

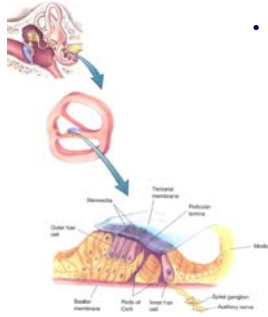
La percezione acustica

Chiara Della Libera

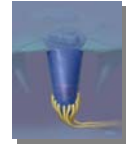
DSNV Università di Verona
 Sezione di Fisiologia Umana
 tel. 045 802 7198
 chiara.dellalibera@medicina.univr.it

1

L'organo di Corti (i)

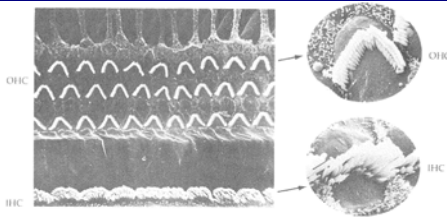


- L'organo di Corti contiene i recettori degli stimoli sonori: le *cellule cigliate* della coclea.



2

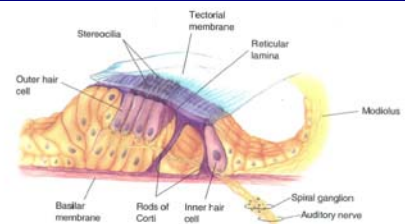
L'organo di Corti (ii)



- Le cellule cigliate traducono la stimolazione meccanica in segnale nervoso.
- Ognuno di questi neuroni possiede circa 100 prolungamenti, detti *stereociglia*.

3

L'organo di Corti (ii)



- Le stereociglia attraversano una membrana detta *lamina reticolare* e, circondate da endolinfa, raggiungono la membrana tectoria.
- Mentre le ciglia all'inizio della m. basilare sono più corte e rigide, quelle vicine all'elicotrema sono più lunghe e sottili.

4

Le cellule cigliate (i)



- Esistono due tipi di cellule cigliate, *interne ed esterne*, che differiscono fra loro:
 - Per la posizione che occupano sulla membrana basale (vicino al modiolo o verso l'esterno della coclea)
 - Per quantità (3500 interne vs. 20000 esterne)
 - Per la forma che hanno (le interne sono più grandi e a "fiasco", le esterne sono più piccole e cilindriche)
 - Per la disposizione delle ciglia

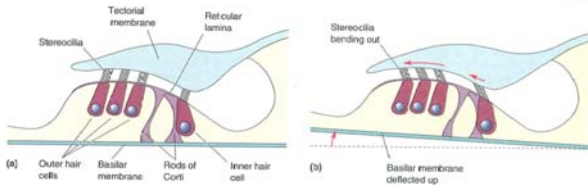
5

Le cellule cigliate (ii)

- Quando la staffa trasmette il movimento alla finestra ovale, la membrana basilare si sposta, e con essa si muove tutta la struttura dell'organo di Corti.
- Il movimento della membrana tectoria sarà invece *indipendente* da quello della m. basilare, permettendo alle stereociglia di piegarsi sia verso il modiolo che verso l'esterno della coclea.
- Dato che le ciglia di ogni cellula sono collegate fra loro, queste assumono un piegamento omogeneo.

6

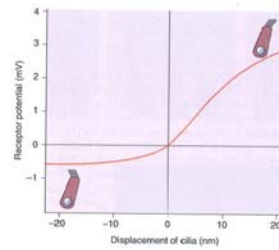
Le cellule cigliate (iii)



- Il grado di piegamento delle ciglia determina variazioni nel segnale nervoso che i recettori inviano alla corteccia.

7

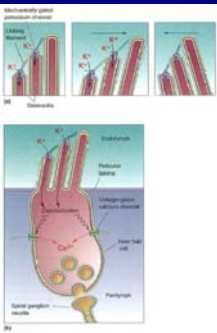
Dal suono al segnale nervoso (i)



- Il potenziale delle cellule cigliate è direttamente influenzato dalla direzione di piegamento delle stereociglia.
- Se il piegamento in una direzione causa una iperpolarizzazione della cellula, il piegamento opposto causa una depolarizzazione.

8

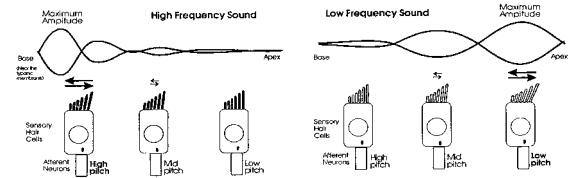
Dal suono al segnale nervoso (ii)



- La cellula depolarizzata libera una certa quantità di neurotrasmettore che "segnala" agli altri neuroni l'avvenuta stimolazione acustica.
- L'attivazione delle cellule cigliate viene trasmessa a dei neuroni bipolari detti *cellule gangliari* dei gangli a spirale di Corti.

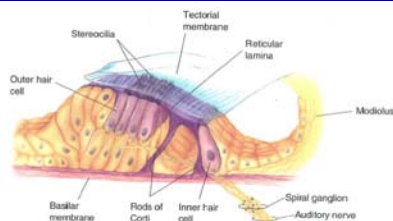
9

Dal suono al segnale nervoso (iii)



La modulazione di flessibilità e larghezza della membrana basilare, assieme alla modulazione di flessibilità e lunghezze delle stereociglia determinano la rappresentazione tonotopica delle frequenze delle onde sonore nella coclea.¹⁰

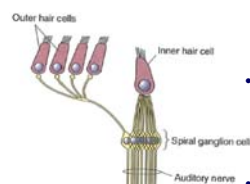
Dal suono al segnale nervoso (iv)



- Queste reagiscono alla liberazione di neurotrasmettore da parte delle cellule cigliate ed inviano un potenziale d'azione lungo i loro assoni, che formano il *nervo acustico*.

11

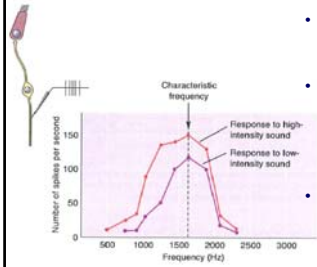
Innervazione delle cellule cigliate



- I segnali inviati dalle cellule cigliate *interne* attivano un grande numero di neuroni gangliari a spirale.
- I segnali inviati da più cellule cigliate *esterne* invece vengono ricevuti da una stessa cellula gangliare.
- La maggior parte delle informazioni uditive inviate alla corteccia è generata dalle cellule cigliate interne.

12

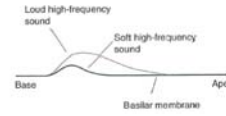
Cellule cigliate e frequenze caratteristiche



- Ogni fibra del nervo acustico proviene da una sola cellula cigliata.
- L'attività di ogni cellula gangliare è massima per stimoli acustici intorno ad una frequenza particolare, detta *f. caratteristica*.
- Il livello di attivazione nervosa dipende anche dall'intensità del suono. Maggiore è l'intensità e maggiore sarà lo spostamento subito dalla m. basilare.

13

Codifica nervosa dell'intensità del suono

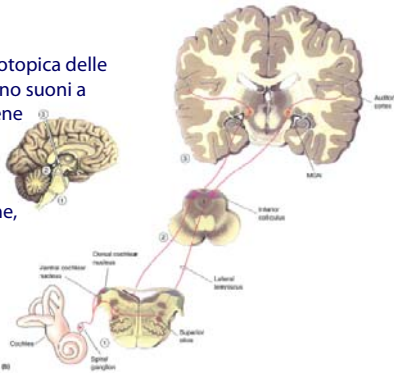


- L'intensità dello stimolo acustico modula l'ampiezza dello spostamento della m. basilare.
- Spostamenti più ampi produrranno maggiori iper- e depolarizzazioni delle cellule cigliate, amplificando il segnale nervoso.
- A parità di frequenza, la scarica nervosa sarà più veloce per suoni di maggiore intensità.
- Maggiore sarà lo spostamento della m. basilare e maggiore il numero di cellule cigliate stimulate.

14

Dalla coclea alla corteccia

L'organizzazione tonotopica delle strutture che elaborano suoni a frequenze diverse viene mantenuta in tutte le stazioni nervose che elaborano informazioni acustiche, fino alla corteccia uditiva primaria.

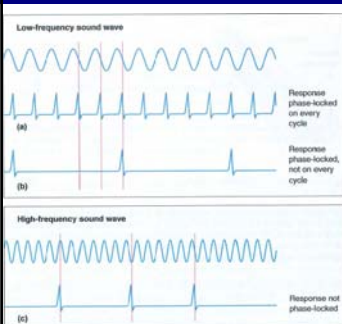


Codifica nervosa della frequenza del suono

- La sola codifica tonotopica è inefficace per suoni di frequenza inferiore a 200 Hz.
- Inoltre, l'efficacia della codifica tonotopica è ridotta per suoni di forte intensità, che stimolano parti più ampie di m. basilare.
- Un meccanismo che riduce l'incertezza sulla codifica delle frequenze acustiche è la proprietà di molte cellule di avere una risposta "phase-locked" allo stimolo acustico.

16

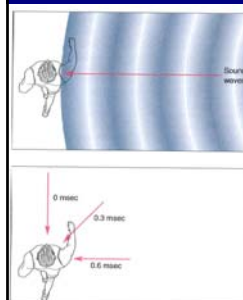
Phase-locking nella risposta delle cellule cigliate



- Molte cellule cigliate rispondono soltanto quando il segnale acustico è in una precisa fase del suo ciclo.
- Anche se un singolo neurone non scarica ad ogni ciclo del segnale, la frequenza può essere codificata dall'attività collettiva di più cellule.
- L'efficacia di questo sistema si riduce per segnali di alta frequenza (>4kHz).

17

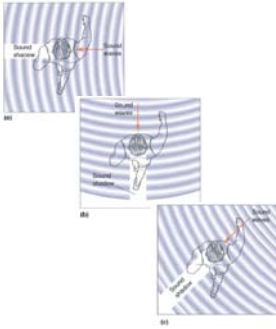
Localizzazione orizzontale dei suoni (i)



- La localizzazione dei suoni sul piano orizzontale si basa sul *ritardo interaurale*.
- Il momento esatto in cui un'onda sonora raggiunge le nostre orecchie è diverso se l'origine del suono non è perpendicolare alla nostra linea mediana.
- L'indizio sull'origine del suono viene raccolto sulla base dell'orecchio che riceve per primo il segnale.
- In presenza di toni continui, di cui non abbiamo udito l'esordio, il ritardo interaurale può essere misurato tra le fasi di picco del segnale acustico.

18

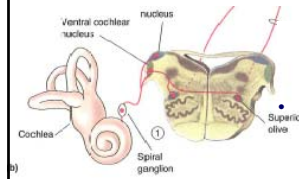
Localizzazione orizzontale dei suoni (ii)



- I suoni possono essere localizzati anche dal confronto fra le *intensità* del segnale che raggiunge le due orecchie.
- L'intensità sarà maggiore per l'orecchio più vicino all'origine del suono, mentre sarà minore per quello più lontano.
- L'orecchio lontano si trova nella "zona d'ombra" creata dalla testa, in cui il segnale è marcatamente meno intenso.

19

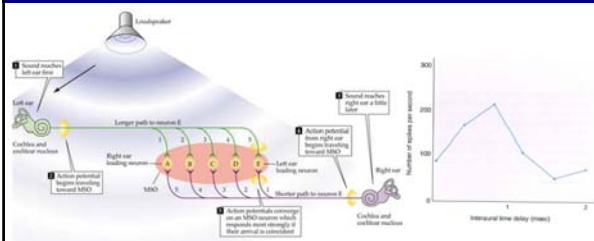
Neuroni binaurali (i)



- Molti dei neuroni acustici dall'*oliva superiore* in poi rispondono a stimoli che provengono da *entrambe* le coclee.
- Questi neuroni sono in grado di confrontare i tempi di ricezione del segnale acustico e di ricavare una prima localizzazione del suono.

20

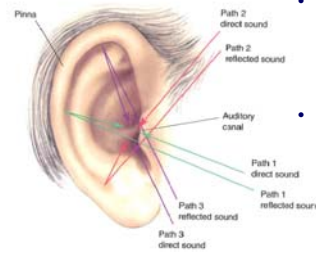
Neuroni binaurali (ii)



- Nell'*oliva superiore* neuroni diversi risponderanno in modo più marcato per intervalli interaurali di diversa durata.

21

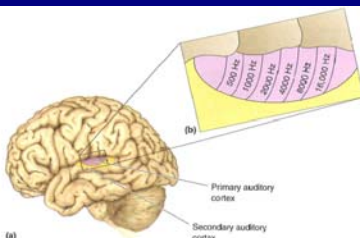
Localizzazione verticale dei suoni



- La localizzazione verticale dei suoni avviene grazie alla particolare forma del padiglione auricolare.
- La localizzazione avviene grazie al confronto continuo fra il segnale diretto e quello riflesso dal padiglione auricolare.

22

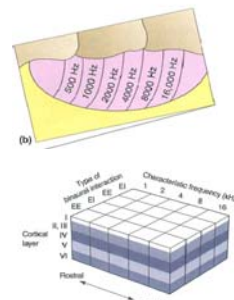
La corteccia uditiva primaria



- La prima area corticale dedicata all'analisi di informazioni acustiche è A1, la *corteccia uditiva primaria*.
- Qui i neuroni sono organizzati in *bande di isofrequenza*, specializzate nell'elaborazione di stimoli di determinate frequenze sonore.

23

Elaborazione corticale dei suoni



- Anche in A1 ci sono cellule che rispondono prevalentemente a stimoli provenienti soltanto da una coclea, oppure da entrambe.
- Fra le caratteristiche sonore che sembrano essere elaborate in modo specifico da sottoinsiemi di neuroni, vi sono la frequenza, l'intensità, e la modulazione temporale del segnale acustico (stimoli transienti o continui).

24