



UNIVERZITET U NIŠU
FAKULTET ZAŠTITE NA RADU U NIŠU



BUKA I VIBRACIJE

- PREZENTACIJA PREDAVANJA -

PERCEPCIJA ZVUKA

Dr Darko Mihajlov, vanr. prof.

Dr Momir Praščević, red. prof.

PERCEPCIJA ZVUKA

SADRŽAJ

- ♦ Definicija percepcije;
- ♦ Organ sluha – spoljašnje, srednje i unutrašnje uvo;
- ♦ Raspodela energije zvuka na bazilarnoj membrani;
- ♦ Prenos i obrada zvučnih informacija;
- ♦ Frekvencijski opseg čujnosti;
- ♦ Dinamički opseg čujnosti.



BUKA I VIBRACIJE

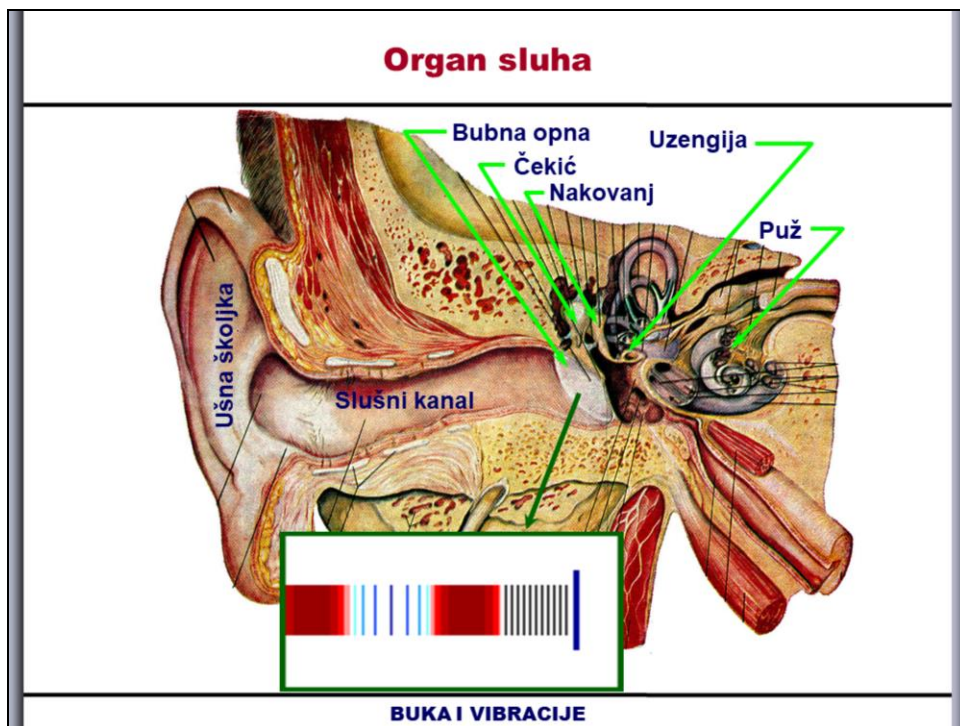
Definicija percepcije



BUKA I VIBRACIJE

Perceptio - primanje ili opažanje.

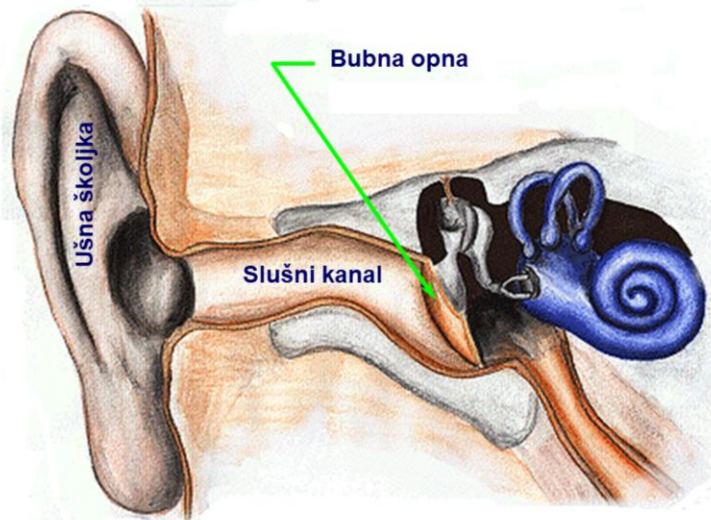
Prema jednoj od definicija, **percepcija** je nesvesni proces kojim mozak organizuje podatke dospele od strane raznih čula, a zatim ih interpretira stvarajući smislenu celinu.



Organ sluha čine spoljašnje, srednje i unutrašnje uvo, sa sledećim elementima:

1. Ušna školjka,
2. Slušni kanal,
3. Bubna opna,
4. Slušne koščiце (čekić, nakovanj, uzengija),
5. Puž.

Organ sluha – spoljašnje uvo



BUKA I VIBRACIJE

Spoljašnje uvo čine:

1. Ušna školjka,
2. Slušni kanal i
3. Bubna opna.

Organ sluha – spoljašnje uvo



Ušna školjka - osnovne funkcije:

- ♦ Prikupljanje zvučne energije na ulazu u slušni kanal i usmeravanje ka slušnom kanalu;
- ♦ Bolja orijentacija u prostoru;
- ♦ Sprečavanje povratnog dejstva sopstvenog glasa.

BUKA I VIBRACIJE

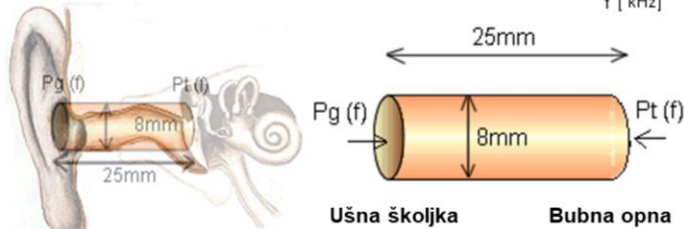
Ušna školjka - osnovne funkcije:

1. Prikupljanje zvučne energije na ulazu u slušni kanal i usmeravanje ka slušnom kanalu;
2. Bolja orijentacija u prostoru;
3. Sprečavanje povratnog dejstva sopstvenog glasa.

Organ sluha – spoljašnje uvo

Slušni kanal - osnovne karakteristike:

- ♦ Dužina: 25 do 27 mm, površina poprečnog preseka: 30 do 35 mm².
- ♦ Kroz kanal se prostiru longitudinalni talasi.
- ♦ Zajedno sa ušnom školjkom čini sklop sličan levku sa rezonatorskim osobinama.
- ♦ Pojačava zvuk na srednjim i visokim frekvencijama.

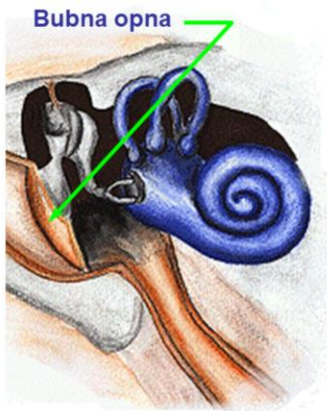


BUKA I VIBRACIJE

Slušni kanal - osnovne karakteristike:

- Dužina: 25 do 27 mm, površina poprečnog preseka: 30 do 35 mm².
- Kroz kanal se prostiru longitudinalni talasi.
- Zajedno sa ušnom školjkom čini sklop sličan levku sa rezonatorskim osobinama.
- Pojačava zvuk na srednjim i visokim frekvencijama.

Organ sluha – spoljašnje uvo



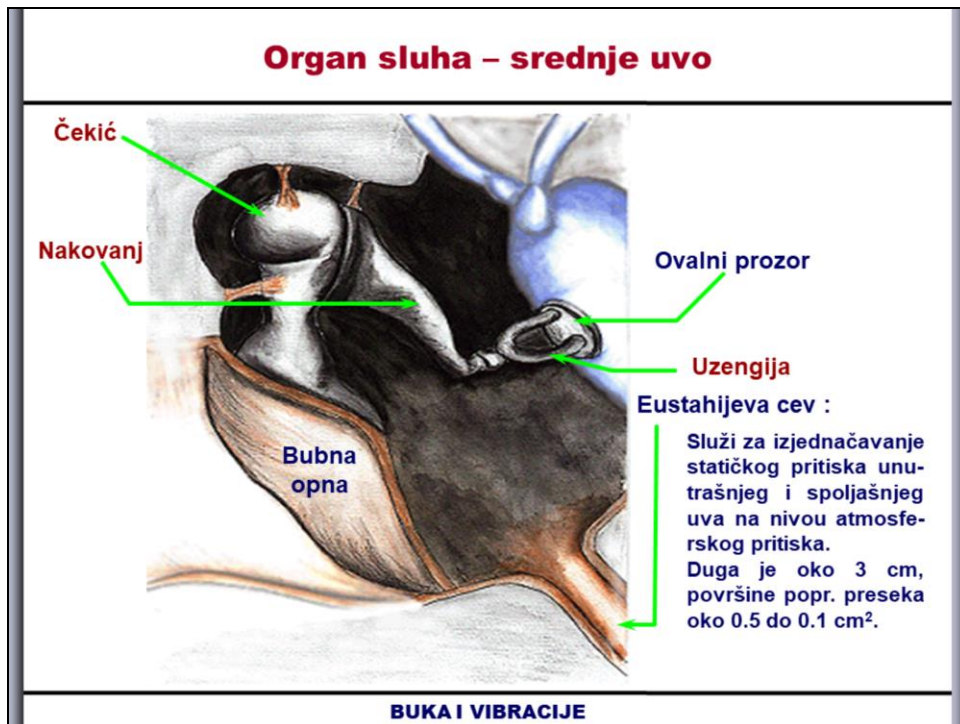
Bubna opna - osnovne karakteristike:

- ♦ Vrší prijem, transformaciju i prenos zvučne energije iz spoljašnjeg uva ka srednjem uvu.
- ♦ Eliptična membrana debljine oko 0.1 mm : veća osa elipse 1 cm, manja osa 0.85 cm.
- ♦ Rezonantna frekvencija između 1.2 kHz i 1.4 kHz.

BUKA I VIBRACIJE

Bubna opna - osnovne karakteristike:

- Vrší prijem, transformaciju i prenos zvučne energije iz spoljašnjeg uva ka srednjem uvu.
- Eliptična membrana debljine oko 0.1 mm: veća osa elipse 1 cm, manja osa 0.85 cm.
- Rezonantna frekvencija između 1.2 kHz i 1.4 kHz.



Srednje uvo – osnovni delovi:

1. Čekić,
2. Nakovanj,
3. Uzengija.

Eustahijeva cev služi za izjednačavanje statičkog pritiska unutrašnjeg i spoljašnjeg uva na nivou atmosferskog pritiska. Duga je oko 3 cm, površine popr. preseka oko 0.5 do 0.1 cm².

Organ sluha – srednje uvo

Srednje uvo - osnovne funkcije:

- ♦ Verodostojan prenos i pojačanje zvučnog signala iz slušnog kanala do unutrašnjeg uva.
- ♦ Zaštita za osetljive delove unutrašnjeg uva od naglog prodiranja zvučnih oscilacija velikog intenziteta.



BUKA I VIBRACIJE

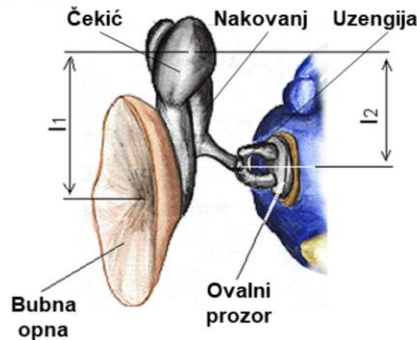
Srednje uvo - osnovne funkcije:

- Verodostojan prenos i pojačanje zvučnog signala iz slušnog kanala do unutrašnjeg uva.
- Zaštita za osetljive delove unutrašnjeg uva od naglog prodiranja zvučnih oscilacija velikog intenziteta.

Organ sluha – srednje uvo

Sistem slušnih koščica (čekić-nakovanj-uzengija) – osnovne funkcije:

- ♦ Premošćuje šupljinu srednjeg uva - povezuje bubnu opnu i ovalni prozor.
- ♦ Vršiti prilagođavanje male impedanse vazduha u slušnom kanalu i velike impedanse limfne tečnosti u srednjem uvu, čime se obezbeđuje potpun prenos energije zvuka.



BUKA I VIBRACIJE

Osnovne funkcije sistema slušnih koščica:

- Premošćuje šupljinu srednjeg uva - povezuje bubnu opnu i ovalni prozor.
- Vršiti prilagođavanje male impedanse vazduha u slušnom kanalu i velike impedanse limfne tečnosti u srednjem uvu, čime se obezbeđuje potpun prenos energije zvuka.

Rezonatna frekvencija sistema slušnih koščica iznosi 1.2 kHz.

Prva slušna koščica, **čekić** ($m = 23 \text{ mg}$, $l = 6 \text{ mm}$), spojena je sa sredinom bubne opne, pa se sa njom zajedno pokreće usled zvučnih oscilacija u slušnom kanalu.

Oscilacije čekića se prenose na drugu slušnu koščicu - **nakovanj** ($m = 27 \text{ mg}$, $l = 7 \text{ mm}$), koja je povezana sa trećom slušnom koščicom - **uzengijom** ($m = 2.5 \text{ mg}$, $l = 4 \text{ mm}$).

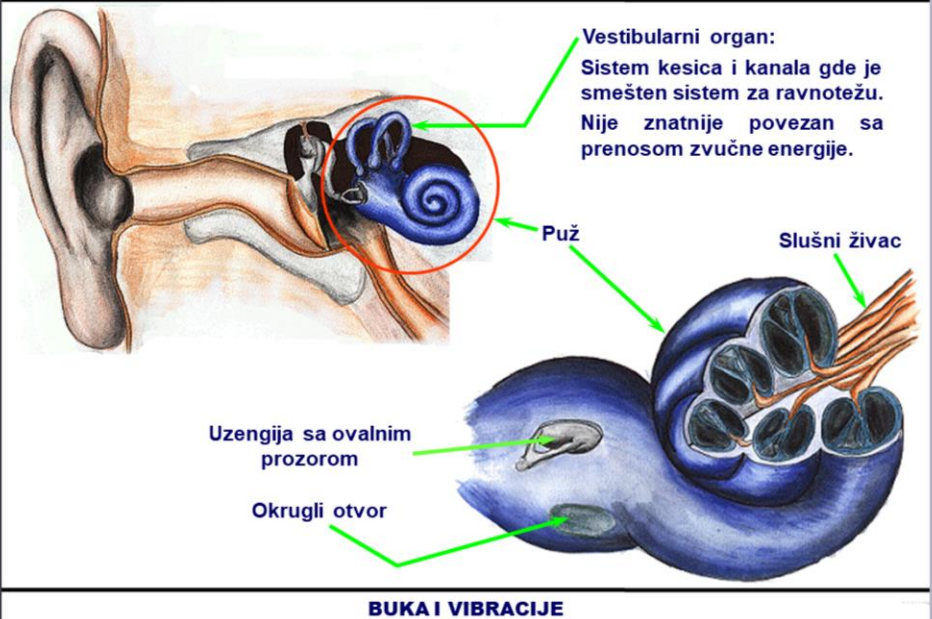
Uzengija je povezana sa **ovalnim prozorom**, što omogućuje prenos energije zvuka do unutrašnjeg uva.

Mehanička sila sa bubne opne se putem slušnih koščica povećava na ovalnom prozoru između 35 i 80 puta. Ovako veliko pojačanje potiče od odnosa površina bubne opne i ovalnog prozora ($80 \text{ mm}^2 : 3 \text{ mm}^2$).

Na frekvenciji zvuka od 100 Hz, **zvučni pritisak** u unutrašnjem uvu je 10 puta veći od zvučnog pritiska na bubnoj opni.

Na frekvencijama između 200 i 2400 Hz pojačanje zvučnog pritiska iznosi 15 puta.

Organ sluha – unutrašnje uvo



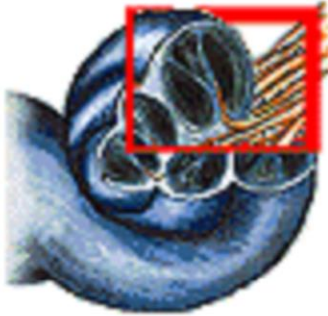
Unutrašnje uvo čini puž (kohlea).

Vestibularni organ predstavlja sistem kesica i kanala gde je smešten sistem za ravnotežu.

Vestibularni organ nije znatnije povezan sa prenosom zvučne energije.

Organ sluha – unutrašnje uvo

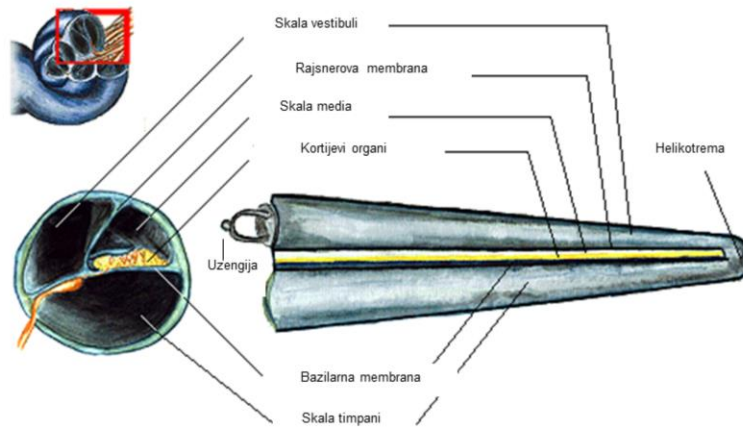
Puž (kohlea)



BUKA I VIBRACIJE

Puž (kohlea) je koštani kanal debljine 1 – 2 mm, dužine 32 – 35 mm, savijen 2.5 puta u obliku pužastog tela, okruglog poprečnog preseka koji se od 3.3 cm² na početku sužava idući prema kraju.

Organ sluha – unutrašnje uvo



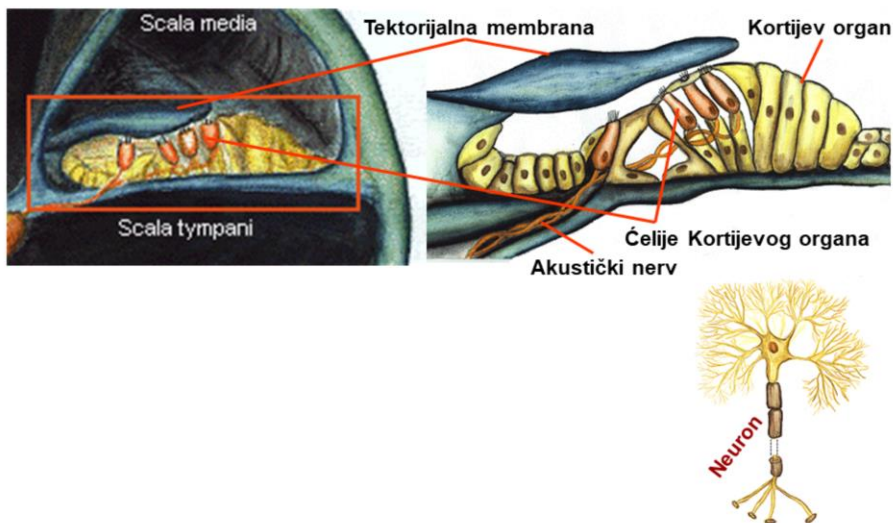
BUKA I VIBRACIJE

Kanal je podeljen po celoj dužini **bazilarnom** i **Rajsnerovom membranom** na tri dela:

1. **skalu vestibuli**,
2. **skalu timpani** i
3. **skalu media**.

Na vrhu kanala se nalazi otvor - **helikotrema** koji spaja donji i gornji kanal. Ova dva kanala hidrodinamički funkcionišu kao jedan kanal jer je Rajsnerova membrana veoma tanka.

Organ sluha – unutrašnje uvo

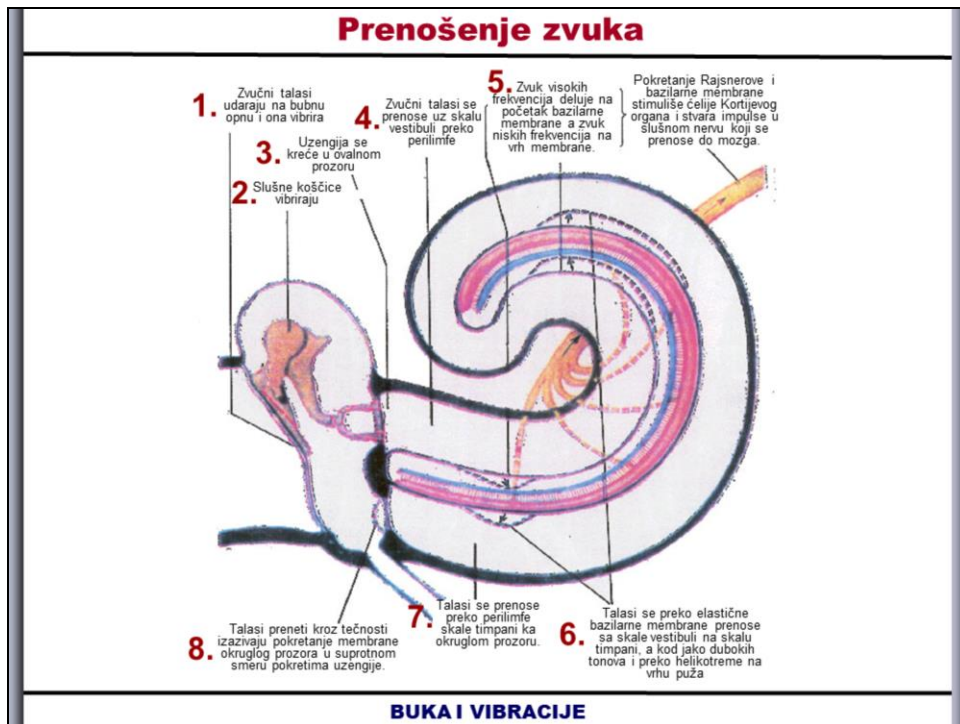


BUKA I VIBRACIJE

Iznad bazilarne membrane se nalazi sam pretvarač - **Kortijev organ**, koji se sastoji od oko 23 500 ćelija.

Iz svake ćelije vire po tri dlačice u kojima se nalaze završeci akustičkih nerava koji vode do mozga.

Neposredno iznad ćelija se nalazi **tektorijalna membrana** koja izaziva savijanje dlačica kada se pomera bazilarna membrana. Savijanje dlačica pretvara pomeranje čestica u nervne (električne) impulse koji se preko nervnog snopa prenose brzinom od 30 m/s do mozga koji ih analizira.



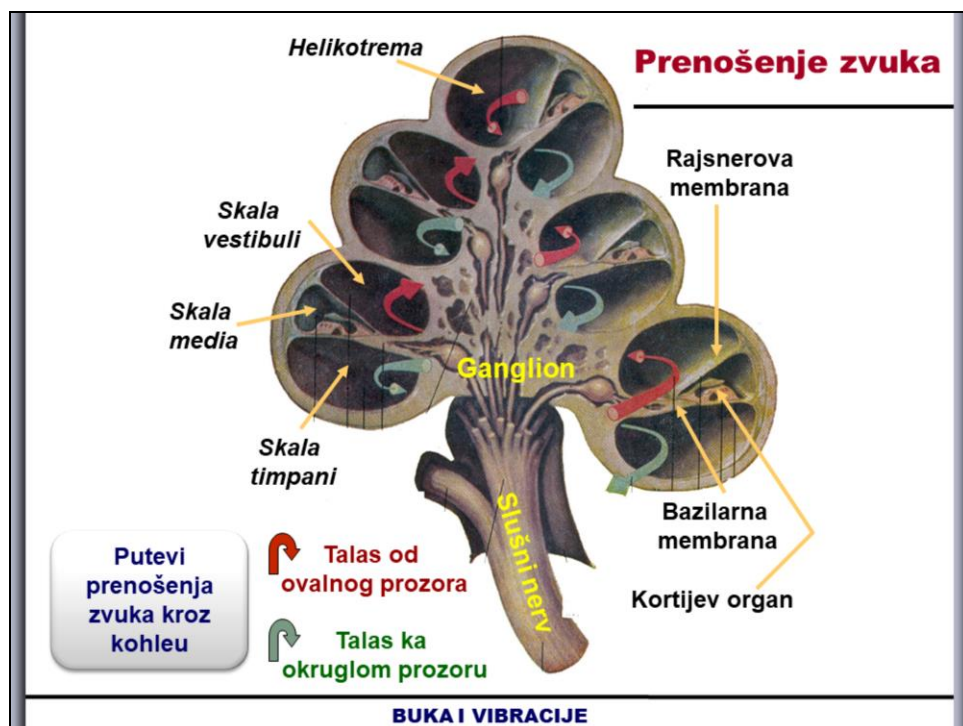
Prenošenje zvuka je proces koji se sastoji iz osam faza:

1. Zvučni talasi udaraju na bubnu opnu i ona vibrira.
2. Slušne koščiće vibriraju.
3. Uzengija se kreće u ovalnom prozoru.
4. Zvučni talasi se prenose uz skalu vestibuli preko perilimfe.
5. Zvuk visokih frekvencija deluje na početak bazilarne membrane a zvuk niskih frekvencija na vrh membrane.

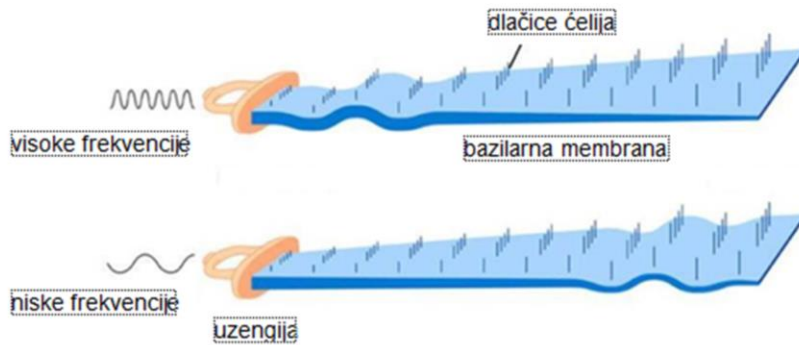
Pokretanje Rajsnerove i bazilarne membrane stimuliše ćelije Kortijevog organa i stvara impulse u slušnom nervu koji se prenose do mozga.

Generisanje impulsa zavisi od veličine pomeraja bazilarne membrane, odnosno jačine signala, dok frekvencija signala određuje broj impulsa koji generiše jedna ćelija. Ćeliji treba 1 do 3 ms da se osposobi za novo okidanje, tako da broj impulsa iznad 500 Hz ne raste srazmerno frekvenciji, pa je mozgu potrebna dodatna informacija za zaključivanje o frekvenciji.

6. Talasi se preko elastične bazilarne membrane prenose sa skale vestibuli na skalu timpani, a kod jako dubokih tonova i preko helikotrema na vrhu puža.
7. Talasi se prenose preko perilimfe skale timpani ka okruglom prozoru.
8. Talasi preneti kroz tečnosti izazivaju pokretanje membrane okruglog prozora u suprotnom smeru pokretima uzengije.



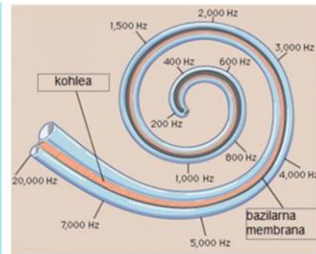
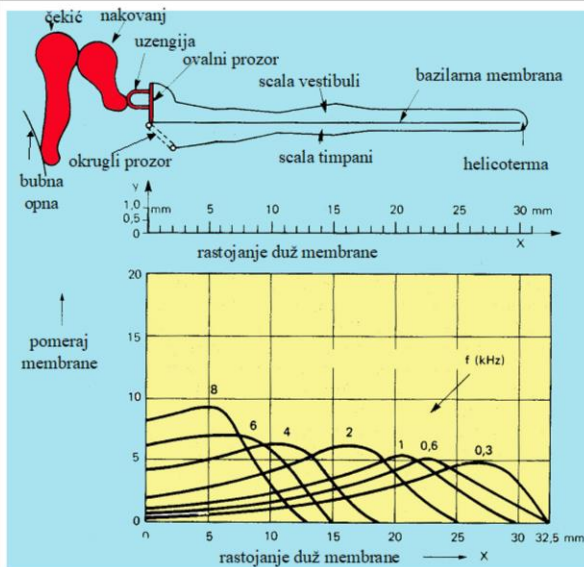
Raspodela energije zvuka na bazilarnoj membrani



BUKA I VIBRACIJE

Bazilarna membrana je na početnom delu debela, kruta i zategnuta, a na kraju je tanka i elastična. Zbog toga, visoke frekvencije izazivaju najveće pomeraje na početnom, a niske na završnom delu membrane.

Raspodela energije zvuka na bazilarnoj membrani



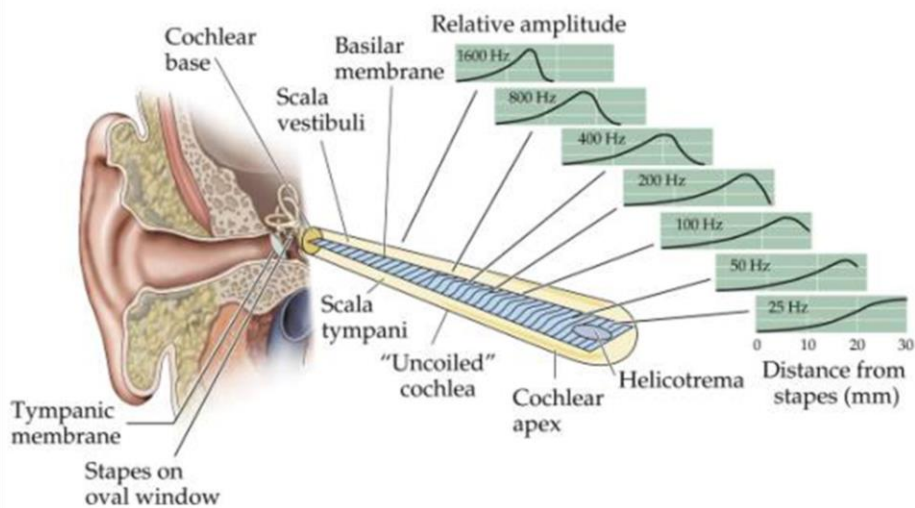
BUKA I VIBRACIJE

Maksimalni pomeraj bazilarne membrane se javlja na različitim mestima za različite frekvencije pobudnog signala.

Maksimalna amplituda se pomera ka ovalnom prozoru za više frekvencije.

Na ovaj način se složeni zvučni signal prostorno razlaže u sinusne komponente (**spektralni analizator**), čime se mozgu daje dodatna informacija o frekvenciji signala.

Raspodela energije zvuka na bazilarnoj membrani



BUKA I VIBRACIJE

Bazilarna membrana ne osciluje samo na mestu maksimalne pobude, već se njeno oscilovanje proteže na šire područje čija širina zavisi od jačine i frekvencije signala.

Raspodela energije zvuka na bazilarnoj membrani

The diagram illustrates the path of sound energy from the external ear to the brain. It is divided into three main sections: **spoljašnje uvo** (external ear), **srednje uvo** (middle ear), and **unutrašnje uvo** (internal ear).

- spoljašnje uvo**: Shows sound waves entering the **slušni kanal** (auditory canal), which has a radius $r = 50 \mu\text{s}$. The distance from the ear entrance to the eardrum is **18 mm**. The **membrana bubne opne** (eardrum) is shown.
- srednje uvo**: Shows the sound waves passing through the **uzungija ovalni prozor** (oval window) into the **scala vestibuli**. The radius here is $r = 35 \mu\text{s}$. The **mišići** (muscles) are shown with a time constant $\tau = 300 \text{ ms}$.
- unutrašnje uvo**: Shows the sound waves traveling along the **bazilarna membrana** (basilar membrane). The distance along the membrane is labeled **rastojanje duž membrane** with a scale from 0 to 30 mm. The **scala timpani** (radius $r = 30 \mu\text{s}$) and **helicotrema** are also indicated.

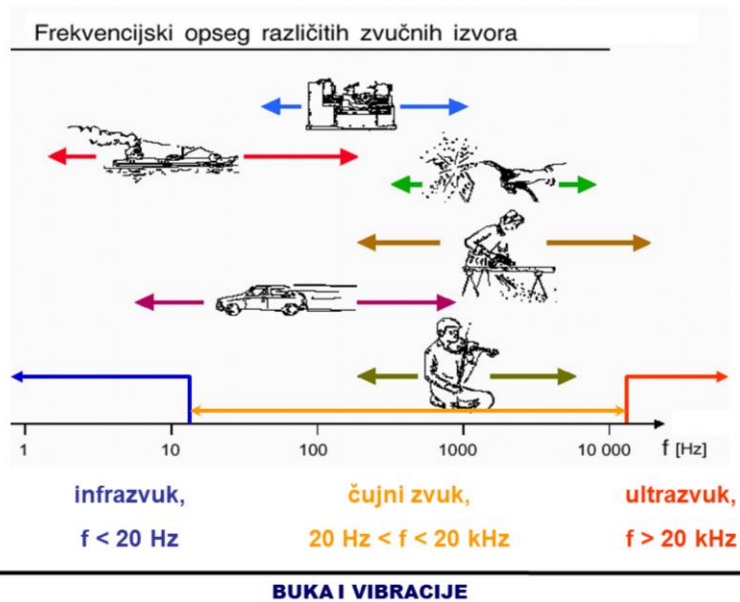
A frequency spectrum is shown on the right, with frequencies ranging from **10 kHz** down to **100 Hz**. The **mozak** (brain) is shown with a time constant $\tau = 35 \text{ ms}$.

Šematski prikaz prenosa i obrade zvučnih informacija

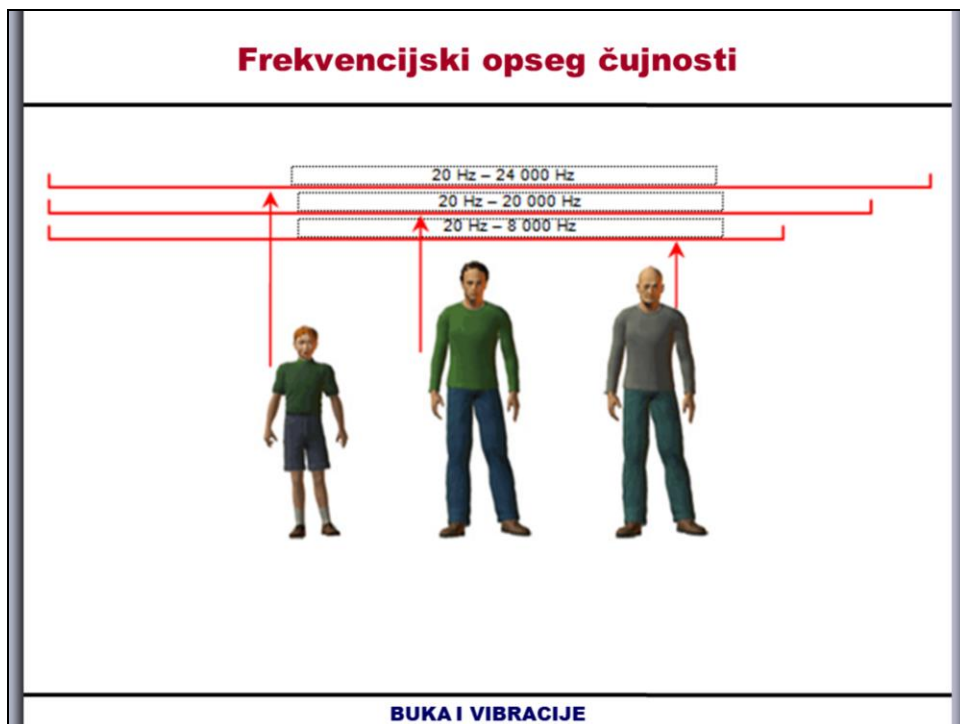
BUKA I VIBRACIJE

Energija zvuka je na niskim frekvencijama raspoređena po celoj dužini membrane, dok se energija zvuka na visokim frekvencijama koncentriše u delu membrane blizu ovalnog prozora.

Frekvencijski opseg čujnosti



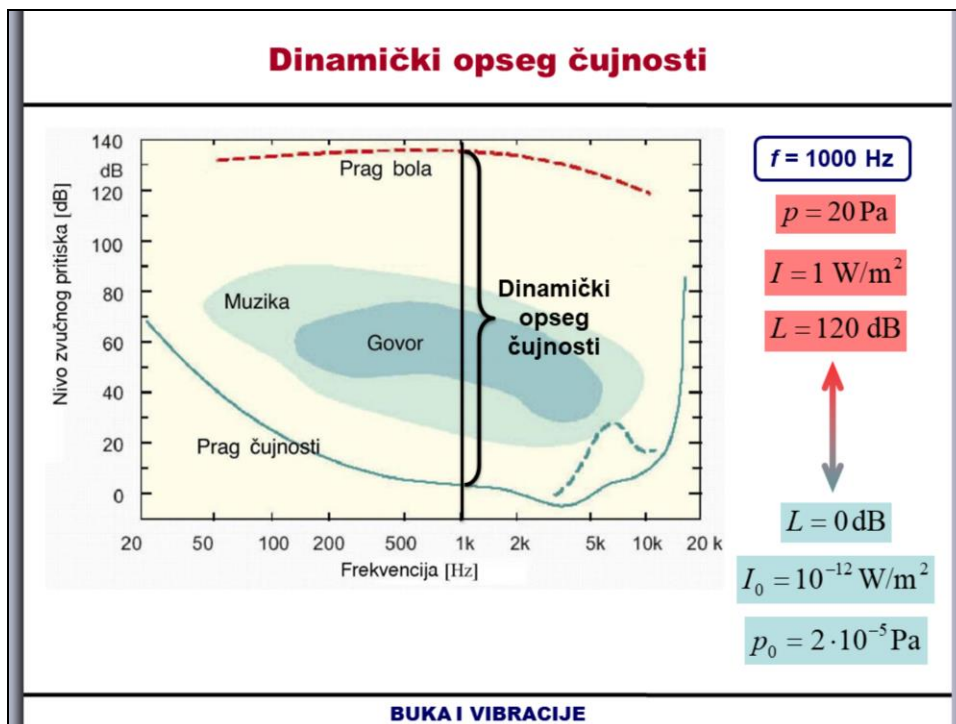
Frekvencijski opseg zvučnih signala koje generišu različiti izvori zvuka je veoma širok. Ovaj opseg obuhvata područje infrazvuka, čujnog zvuka i ultrazvuka.



Čujni zvuk pokriva frekvencijski opseg koji ljudsko uvo može da registruje.

Frekvencijski opseg čujnosti se za tipične osobe kreće od 20 Hz do 20 kHz.

Mlađe osobe mogu ponekad da čuju i frekvencije veće od 20 kHz, dok osobe starije od 50 godina retko čuju frekvencije veće od 15 kHz, a ponekad i ne veće od 8 kHz.



Zahvaljujući velikom dinamičkom opsegu, ljudsko uvo može da registruje zvučne signale u opsegu od praga čujnosti do praga bola.

Prag čujnosti predstavlja najniži zvučni pritisak (intenzitet zvuka) koji ljudsko uvo može da registruje. Prag čujnosti zavisi od frekvencije i predstavlja se krivom praga čujnosti. Prag čujnosti na 1000 Hz ima vrednosti p_0 i I_0 .

Na ostalim frekvencijama prag čujnosti zavisi od frekvencije:

- Na niskim frekvencijama se pobuđuje cela bazilarna membrana, pa je potrebna veća energija za njeno pokretanje, tako da je **prag čujnosti viši**.
- Na višim frekvencijama se pobuđuje samo deo bazilarne membrane koji može da pokrene manji deo energije, tako da je **prag čujnosti niži**, izuzev na veoma visokim frekvencijama.

Prag bola predstavlja najviši zvučni pritisak p ili intenzitet zvuka I koji ljudsko uvo može da registruje a da ne dođe do oštećenja organa sluha i neprijatnog osećaja bola. Prag bola zavisi od frekvencije i predstavlja se **krivom praga bola**.

Pragu bola na 1000 Hz odgovara vrednost za zvučni pritisak koja je za 10^6 puta veća od praga čujnosti (za intenzitet zvuka: 10^{12} puta).

Dinamički opseg čujnosti ljudskog uva za zvuk frekvencije 1000 Hz obuhvata vrednosti za zvučni pritisak, intenzitet zvuka i nivo zvuka između praga čujnosti i praga bola.

Pitanja za proveru znanja



1. Navesti delove organa sluha.
2. Navesti osnovne delove i funkcije spoljašnjeg uva.
3. Navesti osnovne delove i funkcije srednjeg uva.
4. Navesti osnovne delove i funkcije unutrašnjeg uva.
5. Objasniti raspodelu energije zvuka na bazilarnoj membrani.
6. Kako se vrši prenos i obrada zvučnih informacija?
7. Definirati frekvencijski opseg čujnosti.
8. Šta predstavlja prag čujnosti?
9. Šta predstavlja prag bola?
10. Definirati dinamički opseg čujnosti.

BUKA I VIBRACIJE