

## BIOFIZICA RECEPTIEI AUDITIVE

### INTRODUCERE

După receptorul vizual receptorul auditiv este al doilea sistem, din punct de vedere al cantității de informație, ce asigură informația din mediul exterior. Ca orice sistem de recepție el are trei funcții majore: recepția propriu-zisă, transmiterea spre sistemul central, stocarea și analiza în acesta în vederea elaborării reacțiilor. Recepția, dar și multe din etapele complexe de prelucrare a informației, are loc în ureche transmisia spre sistemul central se face prin intermediul nervului auditiv iar stocarea și prelucrarea informației se face pe cortex într-unul din lobi. Tot aici se stabilesc reacțiile care sunt transmise prin intermediul fibrelor nervoase eferente. Dacă fibrele eferente determină modificări (adaptări) ale

receptorului extern are loc o reacție inversă (feed-back). Receptorii externi, sensibili la stimulii specifici, decodifică informațiile conținute de stimul și le recodifică (traducere). Prin fibrele nervoase informația circulă sub forma potențialelor de acțiune de tipul tot sau nimic (deci de amplitudine constantă independentă de caracteristicile stimulului). Stocarea informațiilor în cortex se poate face temporar (prin modificări electrice sau prin modificări chimice temporare) sau permanent (prin modificări chimice definitive)

### STRUCTURA URECHII

Structura generală este prezentată în figura 1.

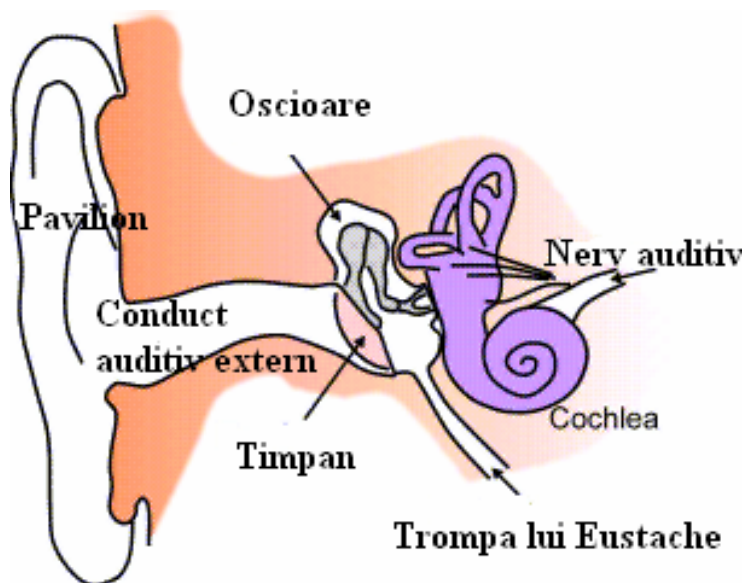


Fig. 1 Structura urechii

*Urechea externă* este formată din pavilion și conductul auditiv extern și are rolul de a capta undele sonore și de a le direcționa spre membrana timpanică. Aceasta este o membrană de formă elipsoidală iar în secțiune are formă conică cu vârful spre interior și vibrează sub acțiunea sunetelor. Membrana timpanică are o inerție mică astfel încât vibrațiile ei încetează aproape imediat ( $4 \cdot 10^{-3}$ s) ce încetează sunetul permițând distingerea separată a sunetelor succesive. Pavilionul, prin forma sa, permite determinarea cu mare precizie a direcției din care vin sunetele (eroarea este de 3-4")

*Urechea medie* este o cavitate în osul temporal aflată între membrana timpanică și peretele intern. În peretele intern, ce asigură comunicarea cu urechea internă, se găsesc două orificii fereastra ovală în partea superioară și fereastra rotundă în partea inferioară. În partea inferioară a urechii medii se găsește un canal, trompa lui Eustache ce asigură comunicarea cu cavitatea nazofaringeană permițând egalizarea presiunilor internă și externă ce se exercită asupra timpanului. Trompa lui Eustache este, în mod obișnuit, închisă nedeschizându-se decât când înghițim sau căscăm. De aceea în cazul variațiilor rapide de presiune (urcarea cu telefericul, zborul cu avionul) În interiorul urechii medii se găsește un sistem de oscioare: ciocanul, sprijinit pe timpan, nicovala și scărița sprijinită de fereastra

ovală. Oscioarele sunt articulate între ele și acționate de mușchi proprii. Ele au atât rolul de a transmite undele sonore dinspre urechea externă spre cea internă cât și acela de a atenua sau amplifica vibrațiile. Prin contracția mușchiului ciocanului diminuează amplitudinea vibrațiilor în timp ce contracția mușchiului scăriței duce la amplificarea oscilațiilor. Acest mecanism intervine în adaptarea urechii la intensități diferite ale sunetelor.

*Urechea internă* conține **labirintul osos** și **labirintul membranos**. În labirintul osos se găsește perilimfa iar în cel membranos endolimfa. Ambele lichide au rolul de a transmite undele sonore.

Labirintul osos conține: vestibulul osos, 3 canale semicirculare orientate în trei planuri perpendiculare între ele unul fiind orizontal și melcul osos (cochleea). Vestibulul osos este situat central și comunică prin intermediul ferestrelor ovală și rotundă cu urechea medie. El comunică de asemenea cu melcul osos și cu cele 3 canale semicirculare. Canalele semicirculare prezintă o extremitate mai dilatată (ampula). Melcul osos este situat anterior față de vestibul și este format dintr-un canal osos de aproximativ 3 cm spiralat având 2,75- 3,5 spire în jurul unei coloane cilindrice conice. Grosimea lumenului se micșorează pe măsura spiralării.

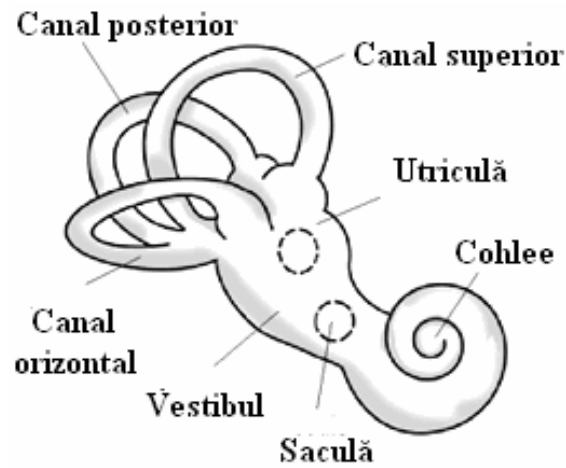


Fig. 2 Schema urechii interne

Canalul este împărțit de către lama osoasă și membrana bazilară în două rampe: vestibulară spre fereastra ovală și timpanică spre fereastra rotundă. Cele două comunică între ele la vârful melcului osos printr-un orificiu – helicotrema.

Labirintul membranos este alcătuit din: utricula și sacula, 3 canale membranoase și melcul membranos. Utricula și sacula sunt vezicule situate în vestibulul osos și care comunică între ele.

La rândul ei sacula este în legătură cu melcul membranos iar utricula cu cele 3 canale semicirculare membranoase. Melcul membranos este de fapt canalul cohlear și conține endolimfă. El conține organul Corti fixat pe toată lungimea membranei bazilare. Organul Corti conține celule ciliate și celule de susținere.

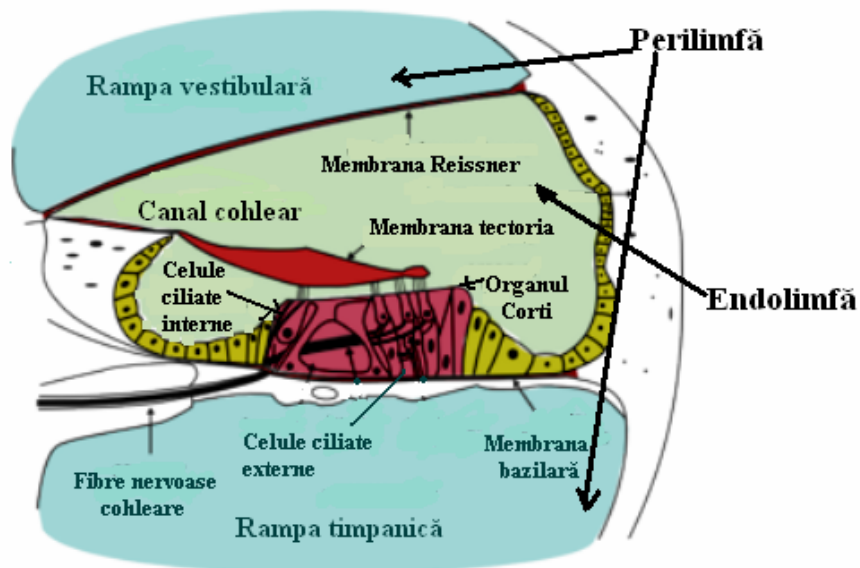


Fig. 3 Schema secțiunii prin cohlee

Celulele ciliate sunt de două tipuri: interne și externe. Sunt circa 3.500 celule ciliate interne așezate într-un singur șir și circa 12.000 celule ciliate externe dispuse în trei șiruri. Cilii celulelor interne sunt liberi în endolimfă în timp ce cei ai celor externe vin în contact cu membrana tectoria. Principalul rol în transformarea vibrațiilor mecanice în potențiale de acțiune revine celulelor ciliate externe. Fiecare celulă ciliată este conectată prin intermediul sinapselor chimice cu mai multe fibre nervoase ale nervului auditiv. Membrana

bazilară se întinde pe toată lungimea cohleei și are lățimea crescătoare de la bază spre vârf având 0,01 mm la nivelul ferestrei ovale și 0,065 mm la nivelul helicotreinei. Aceasta face ca frecvența proprie de vibrație să fie mare la bază și mică la vârf. Astfel undele sonore de frecvențe mari (20 kHz) vor produce vibrații de amplitudine mare la baza membranei bazilare și pe măsura scăderii frecvenței maximul amplitudinii de oscilație se va apropia de vârf.

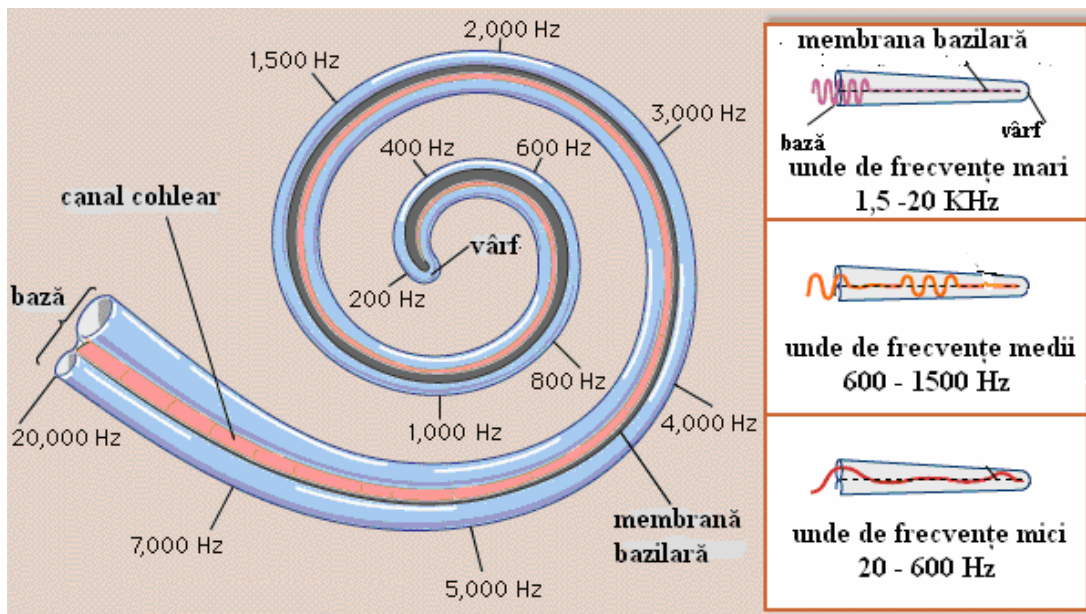


Fig. 4 Localizarea maximului amplitudinii oscilațiilor în cohlee

În stânga este prezentată localizarea frecvențelor proprii de vibrație ale membranei bazilare iar în dreapta vibrațiile produse în aceasta de către undele sonore prin rezonanță.

Urechea internă are două roluri funcționale majore:

1. orientarea spațială și menținerea echilibrului
2. transformarea vibrațiilor mecanice în potențiale de acțiune în nervul auditiv și codificarea caracteristicilor undelor sonore.

Primul rol este îndeplinit cu ajutorul labirintului membranos un rol esențial

jucându-l canalele semicirculare. Modificările de gravitație și de accelerație ale capului determină modificări în dinamica lichidelor din cele 3 canale semicirculare care, la rândul lor, acționează asupra cililor celulelor senzitive prezente atât în canalele semicirculare cât și în utriculă și saculă. Informațiile sunt apoi transmise prin intermediul nervului vestibular cerebelului care le transformă în cunoștințe privind poziția capului față de direcția accelerației gravitaționale și apoi în decizii de acțiune pentru păstrarea echilibrului.

A doua funcție va fi tratată în capitolul următor.

### **Prelucrarea informațiilor din undele sonore în analizorul auditiv**

În ureche natura și caracteristicile undei sonore nu se modifică până când aceasta nu ajunge la membrana bazilară. Aici are loc o separare a componentelor undei sonore în funcție de frecvență (analiză Fourier) iar la nivelul celulelor ciliate are loc și transformarea naturii informațiilor din informații de tip mecanic în informații de tip electric apoi chimic și în final din nou electric (potențiale de acțiune) la nivelul nervului auditiv.

În pavilionul urechii are loc dirijarea undei sonore spre conductul auditiv dar pavilionul joacă un rol esențial și în determinarea direcției din care vin sunetele. Unda sonoră care este sferică în

aer devine plană în conductul auditiv păstrându-și astfel densitatea de energie. Presiunea creată de unda sonoră determină vibrații ale membranei timpanice. Deoarece membrana timpanică are inerție mică vibrațiile ei vor reproduce vibrațiile aerului produse de unda sonoră. Prin intermediul timpanului vibrațiile sunt transmise celor 3 oscioare din urechea medie și apoi ferestrei ovale. Aici are loc o amplificare a presiunii exercitate de unda sonoră. Dat fiind faptul că aria membranei timpanice este de circa  $65 \text{ mm}^2$  iar cea a ferestrei ovale de circa  $2,5 \text{ mm}^2$  presiunea poate fi amplificată de aproximativ 29 de ori, la forțe aproximativ egale:

$$\frac{P_{\text{fereastră}}}{P_{\text{timpan}}} = \frac{S_{\text{timpan}}}{S_{\text{fereastră}}} \approx 29$$

Nivelul amplificării poate fi controlat prin intermediul mușchilor ce acționează ciocanul și scărița care pot modifica forța ce acționează asupra ferestrei ovale. Vibrațiile ferestrei ovale sunt transmise perilimfei din rampa vestibulară apoi prin helicotremă ajung în perilimfa din rampa timpanică și în cele din urmă ajung la fereastra ovală. Vibrațiile ferestrei ovale sunt în antifază cu cele ale aerului din urechea medie și cu cele ale ferestrei rotunde (când fereastra ovală este deformată maxim spre interior fereastra rotundă este deformată maxim spre exterior). Aceasta duce la o deformare mai mare a membranei bazilare echivalentă cu o amplificare suplimentară (de circa 6 dB).

Vibrațiile perilimfei se transmit și endolimfei dar determină și vibrații ale membranei bazilare. Localizarea amplitudinii maxime de vibrație pe membrana bazilară are loc, prin rezonanță acolo unde frecvența unei sonore coincide cu frecvența proprie de vibrație a membranei (vezi figura). Vibrațiile din endolimfă și deformarea membranei bazilare determină îndoirea cililor celulelor ciliate interne cu precădere a celor situate în regiunea de deformare maximă a membranei bazilare. Deformarea cililor determină deschiderea unor canale de potasiu și pătrunderea ionilor  $K^+$  (din endolimfa bogată în potasiu) în celula ciliată al cărei interior este la potențial negativ. Ca urmare are loc depolarizarea membranei celulare și eliberarea neurotransmițătorului (glutamat) în capătul celulei dinspre membrana bazilară unde se găsesc sinapsele cu fibrele nervoase asociate celulei respective. Mediatorul chimic produce stimularea neuronilor și apariția potențialelor de acțiune. Se observă că înălțimea undelor sonore (frecvența) este codificată spațial în membrana bazilară și tot spațial în nervul auditiv și apoi în cortex. Se pare că intensitatea sunetelor este codificată prin frecvența potențialelor de acțiune prin fibrele nervoase iar tonalitatea este obținută din ambele codificări pentru fiecare armonică.

*Localizarea poziției sursei de sunete* este apanajul audiției binauriculare. Am văzut că, prin intermediul pavilionului urechii putem determina cu precizie direcția din care provin sunetele. În audiția binauriculară se pot determina două direcții, ușor diferite, din care vin sunetele la cele două urechi. Aceasta se face determinând micile decalări temporale cu care ajung sunetele la cele două urechi. Evident sursa sunetului se va afla la intersecția celor două direcții astfel determinate. În practică se simulează spațialitatea sunetelor prin decalarea lor în căști (audiție stereofonică) sau în 2, 4, 5 +1 difuzoare (sunet spațial).