical)**
- **Horizontal semicircular canal detects rotation in the horizontal plane** (rotation of the head around a vertical axis -i.e. the neck). Makes an angle of 30 degrees with horizontal plane.
- The lateral canal of one ear is very nearly in the same plane as that of the other; while the superior canal of one ear is nearly parallel to the posterior canal of the other.

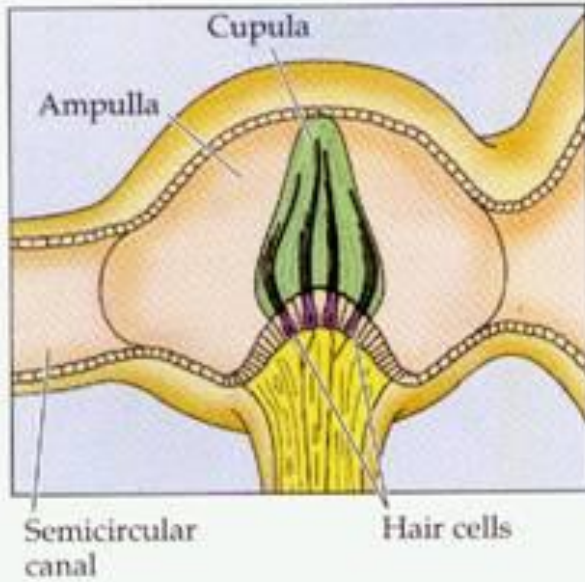


Semicircular canals

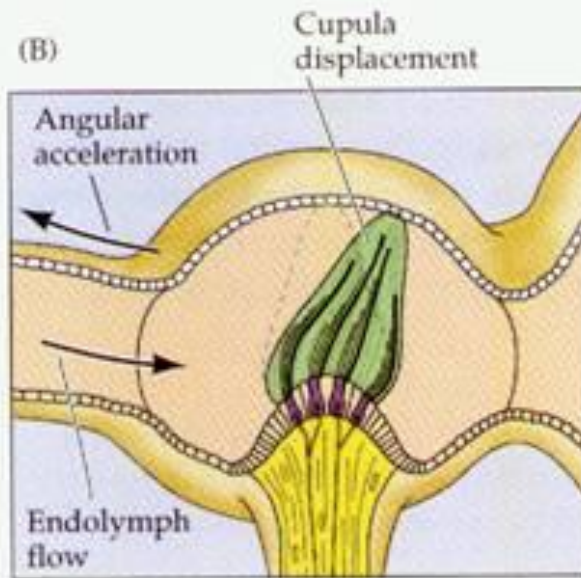
- **Superior semicircular canal detects rotation of the head in the coronal plane.** This occurs, for example, when you move your head to touch your shoulders.
- **Posterior semicircular canal detects rotations of the head in the sagittal plane.** This occurs, for example, when nodding your head..



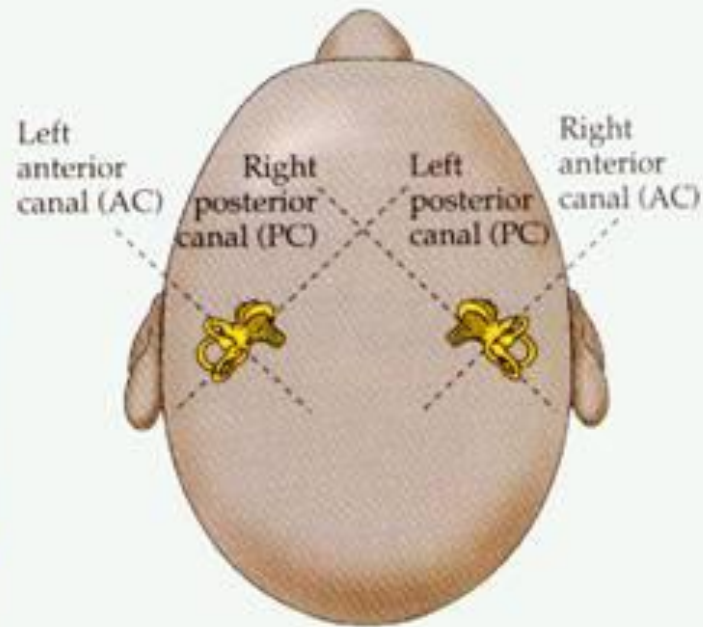
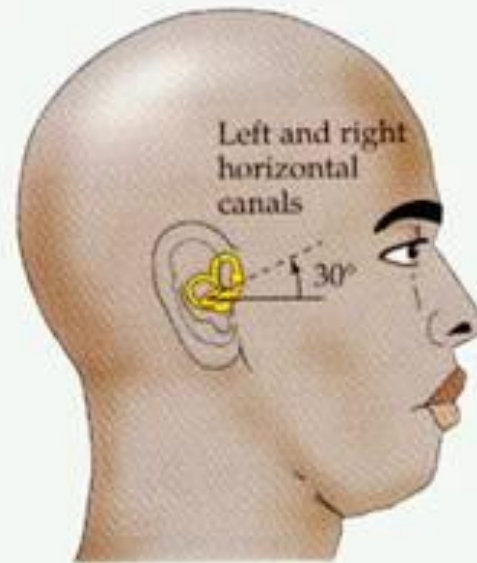
(A)

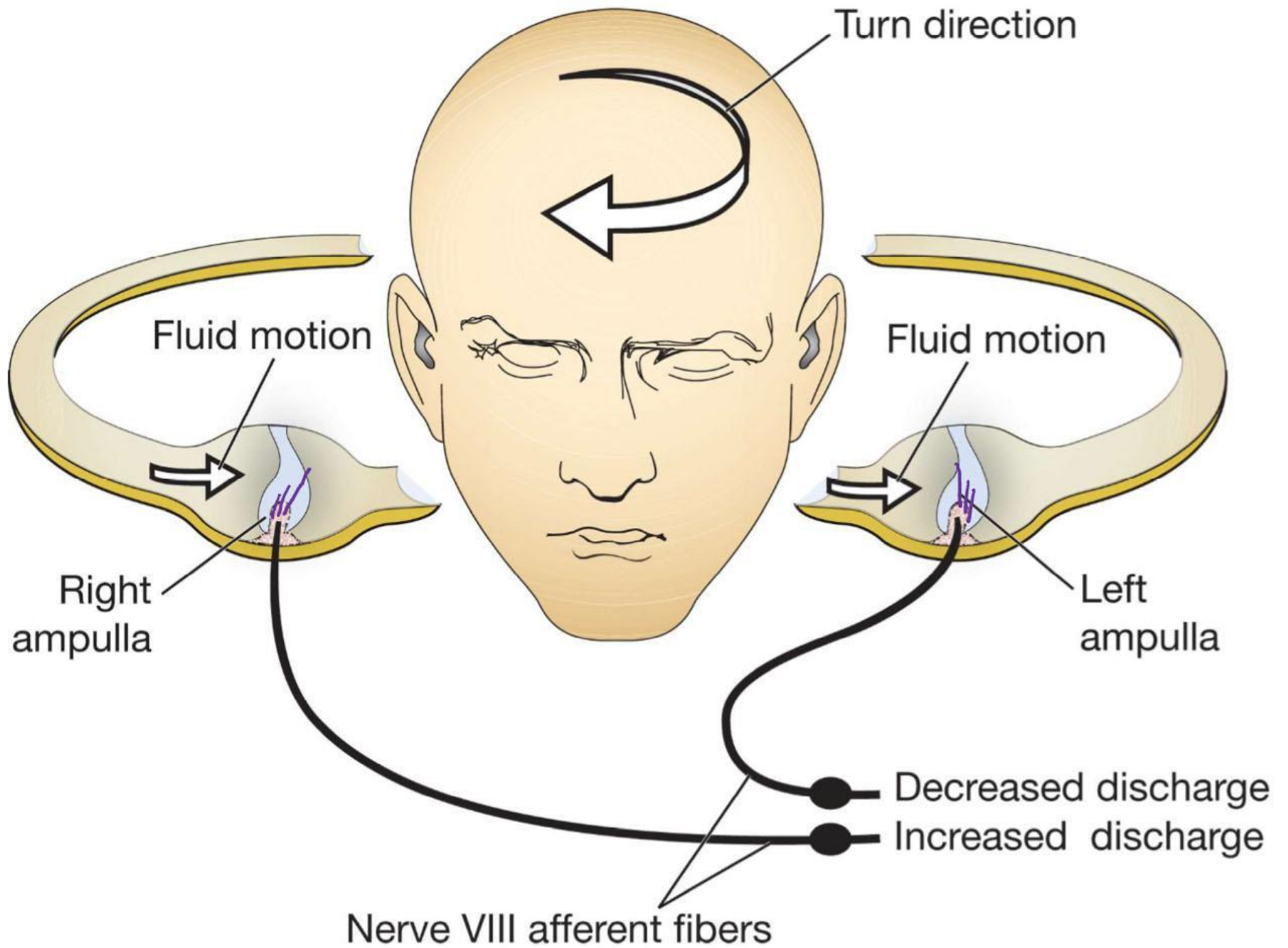


(B)



(C)





Vestibulární dráha

- První neurony vestibulární dráhy jsou tvořeny bipolárními neurony **ganglion vestibulare** -ve vnitřním zvukovodu na dně meatus acusticus internus
- **periferní výběžky** obalují těla receptorových buněk v ampulárních kristách, utriculu a sacculu
- **centrální výběžky** tvoří **vestibulární část n.VIII** – dvě větve – **r. superior** pro utrikulus, přední a laterální kanálek, **r. inferior** pro sakulus a zadní pol. kanálek
- vlákna jdou vnitřním zvukovodem a končí ve čtyřech vestibulárních jádrech v mozkovém kmeni pod spodinou čtvrté komory mozkové – **ncl. vestibularis superior, inferior, medialis et lateralis**
- zde dochází k přepojení na druhé neurony
- Druhé neurony vestibulární dráhy vytvářejí **vestibulární dráhy** nesoucí informace do CNS
 - **tractus vestibulospinalis** jde k motoneuronům předních rohů míšních
 - **tractus vestibuloreticularis** do retikulární formace
 - **tractus vestibulocerebellaris** do mozečku
 - **tractus vestibulobulbaris** k jádrům hlavových zvláště okohybných nervů
 - **tractus vestibulocorticalis** do temporoparietální oblasti

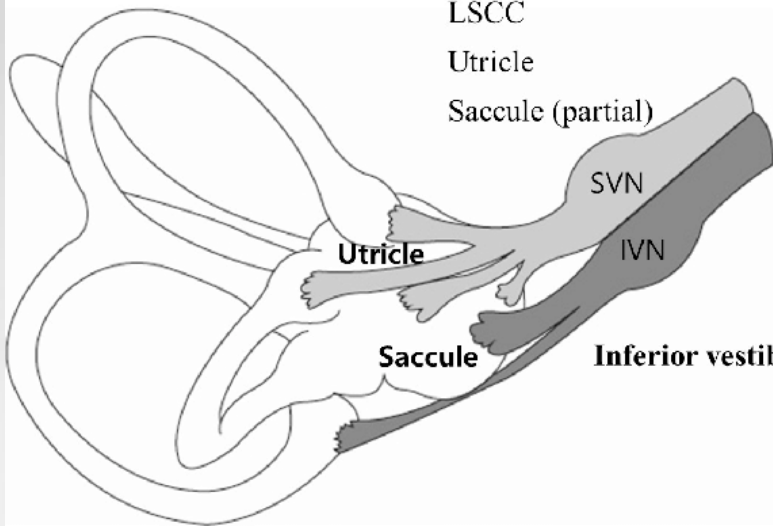
Superior vestibular nerve

ASCC

LSCC

Utricle

Sacculle (partial)



PSCC

Sacculle

Semicircular
canals: ampullae

Utricle:
maculae

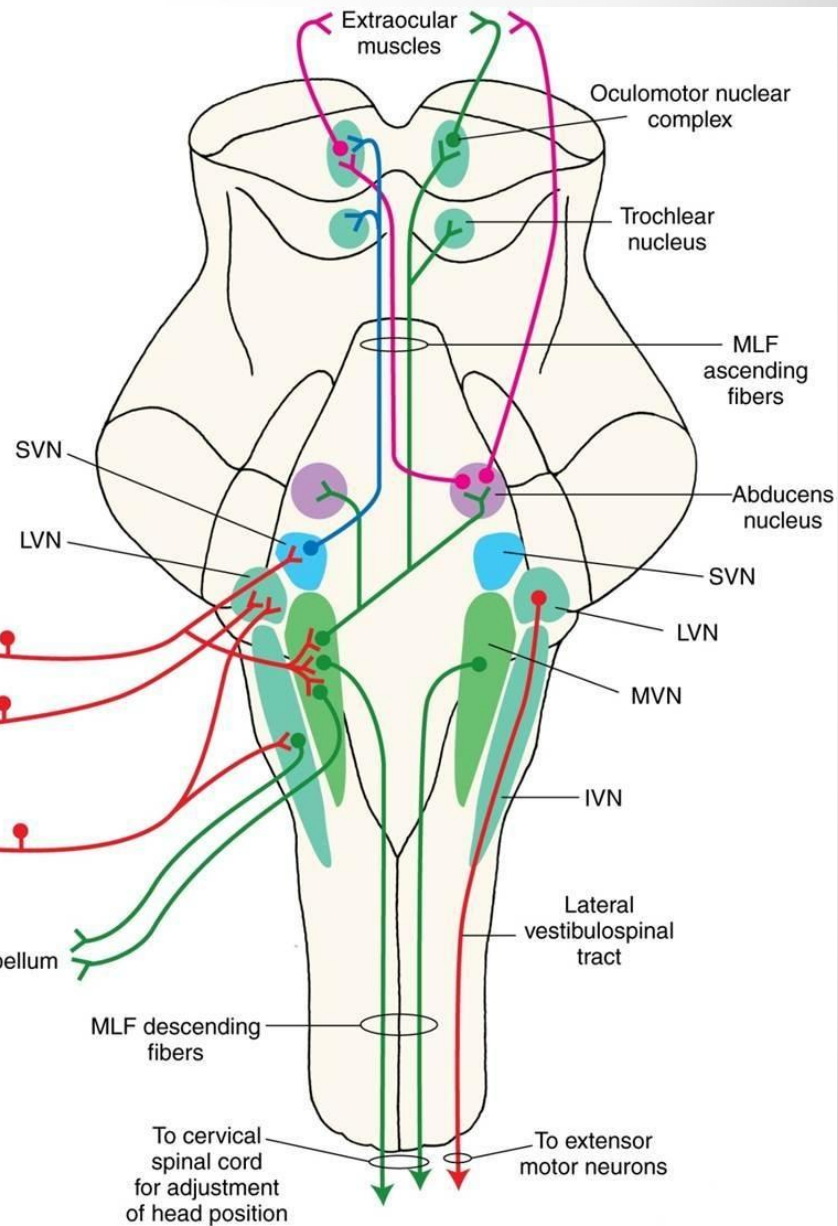
Sacculle:
maculae

To cerebellum

MLF descending
fibers

To cervical
spinal cord
for adjustment
of head position

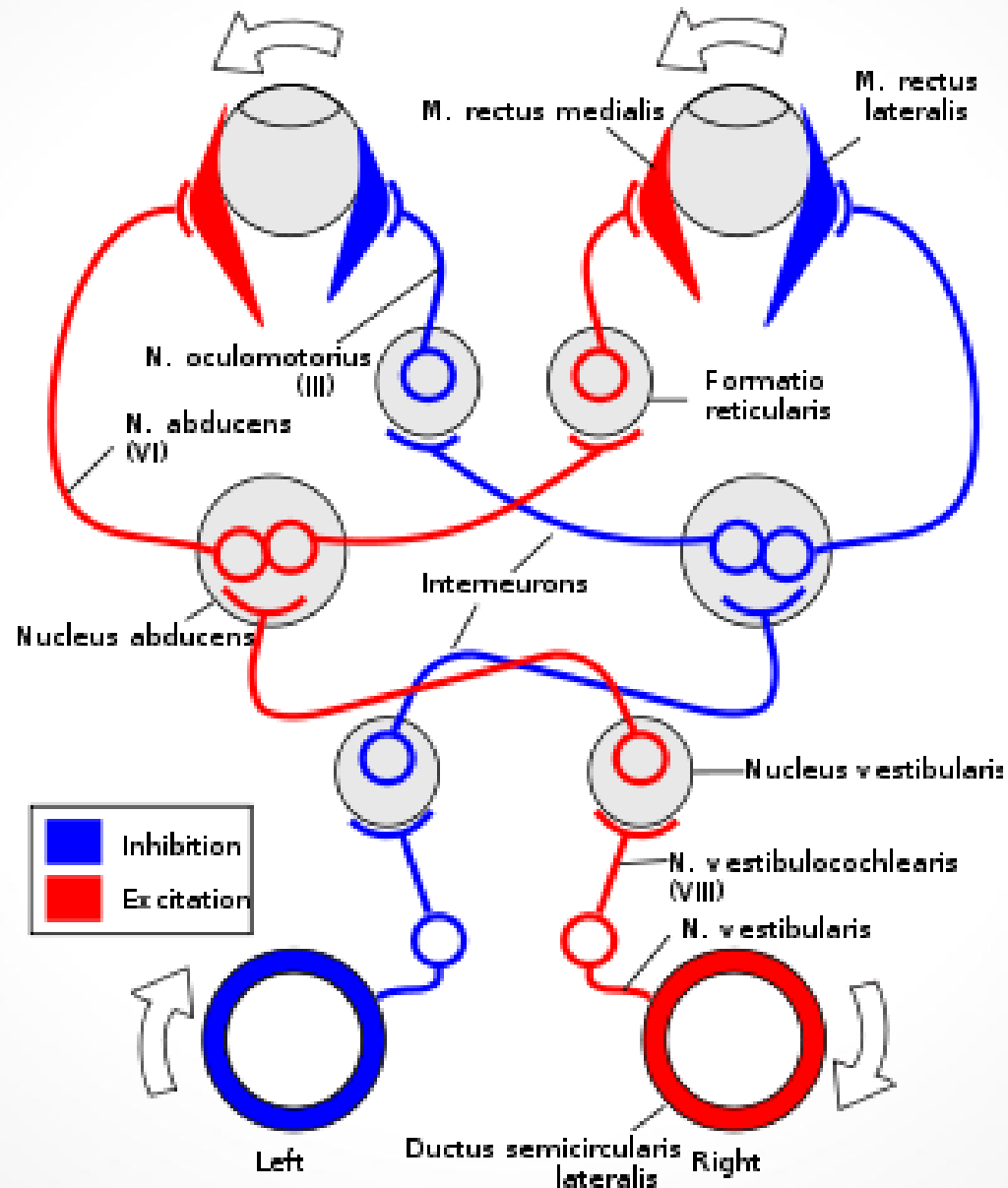
To extensor
motor neurons



Základní reflexní okruhy

- **Vestibulo-okulární reflex:** zajišťuje stabilitu retinálního obrazu tak, že při pohybu hlavy generuje pohyby očí v opačném směru než je pohyb hlavy: nejprve dojde k pomalému tonickému pohybu oka (pomalá fáze nystagmu - vestibulární reakce) a v určitém pohledovém úhlu jsou oči sakadickým pohybem „hozeny“ zpět do střední roviny (řízeno z mozkového kmene)
- **Vestibulospinální reflex** – zajišťuje vzpřímenou polohu hlavy a trupu

Vestibulo-okulární reflex



Příznaky vestibulopatie

- **Subjektivní** - závrať, nevolnost
- **Objektivní** - nystagmus
 - - tonické úchyly končetin
 - - vestibulární ataxie

Nystagmus

- **záškuby očních bulbů**, obvykle bifázické se složkou pomalou a rychlou
- **Směr:** horizontální, rotační, vertikální, diagonální, alternující
- **Symetrie:** konjugovaný x disociovaný (mozečkové, kmenová léze)
- **Stupeň** (podle směru rychlé složky):
 - 1.stupeň – rychlá složka ve směru pohledu
 - 2.stupeň – nystagmus při přímém pohledu
 - 3.stupeň – rychlá složka proti směru pohledu
- **Spontánní nystagmus je vždy patologický** a je známkou vestibulární nebo vestibulo-cerebelární léze.
- Fyziologický nystagmus – např. fixační nebo optokinetický
 - (indukovaný pro zajištění stability obrazu)

Kinetóza

- Result of discrepancy between visual and vestibular perception.
- „When you feel motion but don't see it, your inner ear tells the brain that it senses motion, but the eyes tell it that everything is standing still.“
- Also caused by motion that is seen but not felt – watching films on large screens (Imax) or playing virtual reality games
- Symptoms are same as in other vestibulopathies: fatigue, dizziness, nausea, vomiting
-



Benign paroxysmal positional vertigo

BPPV is characterized by brief episodes of mild to intense dizziness. Symptoms are triggered by specific changes in the position of your head, such as tipping your head up or down, and by lying down, turning over or sitting up in bed. You may also feel out of balance when standing or walking.

It is caused by dislodged otoconia from utricle, that enter semicircular canals and stimulate their receptors.

Treatment: otoconia repositioning manoeuvres (i.e. Epley, Semont)

