

# Sluchový zmysel

**Zmysel = sluch**

**Sluchový orgán = ucho**

**Podnet = zvuková vlna 16 – 20 000 Hz**

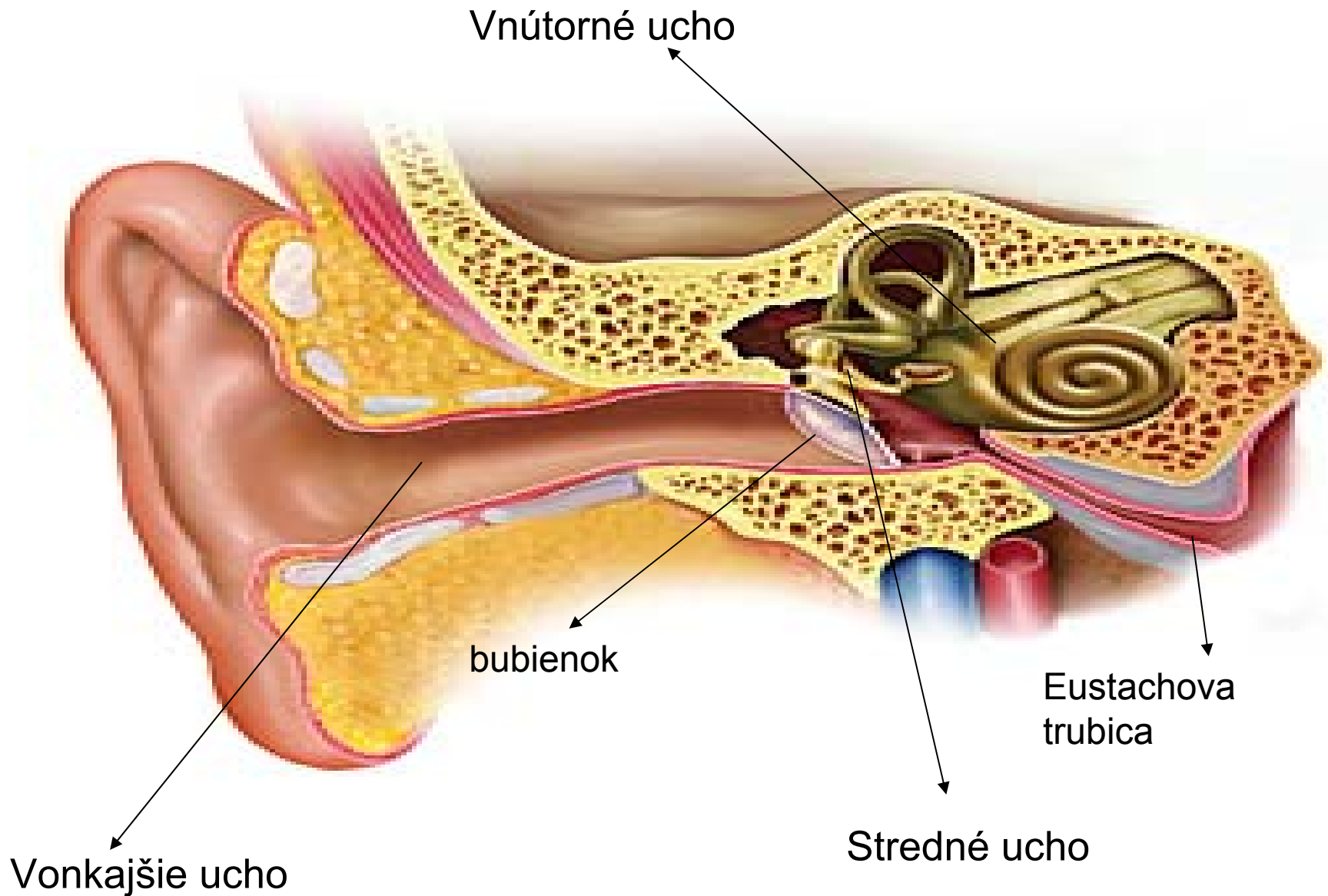
**Receptor = stereocílie Cortiho orgánu**

**Projekčná oblasť CNS= temporálna oblasť  
mozgu**

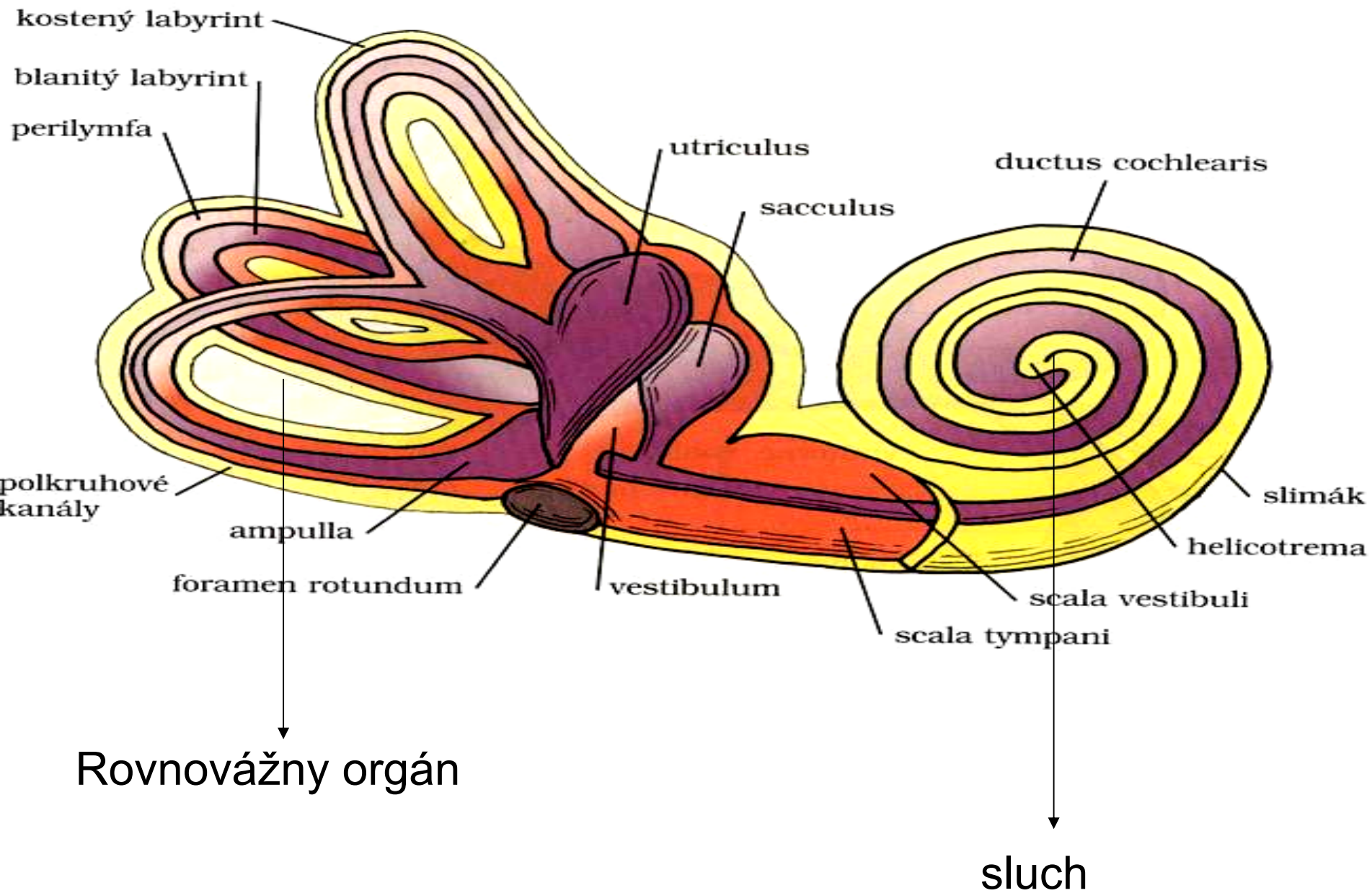
**Nervová dráha = n. vestibulocochlearis VIII**

- 1) **Vonkajšie** – ušnica, vonkajší zvukovod
- 2) **Stredné** – bubienok (membrana tympani), sluchové kostičky v bubienkovej dutine (kladivko, nákovka, strmienok)
- 3) **Vnútorne** – komplikovaný systém dutín a kanálikov v spánkovej kosti  
labyrinth – slimák (cochlea),  
predsieň (vestibulum),  
3 polkruhové kanáliky (ductus semicirculares)

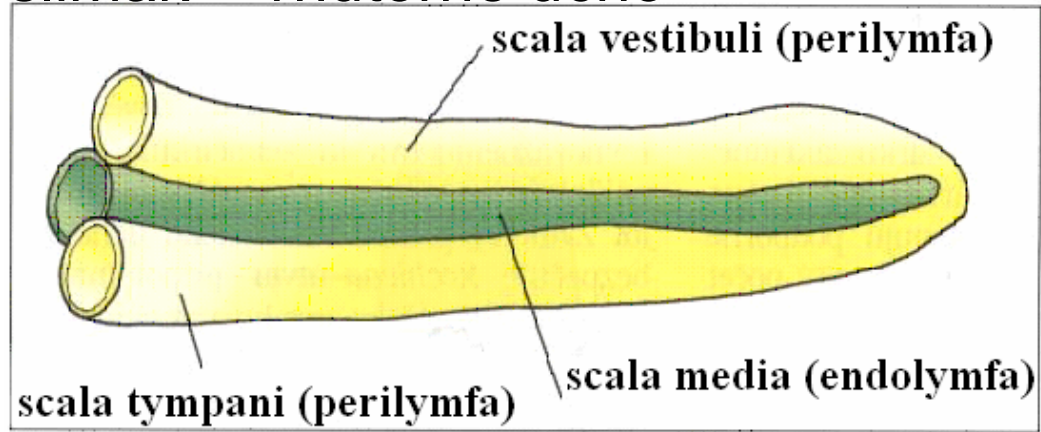
# Anatomická stavba ucha



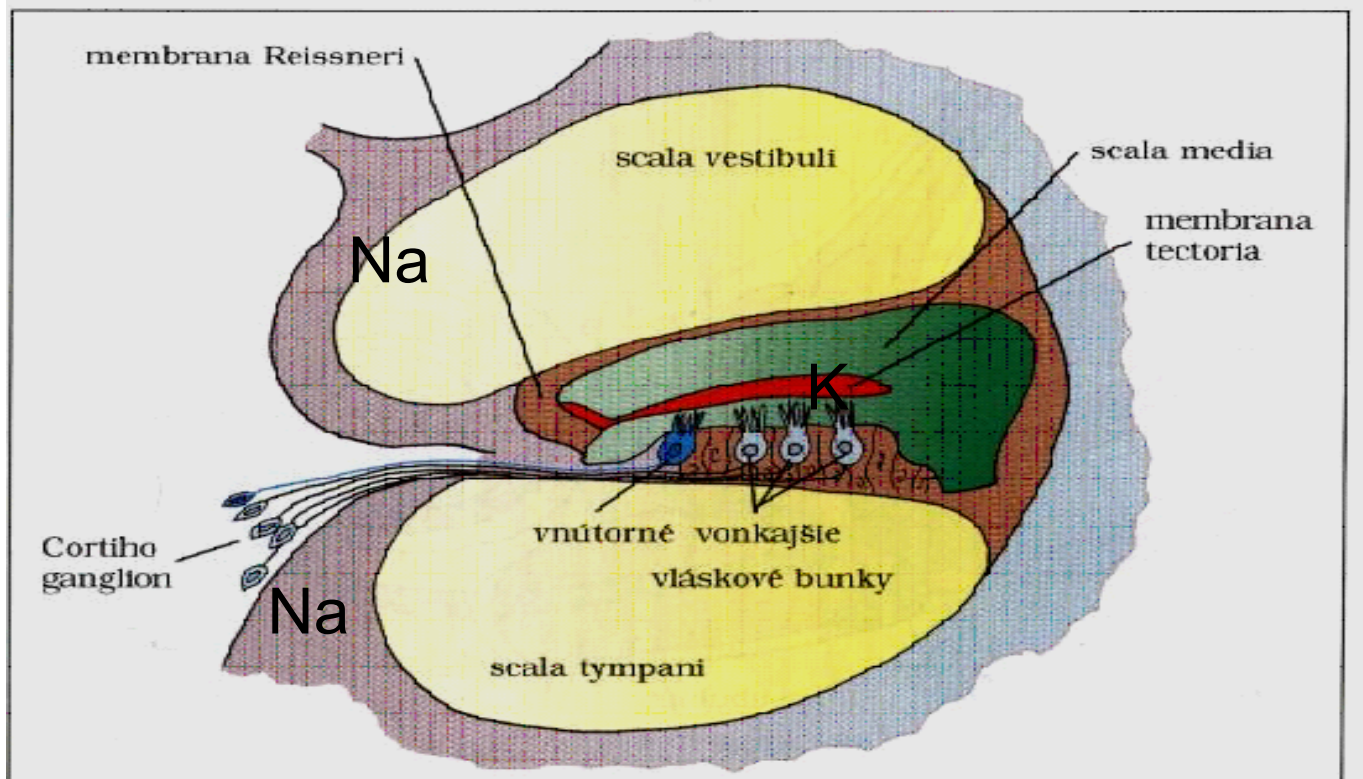
# Vnútorné ucho



# Rozvinutý slimák – vnútorné ucho

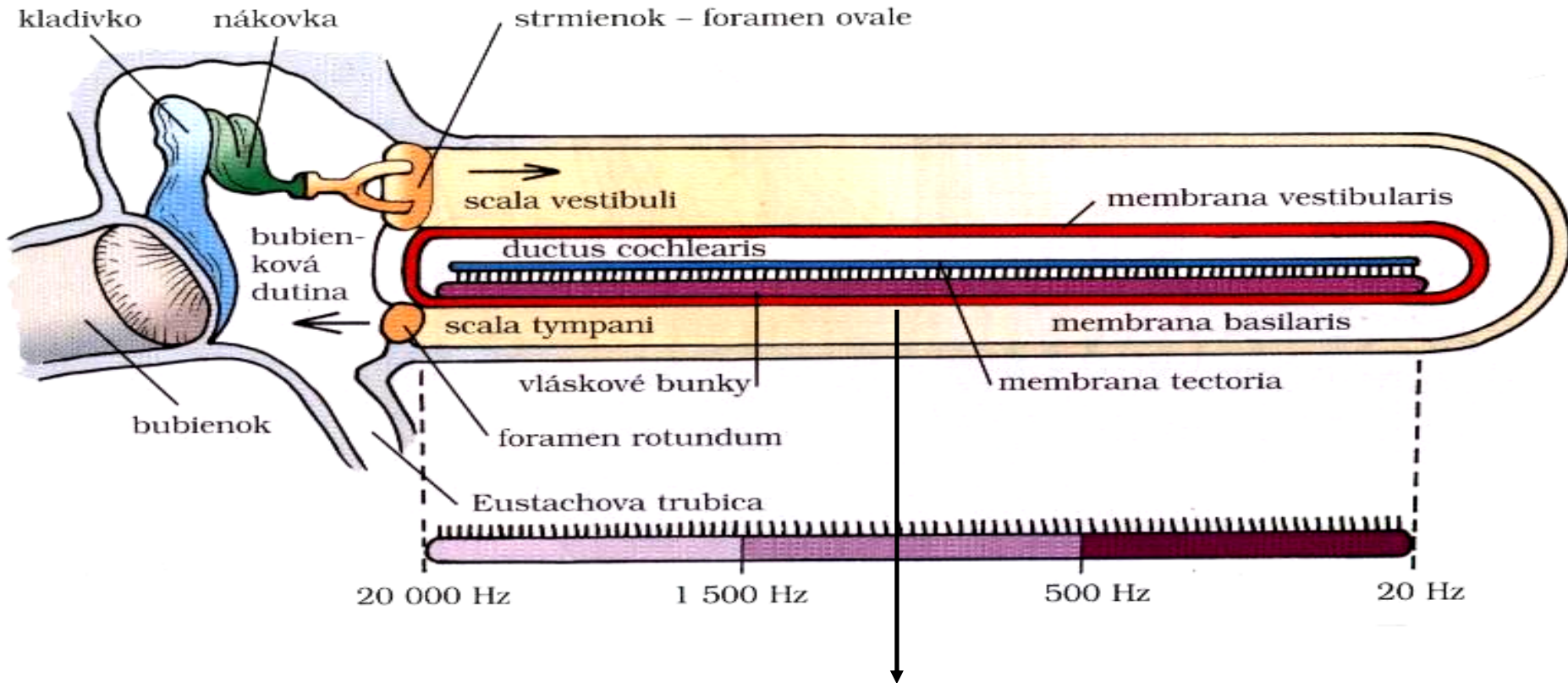


## Priečny prierez slimákom





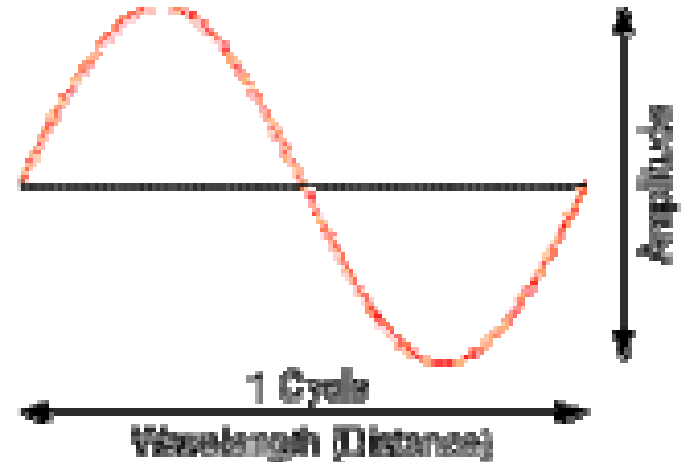
# Morfologické a funkčné jednotky stredného ucha a vnútorného ucha



Receptory – stereocílie, na bazilárnej membráne, rozdelené na tri úseky podľa charakteru podnetov

# Sluch – vlastnosti zvuku

- **frekvencia** – počet cyklov za sekundu
  - jednotka – hertz (Hz)
  - rozsah – 16-20000 Hz
- **amplitúda** – hlasitosť
  - jednotka – decibel (db)
  - šepot 30 db – lietadlo 140 db



# Sluch – anatómia ucha

## vonkajšie ucho

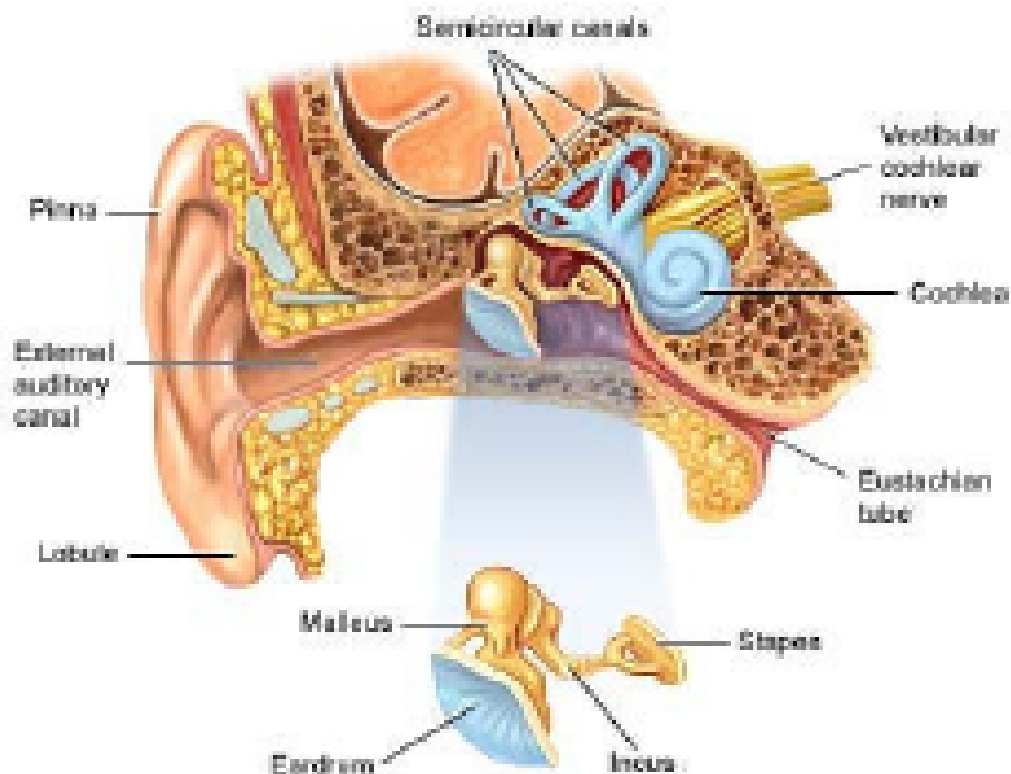
(ušnica, zvukovod)  
sústredenie zvuku

## stredné ucho

(bubienok, 3 kostičky)  
rozkmitanie, prenos

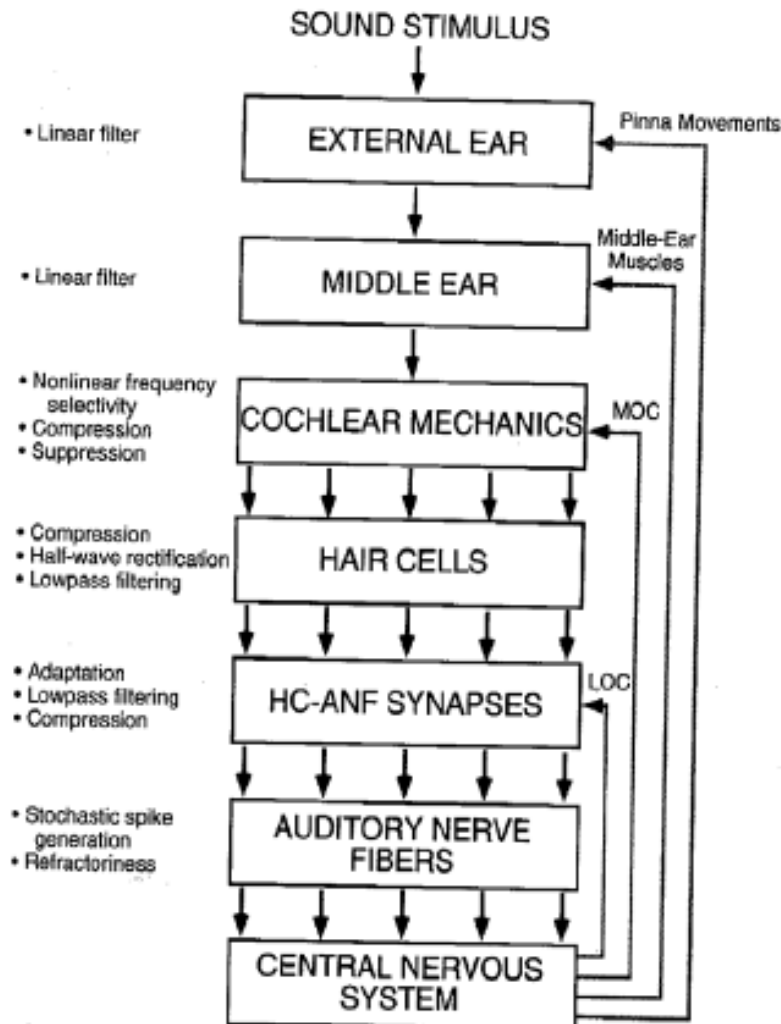
## vnútorné ucho

(slimák, vlasové  
bunky) zvukové vlny  
na nervové impulzy



- len 31 000 neurónov (optický nerv má 1 000 000)
- do oboch zvukových oblastí (temporálny lalok), aj keď trochu viac do protiľahlého

# Anatómia a fyziológia sluchu



Akustická vlna sa doširi k hlave a vchádza do sluchového kanálu, kde spôsobí:

- mechanické vibrácie v strednom uchu
- šírenie vln pozdĺž kochley
- pohyb vlasových buniek (senzorických neurónov) na bazilárnej membráne
- depolarizáciu vlasových buniek
- vlasové bunky vygenerujú AP
- nervovo kódovaná informácia sa spracováva na rôznych úrovniach (často spätná väzba na predošlé úrovne)

mnoho úrovní sa dá popísať použitím teórie lineárnych systémov

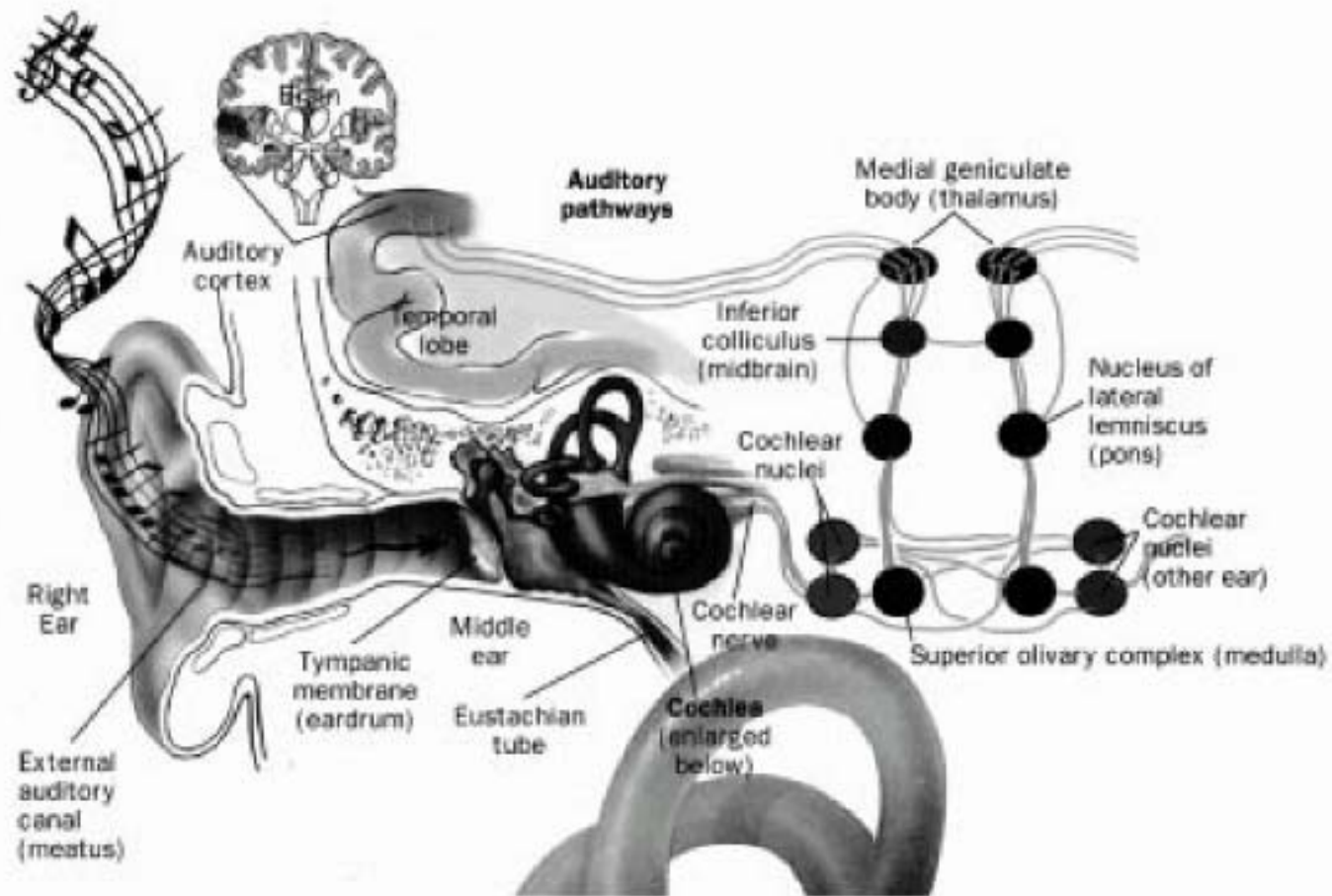


# Sluch v mozgu

Zvuk sa zložite spracováva už v pod- mozgových štruktúrach

Základné sú:

- vonkajšie, stredné a vnútorné ucho
- kochleárny nukleus
- olivárny komplex
- inferiórny kolikulus
- Medial geniculate body



# Stredné ucho

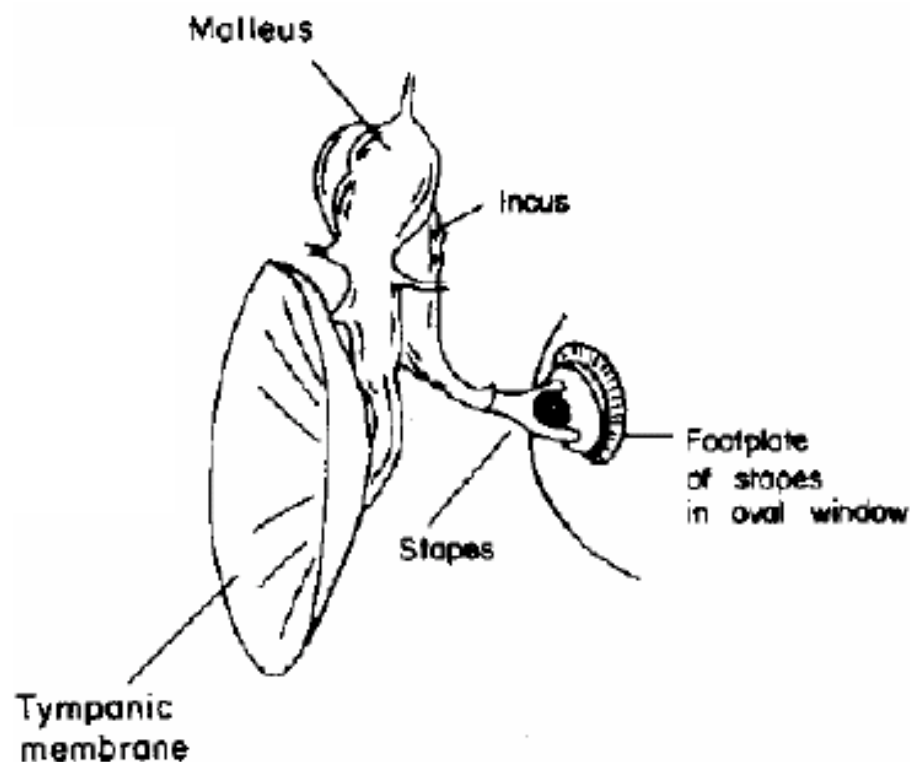
Vibrácie bubienka sa prenášajú na oválne okienko tromi malými kostičkami (kladivko, nákovka, strmienok).

Na čo potrebujeme stredné ucho?

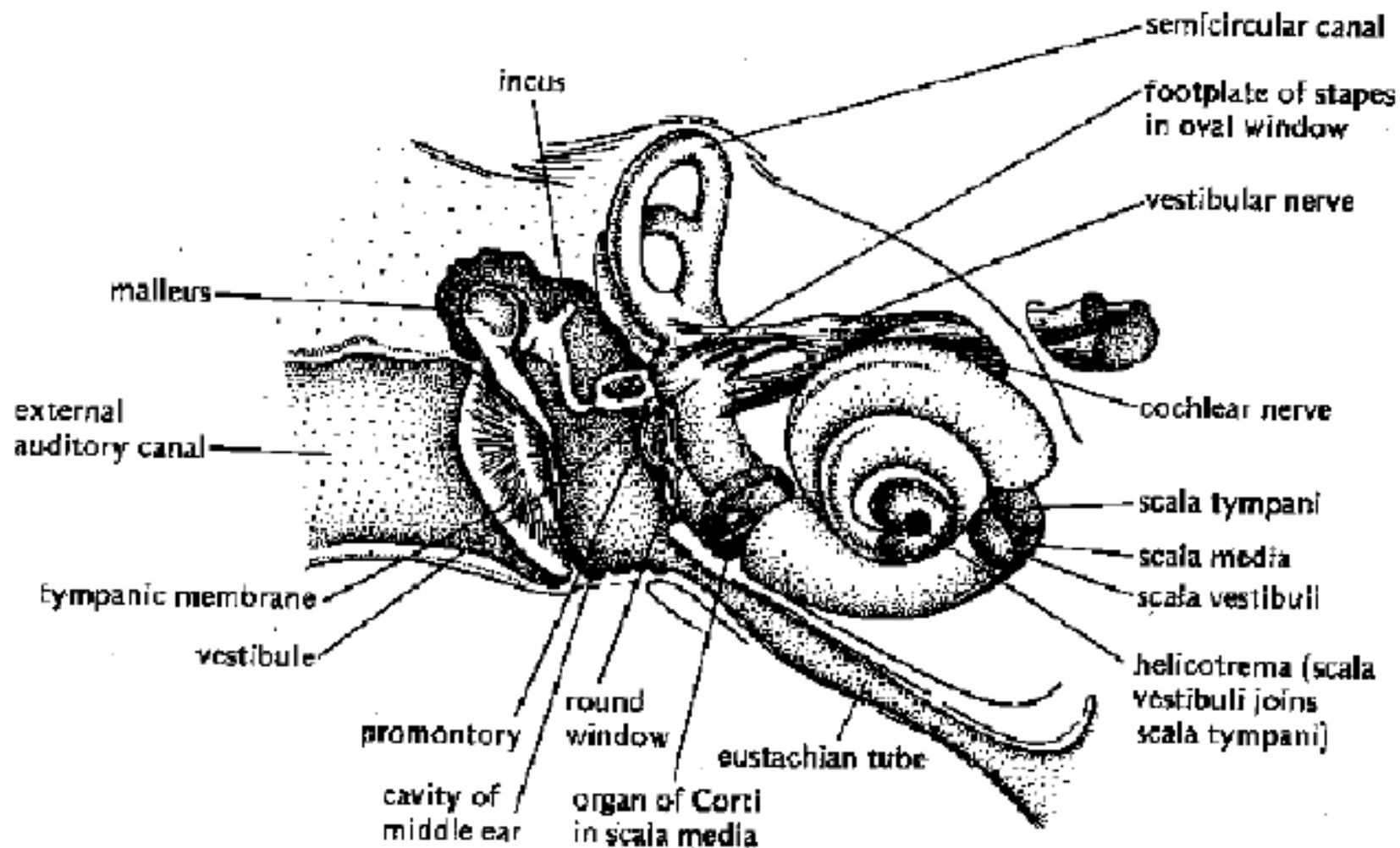
- tekutina vo vnútornom uchu má vysokú akustickú impedanciu, vzduch má nízku

- bez prispôbenia by sa väčšina zvuku odrazila od oválneho okienka (vstupu do slimáka)

Kostičky slúžia na toto impedančné prispôbenie



# Vnútorné ucho – slimák (kochlea)

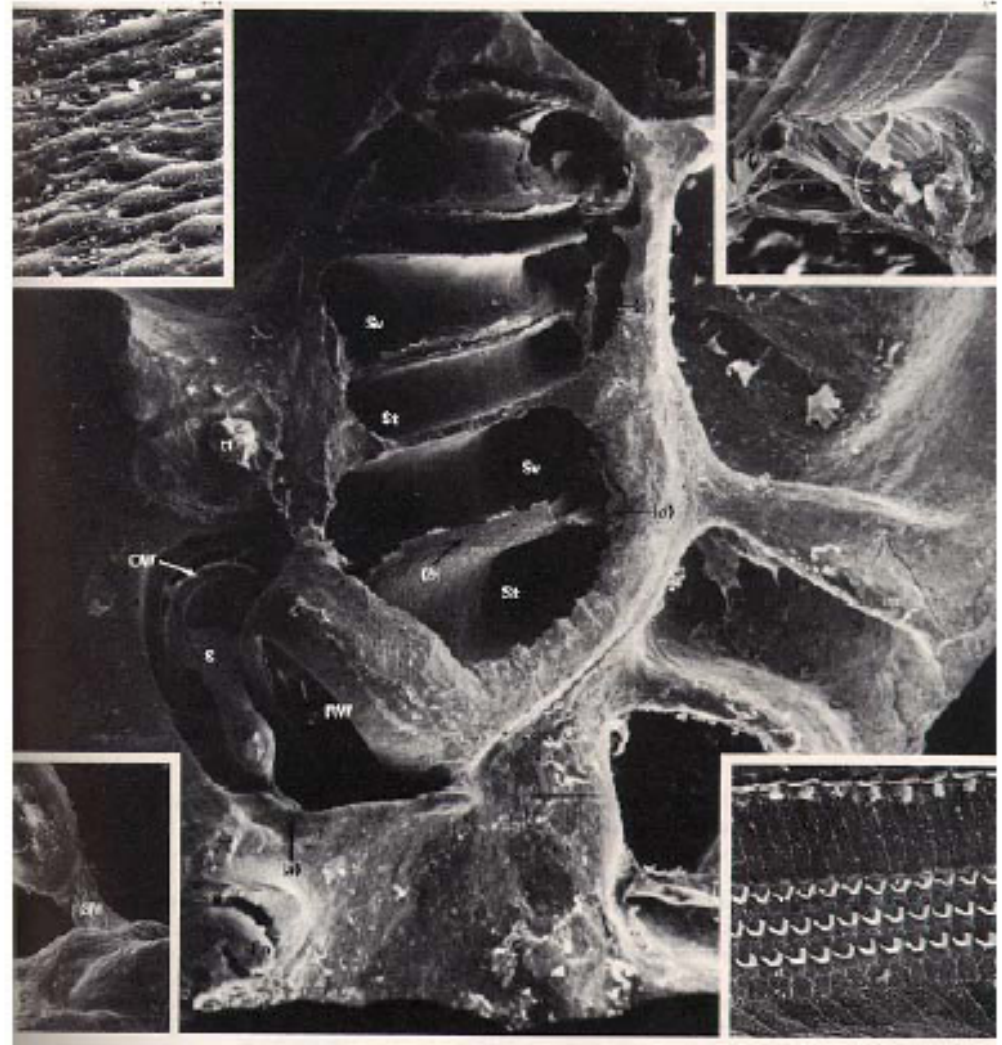


# Vnútorné ucho – slimák (kochlea)

Pohľad dovnútra:

OW – oválne okienko

RW – okrúhle okienko



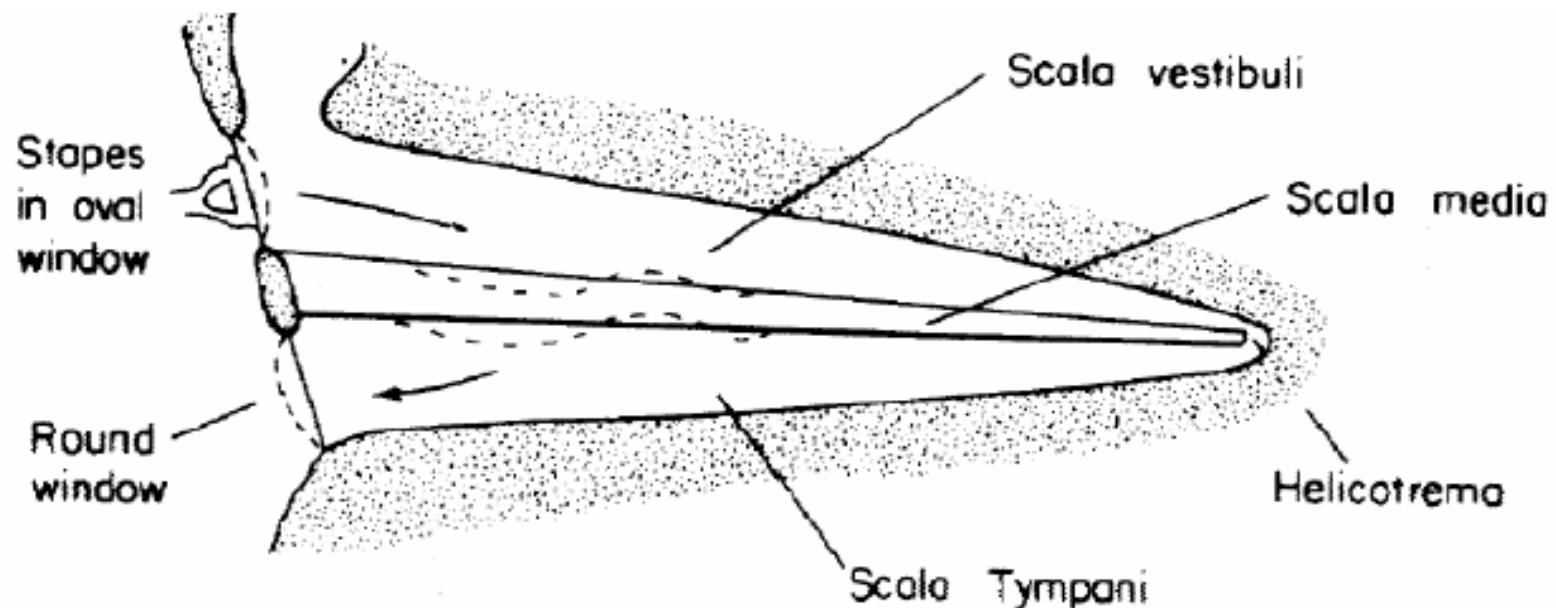
# Rozvinutá kochlea

Strmienok sa dotýka oválneho okienka

Tri dutiny: Scala vestibuli, scala tympani a scala media sa spájajú v oblasti nazývanej helicotrema

Pohyb strmienka spôsobuje tlakovú vlnu, ktorá sa šíri cez scalu vestibuli a scala tympani

Táto vlna spôsobuje pohyb scaly media





# Prierez kochleou

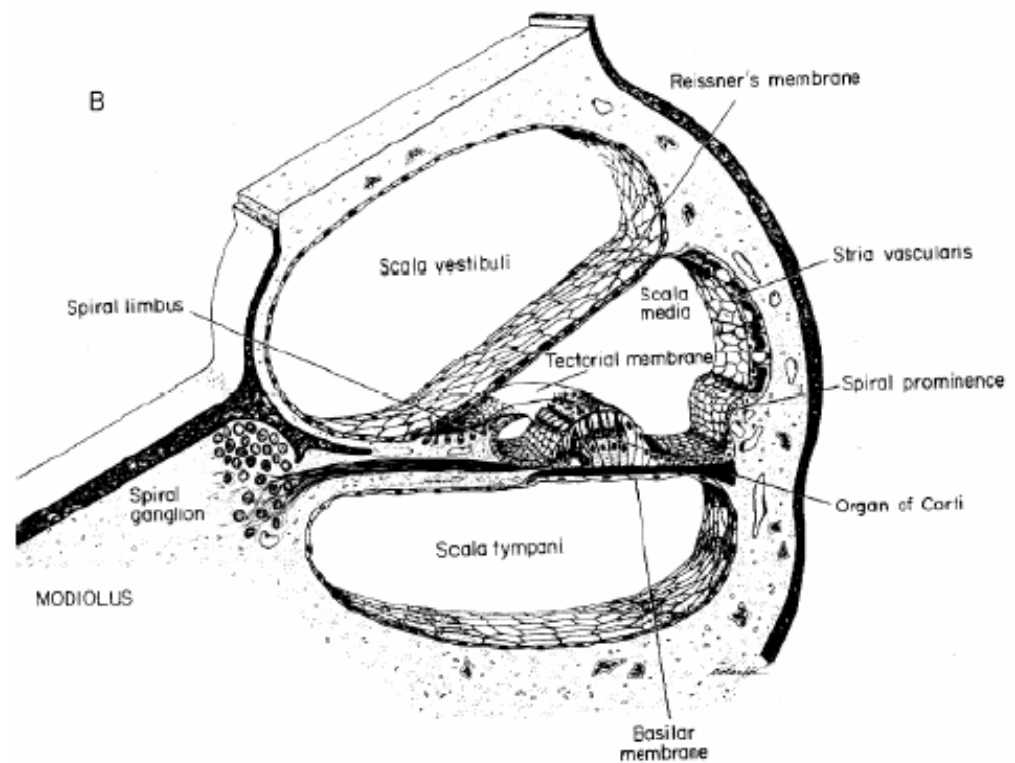
Bazilárna membrána (BM)  
oddeľuje scalu tympani od scaly  
media

Pohyb BM vedie k vzniku  
neurálnych signálov:

-Cortiho orgán obsahuje  
senzorické bunky, ktoré sú citlivé  
na pohyb BM

-Ostatné časti sú pomocné  
(mechanická a elektrochemická  
podpora)

-Na povrchu Cortiho orgánu je  
tektoriálna membrána



# Vláskové bunky

Obrázok: Cortiho orgán po odstránení tektoriálnej membrány

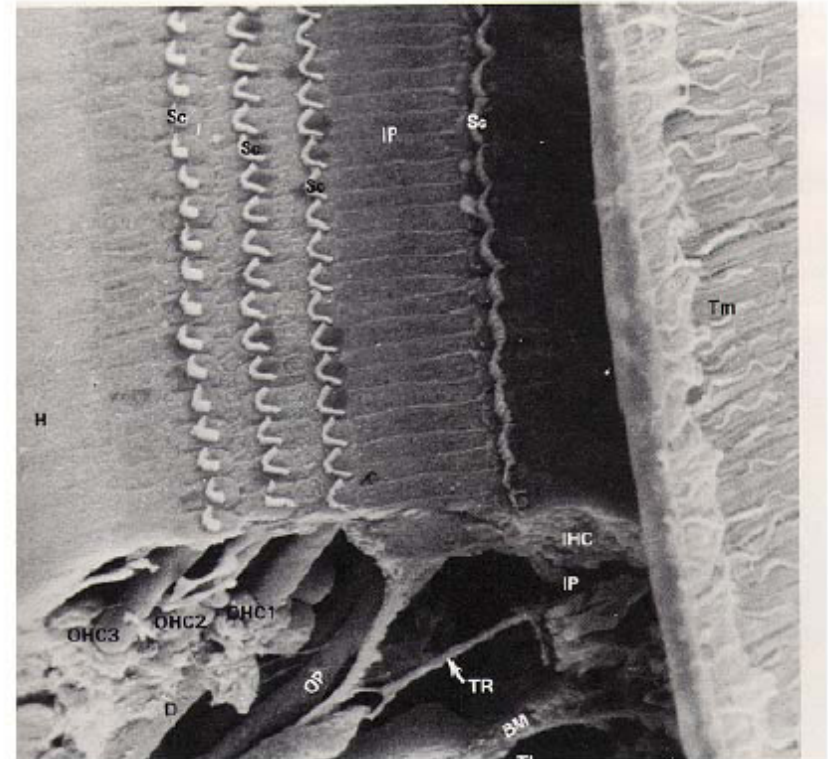
Dva typy senzoričných buniek:

- vnútorné vlasové bunky (IHC)
- vonkajšie vlasové bunky (OHC)

Vlásky na vrchole buniek - stereocillia

Každá bunka má:

- 3 rady vláskov s rôznou veľkosťou
- množstvo vláskov v rade vedľa seba
- IHC: jeden priamy rad
- OHC: tri rady v tvare „V“



Viac poznatkov je o aferentných spojeniach z IHC:

-myelinované, je ich veľa, sú zodpovedné za väčšinu vnemov

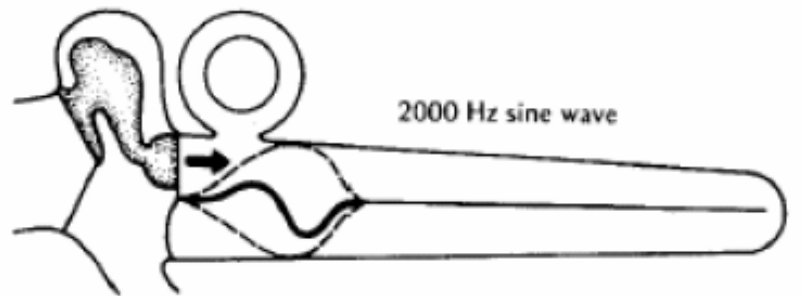
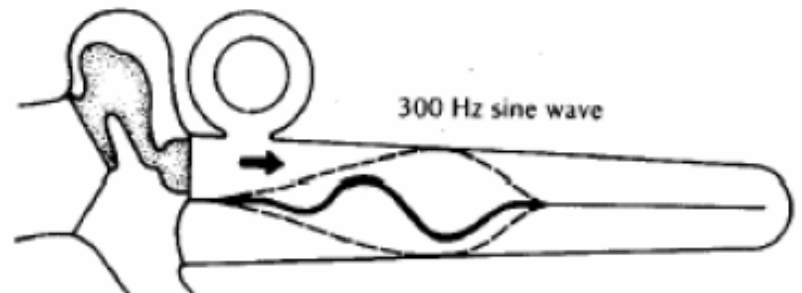
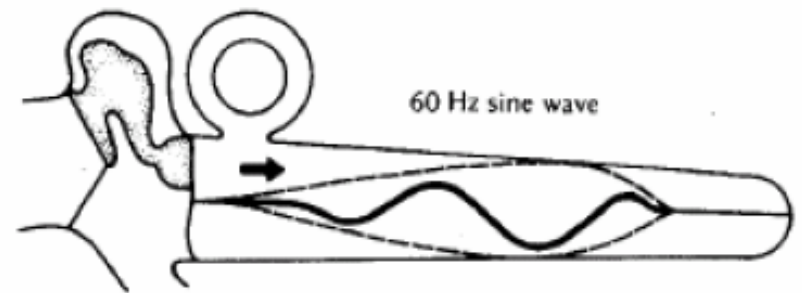
Aferentné spojenia z OHC:

- nemyelinované, je ich menej, funkcia nie je známa



# Mechanika pohybu kochley

- Pri prezentácii sínusového signálu sa niektoré časti BM vlnia viac, niektoré menej
- maximum vlnenia je závislé na frekvencii
  - čím bližšie k oválnemu okienku, tým odozva väčšia pre vyššie frekvencie
  - bližšie k špičke je odozva väčšia na nízke frekvencie
  - „traveling waves“ – postupujúce vlny



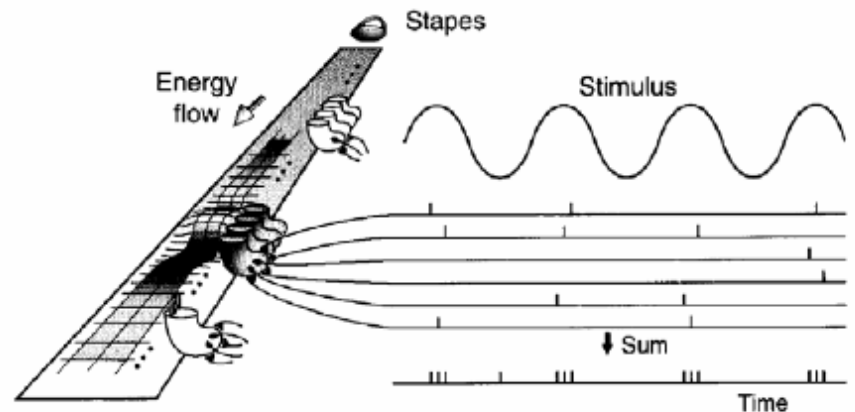
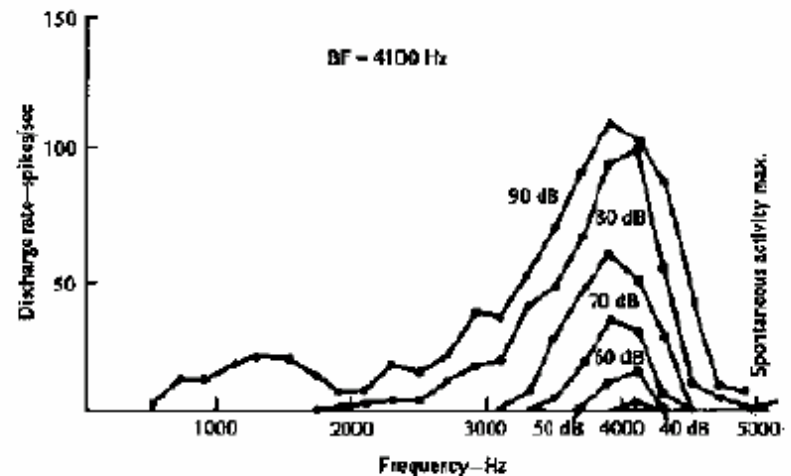
# Sluchový nerv

- privádza signály z kochley do kochleárneho nukleu
- 30.000 nervových vlákien (u človeka)

Vlastnosti:

- frekvenčná selektivita
- kódovanie: frekvencia impulzov vyjadruje intenzitu zvuku
- závislosť frekvencie pálenia na intenzite je nelineárna
- rast rýchlejšia na nižších frekvenciách

- pálenie má stochastický charakter – nie vždy pália všetky neuróny
- z každej vlásokovej bunky sa ale šíri niekoľko vlákien
- toto „populačné kódovanie“ poskytuje presné informácie o počutí zvuku

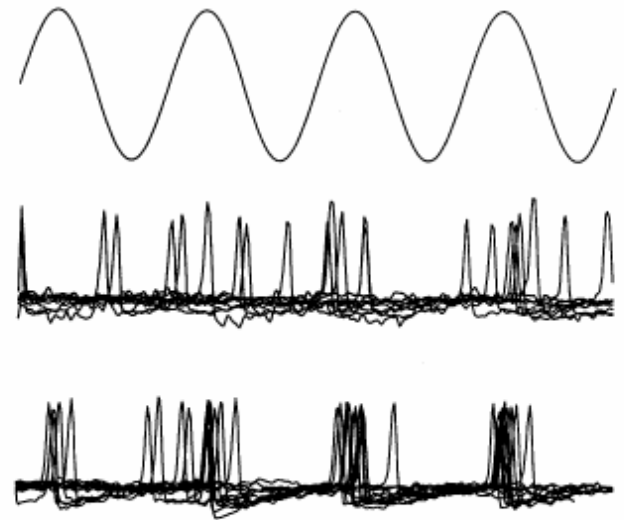


# Sluchový nerv – fázový záves (phase locking)

Pre nízkofrekvenčné zvuky (do 5 kHz) neuróny pália väčšinou v určitej fáze periódy signálu

Miera synchronizácie medzi fázou a impulzmi sa nazýva index synchronizácie.

Synchronizácia klesá pre zvuky vyššie ako 1 kHz. Nad 5 kHz je táto miera rovná šumovému prahu merania.



# Centrální sluchový systém - části

V angličtině:

CN: cochlear nucleus

- DCN: dorsal cochlear nucleus

- AVCN: anteroventral cochlear nucleus

MNTB: medial nucleus trapezoid body

SOC: superior olivary complexes

- LSO: lateral superior olive

- MSO: medial superior olive

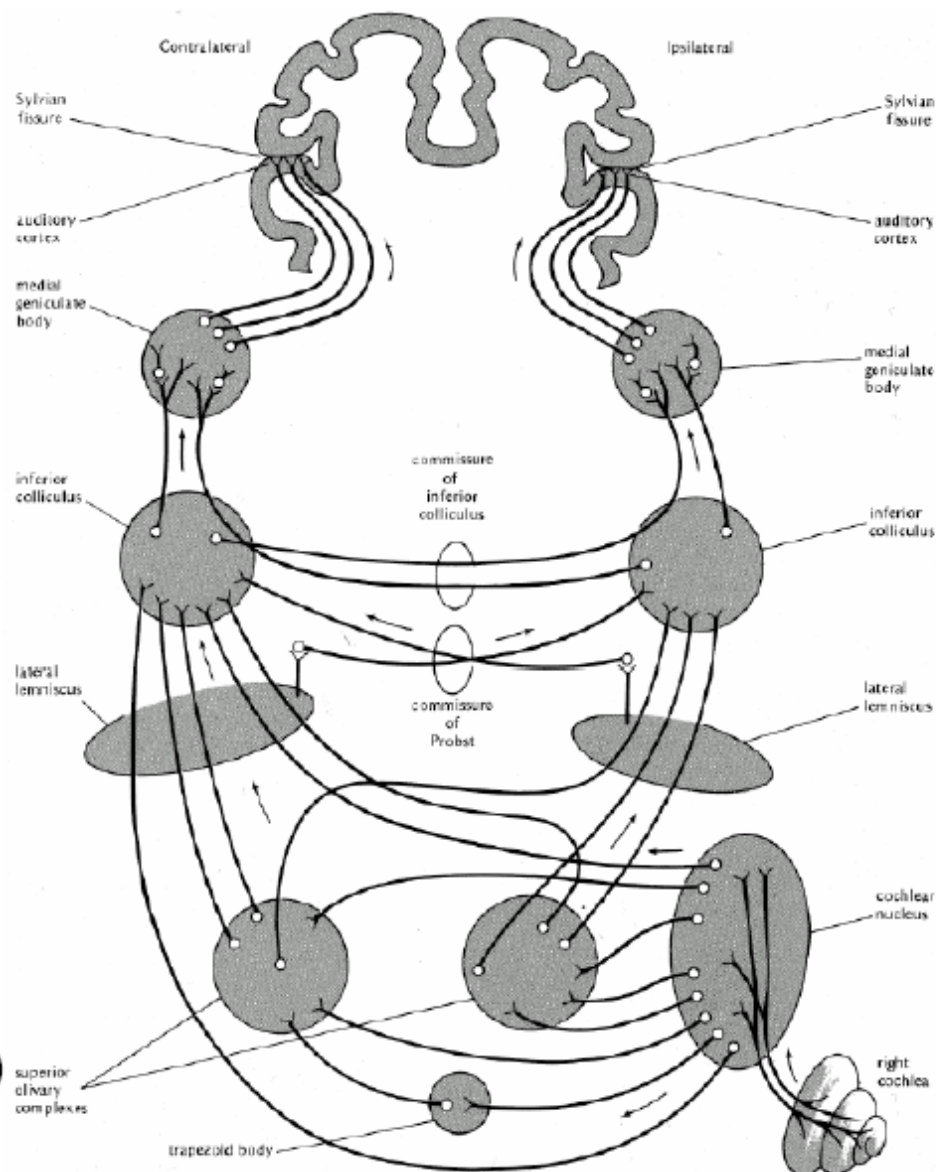
LL: lateral lemniscus

IC: inferior colliculus

MGB: medial geniculate body

SC: superior colliculus (vynechaný)

AC: sluchový kortex



# Centrálny sluchový systém – kochleárny nukleus

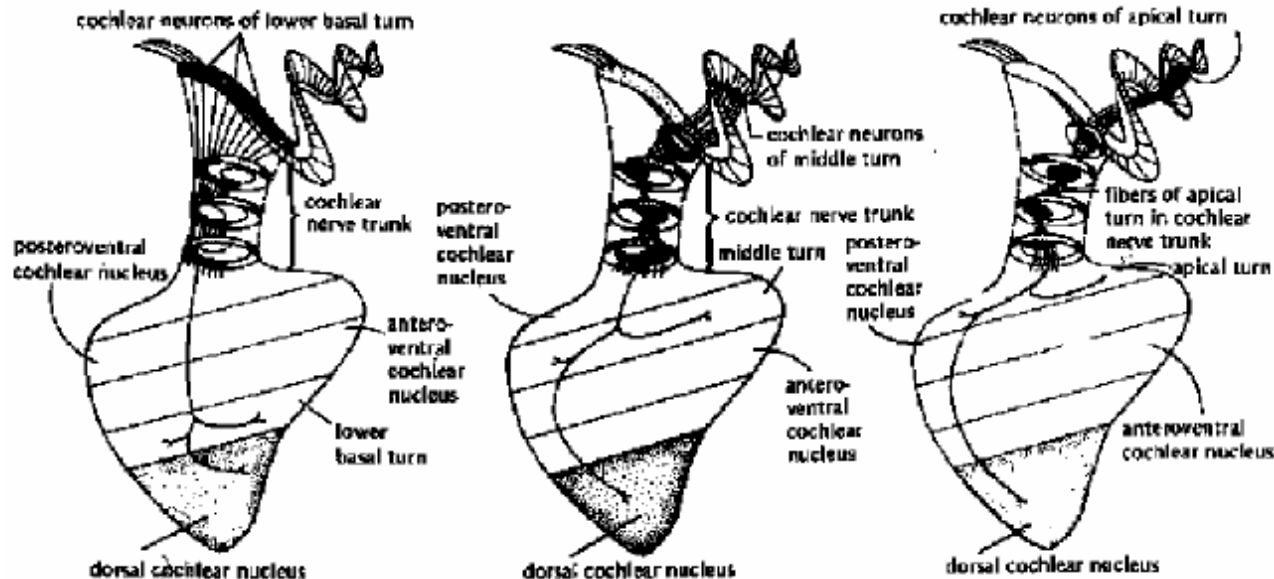
-povinná oblasť (prechádzajú ňou všetky vzruchy)

Anatómia

-tri časti (AVCN, PVCN, DCN)

-každé nervové vlákno sa vetví a má zakončenie vo všetkých troch častiach

-funkcia zatiaľ nie je jasná – veľa buniek je takmer deterministických, odpália vždy pri podnete a zachovávajú synchronnosť

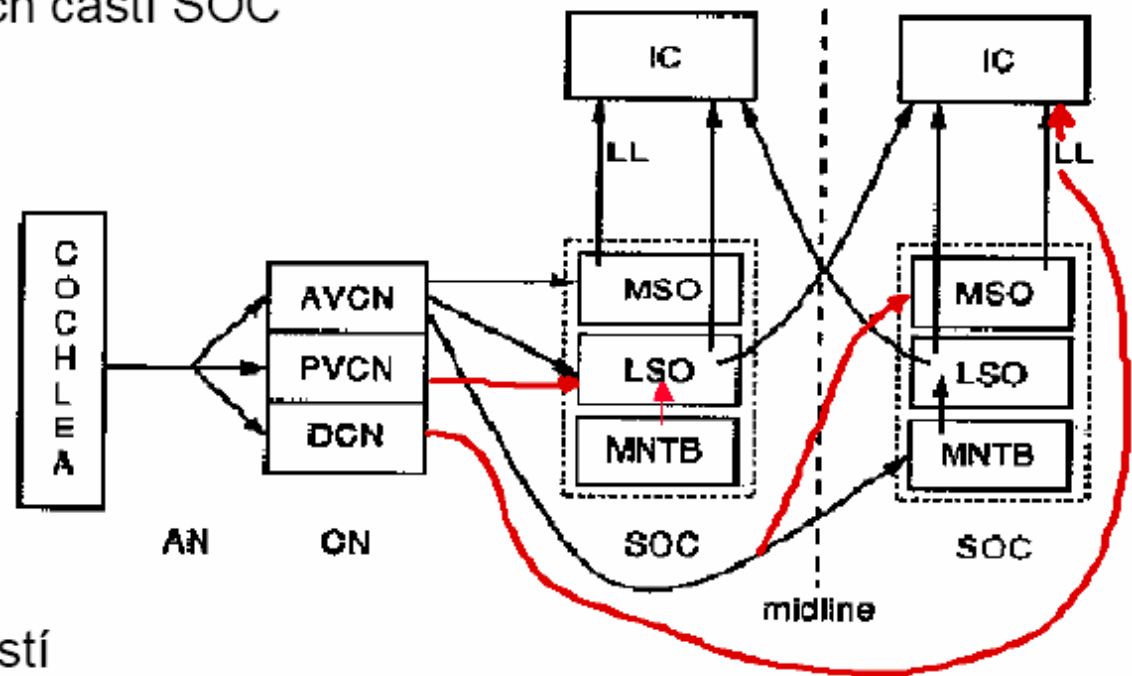


# Centrálny sluchový systém – Binaurálne dráhy

Projekcie z CN do odlišných častí SOC

Hlavné dráhy:

- AVCN -> ipsi MSO
- AVCN -> contra MSO
- AVCN -> ipsi LSO
- AVCN -> contra MNTB  
-> contra LSO
- DCN -> contra LL -> IC



Frekvenčné odlíšenie oblastí

**MSO:** - projekcie z ipsi- a contralaterálneho AVCN

- hlavne nízkofrekvenčné
- silný fázový záves (silnejší než v AN!)
- EE neuróny (excitačný/excitačný)

**LSO:** - projekcie z ipsi AVCN a z contra AVCN cez MNTB

- väčšinou vysokofrekvenčné
- IE neuróny (inhibičné/excitačné)