

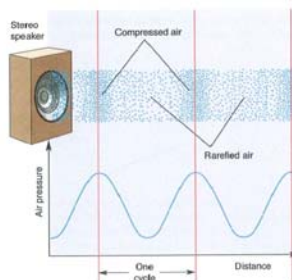
Il sistema uditivo

Chiara Della Libera

DSNV Università di Verona
 Sezione di Fisiologia Umana
 tel. 045 802 7198
 chiara.dellalibera@medicina.univr.it

1

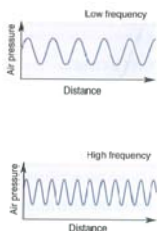
Il suono



- E' prodotto da variazioni nella pressione delle particelle d'aria.
- Compressione e decompressione dell'aria possono avvenire in modo periodico, dando origine ad un segnale con determinate proprietà di *frequenza* ed *ampiezza*.
- Le onde sonore si propagano ad una velocità costante, di circa 343 m/sec.

2

Le onde sonore: *frequenza*



- La frequenza dell'onda sonora determina l'altezza percepita del suono. Suoni ad alta frequenza (con maggiori regioni di aria compressa) sono percepiti come tonalità più alte, suoni a bassa frequenza come tonalità più basse.
- La gamma delle frequenze sonore udibili è compresa tra 20 e 20.000 Hz!

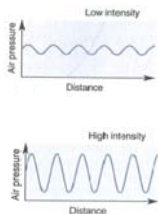
3

Infra- ed Ultrasuoni

- Onde pressorie al di fuori della gamma udibile sono chiamate infrasuoni (di frequenza inferiore a 20 Hz) o ultrasuoni (di frequenza superiore a 20 kHz).
- Questi stimoli, per noi non percepibili, possono essere uditi da altri animali!
- Il nostro corpo produce continuamente dei rumori di frequenza troppo bassa per essere avvertiti.

4

Le onde sonore: *ampiezza*



- L'ampiezza dell'onda sonora determina l'intensità percepita del suono. Suoni con ampiezza maggiore (con escursioni più ampie fra le zone di compressione e rarefazione dell'aria) sono percepiti come di volume più alto, suoni con ampiezza minore sono percepiti come di volume più basso.
- Siamo in grado di udire suoni entro una gamma di intensità talmente ampia che per poterla rappresentare è necessario usare una scala logaritmica: la scala *decibel*.

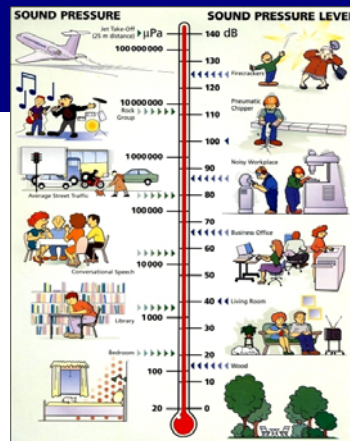
5

La scala decibel

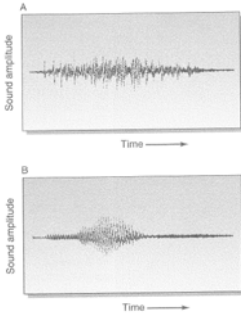
$$dB = 20 \log (p1/p0)$$

$p1$ = pressione del suono

$p0$ = pressione del suono minimo udibile, per convenzione 20 μ Pa



Suono e rumore (i)



- Ciò che tipicamente viene chiamato "rumore" è uno stimolo sonoro che contiene, randomizzate, tutte le frequenze possibili.
- Anche se la maggior parte dei suoni che udiamo sono composti da più frequenze, non li consideriamo "rumori", perché le frequenze non sono mescolate a caso!

7

Suono e rumore (ii)

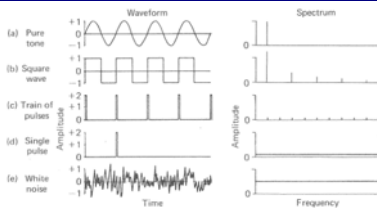
Where were you when the lights went out?



- La combinazione di onde a frequenza ed intensità diverse udite contemporaneamente conferisce a voci e strumenti musicali il loro *timbro* caratteristico ed individuale.

8

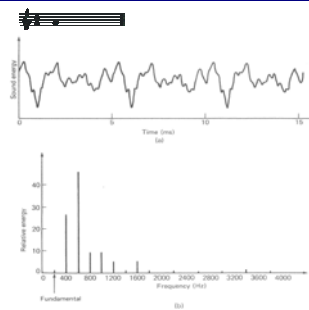
Suono e rumore (iii)



- I suoni che possono essere descritti attraverso una sola funzione sinusoidale sono detti *suoni puri*.

9

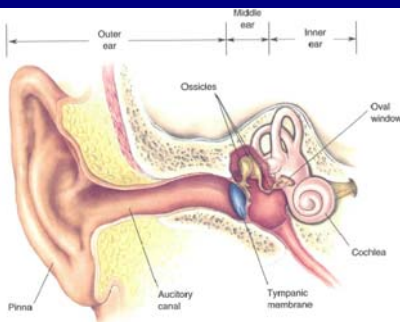
Suono e rumore (iv)



- Normalmente suoni e rumori descrivono onde molto complesse. Con l'analisi di Fourier si possono ottenere le onde sinusoidali che li compongono.
- La frequenza fondamentale è quella più bassa ottenibile dall'analisi di Fourier. Le altre frequenze sono multipli della fondamentale

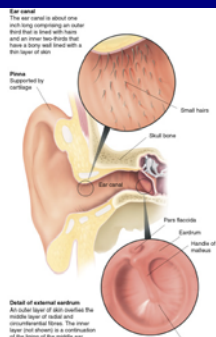
10

Dall'onda pressoria al suono



11

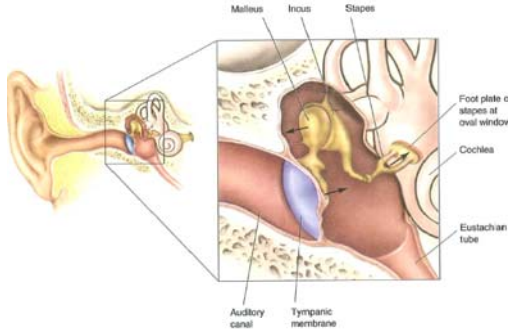
L'orecchio esterno: padiglione e canale auricolare



- La *pinna*, o la struttura cartilaginea del nostro padiglione auricolare, svolge l'importante funzione di dirigere le onde sonore verso il *canale auricolare*.
- A seconda della provenienza, il suono colpirà la pinna in modo diverso, permettendoci di inferire la sua posizione di origine.
- Per questo motivo molti animali possono muovere la pinna, per localizzare più efficacemente le fonti sonore.
- Dato che la nostra pinna è quasi immobile, per poterlo fare noi dobbiamo muovere la testa.

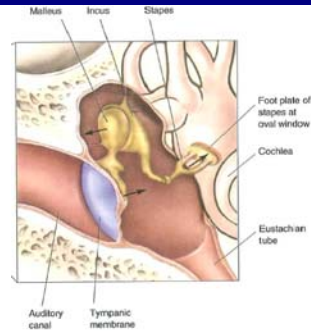
12

L'orecchio medio: timpano ed ossicini (i)



13

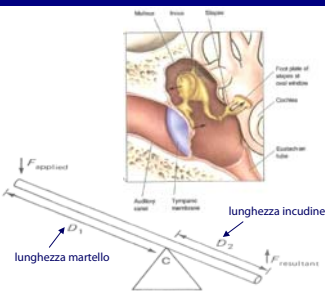
L'orecchio medio: timpano ed ossicini (ii)



- Il *timpano* riceve una stimolazione meccanica dalle onde sonore, e la trasmette agli ossicini, che sono ad esso collegati.
- *Martello, incudine e staffa* si comportano come leve, che conducono la vibrazione del timpano fino alla *finestra ovale*.

14

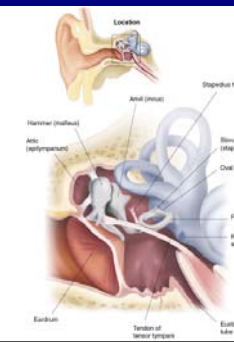
L'orecchio medio: timpano ed ossicini (iii)



- La stimolazione meccanica che raggiunge la finestra ovale è *amplificata* rispetto a quella esercitata sul timpano.
- Questo è necessario per superare l'inerzia presente nella coclea, che a differenza dell'orecchio medio (che è circondato d'aria), contiene un fluido acquoso.

15

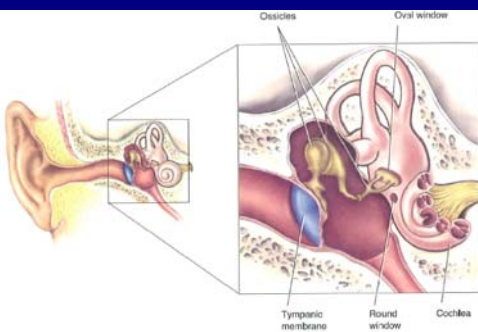
L'orecchio medio: il riflesso di attenuazione



- La tensione del timpano può essere modulata dal *muscolo tensore del timpano*, che contraendosi può ridurre l'elasticità.
- Assieme al *muscolo stapedio*, che è collegato alla staffa, media il riflesso acustico, o riflesso di attenuazione.
- In presenza di suoni o rumori molto intensi questi muscoli si contraggono, riducendo la mobilità di timpano ed ossicini.
- Questo riflesso ha una latenza di circa 200 ms ed è particolarmente efficace per inibire suoni intensi a basse frequenze.

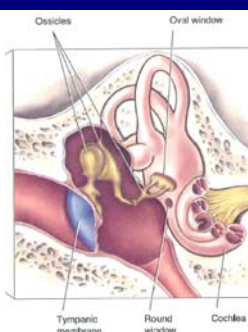
16

L'orecchio interno: coclea (i)



17

L'orecchio interno: coclea (ii)



- La *coclea* contiene i recettori sensitivi degli stimoli acustici, che trasformano le stimolazioni meccaniche delle onde sonore in segnali nervosi.
- Ha la forma di una chiocciola, di struttura ossea e cava, arrotolata intorno ad una struttura centrale detta *modiolo*.

18

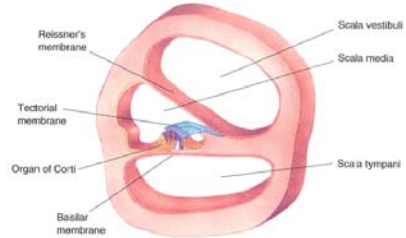
L'orecchio interno: coclea (iii)



- La coclea è suddivisa longitudinalmente in tre settori, chiamati *scale*:
 - Scala vestibolare
 - Scala media (o dotto cocleare)
 - Scala timpanica
- I settori sono creati da delle membrane dette:
 - Membrana di Reissner (fra la s. vestibolare e la s. media)
 - Membrana basilare (fra la s. timpanica e la s. media)

19

L'orecchio interno: coclea (iv)



- Sulla membrana basilare, nella scala media, si trova l'*organo di Corti*, che contiene i recettori sensitivi, ed è sovrastato dalla *membrana tectoria*.

20

L'orecchio interno: coclea (v)



- All'apice della spirale le scale vestibolare e timpanica sono messe in comunicazione da un foro, detto *elicotrema*.
- Mentre il liquido contenuto dalle s. vestibolare e timpanica è detto *perilinf*a (simile al fluido cerebrospinale), quello contenuto dalla s. media è detto *endolinf*a (simile al fluido intracellulare).
- Questi liquidi differiscono fra loro per il grado di concentrazione di sodio (Na) e potassio (K).

21

La membrana basilare (i)

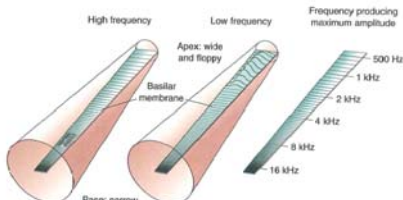


- Le vibrazioni conferite alla finestra ovale da timpano ed ossicini producono spostamenti di endo- e perilinf che interessano la membrana basilare.

- La membrana basilare è sensibile agli stimoli sonori grazie a due caratteristiche principali:
 - L'ampiezza della membrana aumenta verso l'interno della coclea, diventando 5 volte più larga che alla base.
 - La rigidità della membrana diminuisce verso l'interno, diventando 100 volte più flessibile che alla base.

22

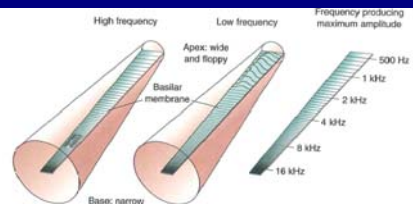
La membrana basilare (ii)



- Il movimento dell'*endolinf*a determina una curvatura della parte iniziale della membrana basilare, che si propaga come un'onda per tutta la sua lunghezza.

23

La membrana basilare (iii)



- Più bassa sarà la frequenza del suono e maggiore sarà la distanza percorsa da quest'onda.
- Zone diverse della membrana sono massimamente stimolate da stimoli con frequenza diversa, c'è una codifica spaziale (*tonotopica*) della frequenza dei suoni.

24