

Il sistema acustico

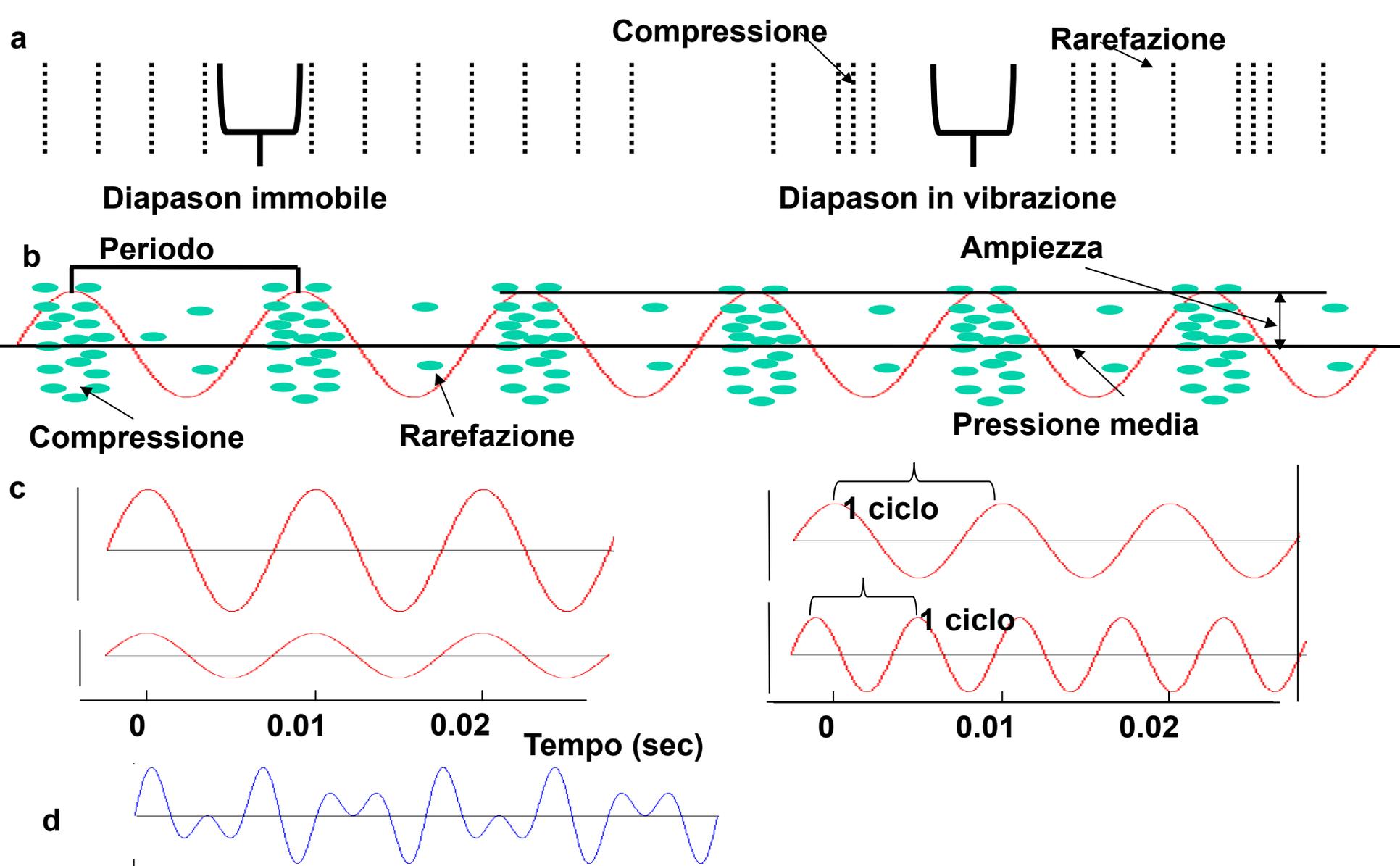


Fig. 1. a, un diapason che vibra genera una successione di compressioni e rarefazioni che si propagano nell'aria. b, esempio di onda di vibrazione con forma d'onda sinusoidale. c, a sinistra, onde sinusoidali di uguale frequenza e diversa ampiezza; a destra, onde di diversa frequenza. d, onda di vibrazione con forma d'onda complessa

La frequenza di un' onda è l' inverso del periodo: quindi, se un' onda ha un periodo di 100 msec, la sua frequenza sarà di 10 periodi/sec.

1 periodo (o ciclo)/sec è 1 Hertz (1 Hz).

Un' onda con **periodo 100 msec** avrà la **frequenza di 10 Hz**.

La **frequenza** di un' onda determina l' **altezza** del suono percepito: frequenze basse corrispondono a suoni gravi, frequenze alte corrispondono a suoni acuti.

Noi siamo in grado di percepire come suono onde di vibrazione con frequenze che vanno da circa 20 Hz a circa 20.000 Hz. Come abbiamo già detto per l' intervallo del visibile, altre specie hanno intervalli dell' udibile diversi, in particolare carnivori e roditori sono sensibili a frequenze più alte di 20.000 Hz (ultrasuoni).

L' **ampiezza** dell' onda determina l' **intensità** del suono: più grande l' ampiezza, più intenso il suono.

L' intensità del suono viene espressa frequentemente in maniera relativa, ovvero in rapporto alla intensità minima percepibile per le frequenze sonore cui siamo più sensibili (la frequenza di riferimento è di 4000 Hz).

La **forma d'onda** determina il **timbro** del suono, ed è data dalla cassa armonica dello strumento.

A parità di frequenza di una nota, è possibile riconoscere facilmente se essa è stata emessa da un violino piuttosto che da una viola e, con un po' di esercizio, si può distinguere la “voce” di due diversi violini.

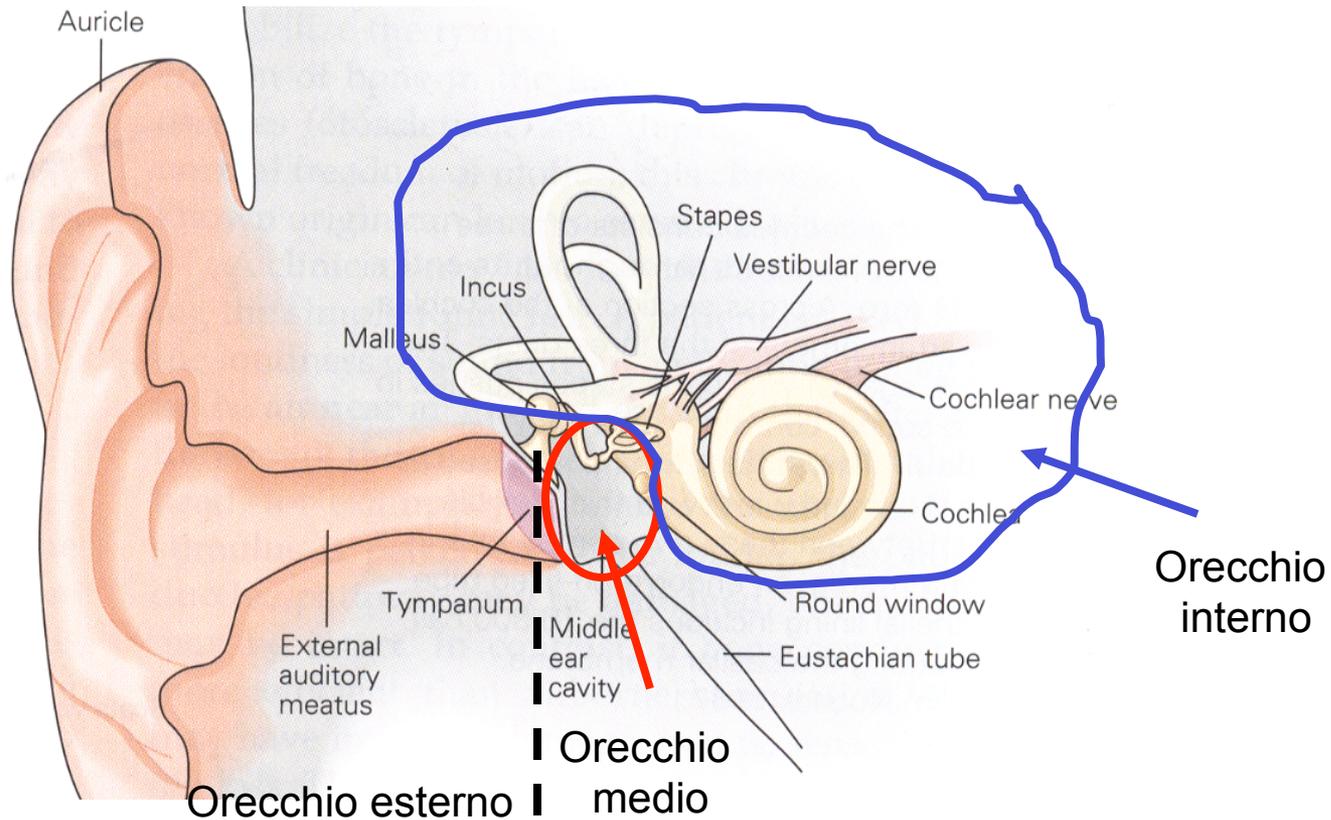
L'orecchio e la coclea

Livello della pressione del suono $L(\text{dB}) = 20 * \log P/P_r$

P = pressione in esame.

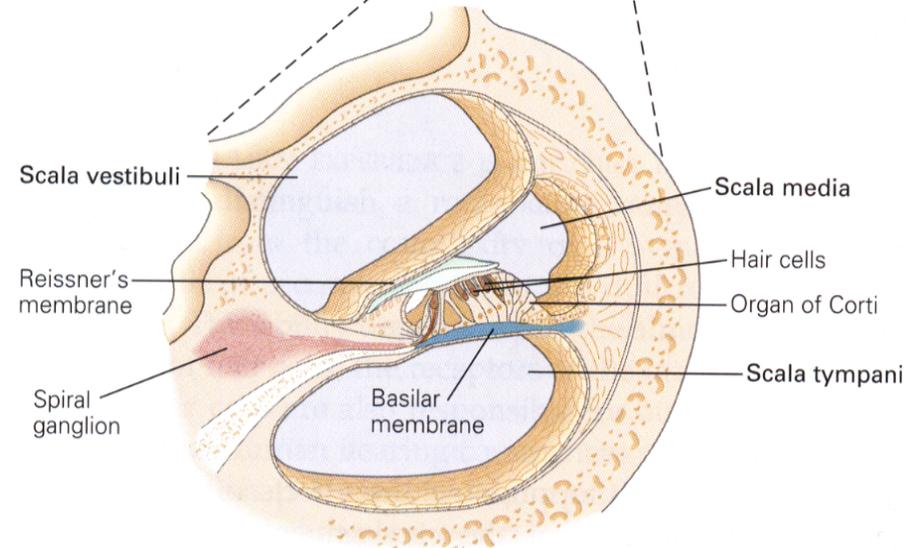
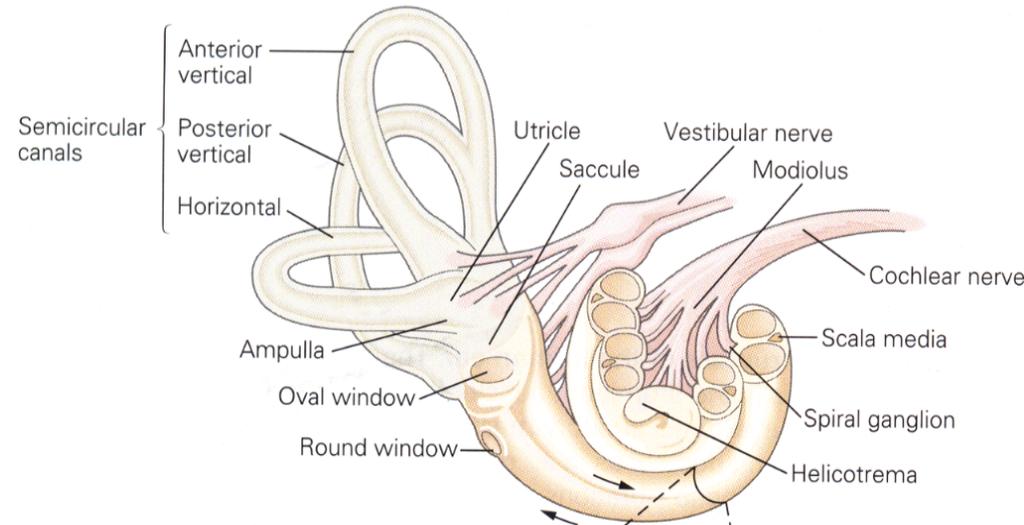
P_r = pressione di riferimento pari alla soglia umana per suoni di frequenza 4 kHz.

20 dB= 1 log



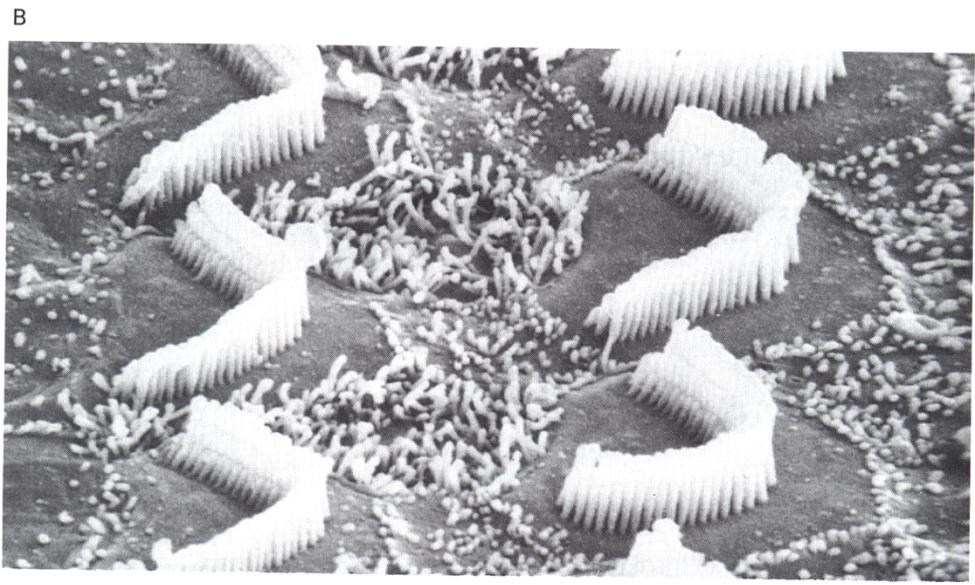
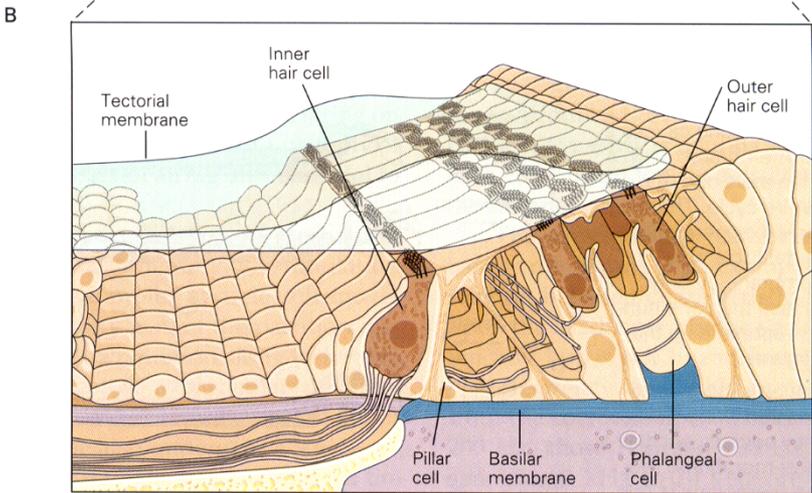
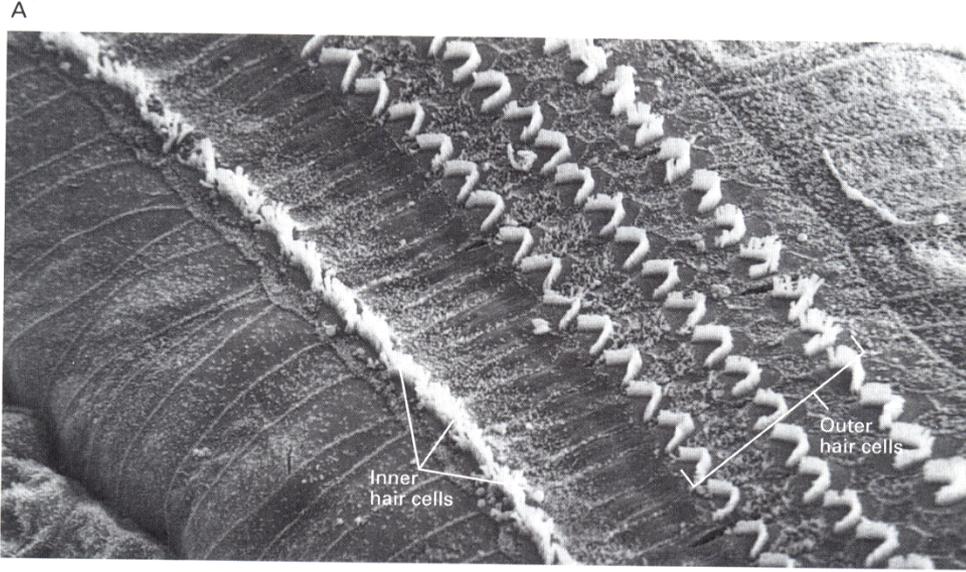
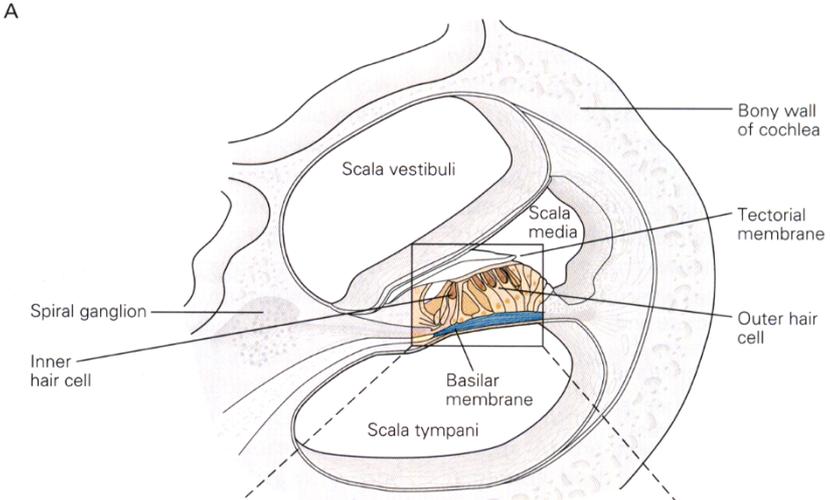
Struttura della coclea

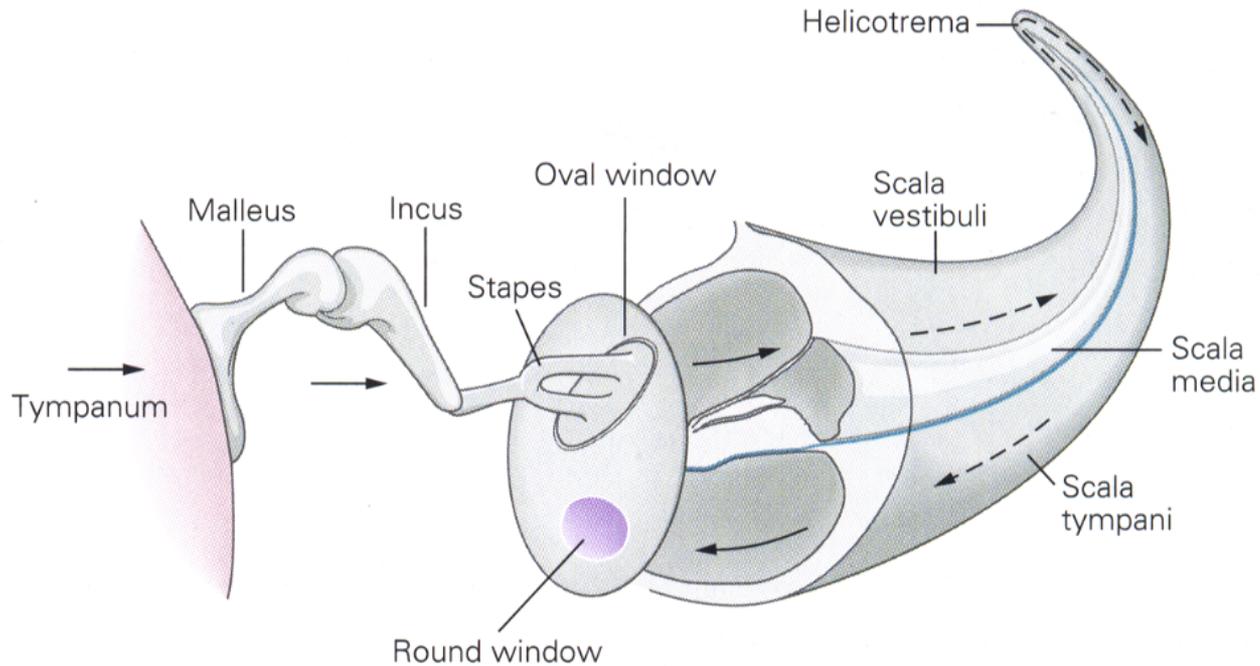
Il primo passo verso l'udito è la cattura dell'energia meccanica delle onde di pressione, la sua trasmissione all'orecchio interno e la trasduzione in segnale nervoso, compiuta dalle cellule ciliate dell'orecchio interno.



- Tre canali: canale vestibolare, timpanico e dotto cocleare
- Membrana basilare
 - Cellule di sostegno
 - Cellule ciliate esterne CCE (12000)
 - Cellule ciliate interne CCI (3500)
- Membrana tectoria (Reissner's)
- Fibre nervose efferenti e afferenti

Organo del Corti

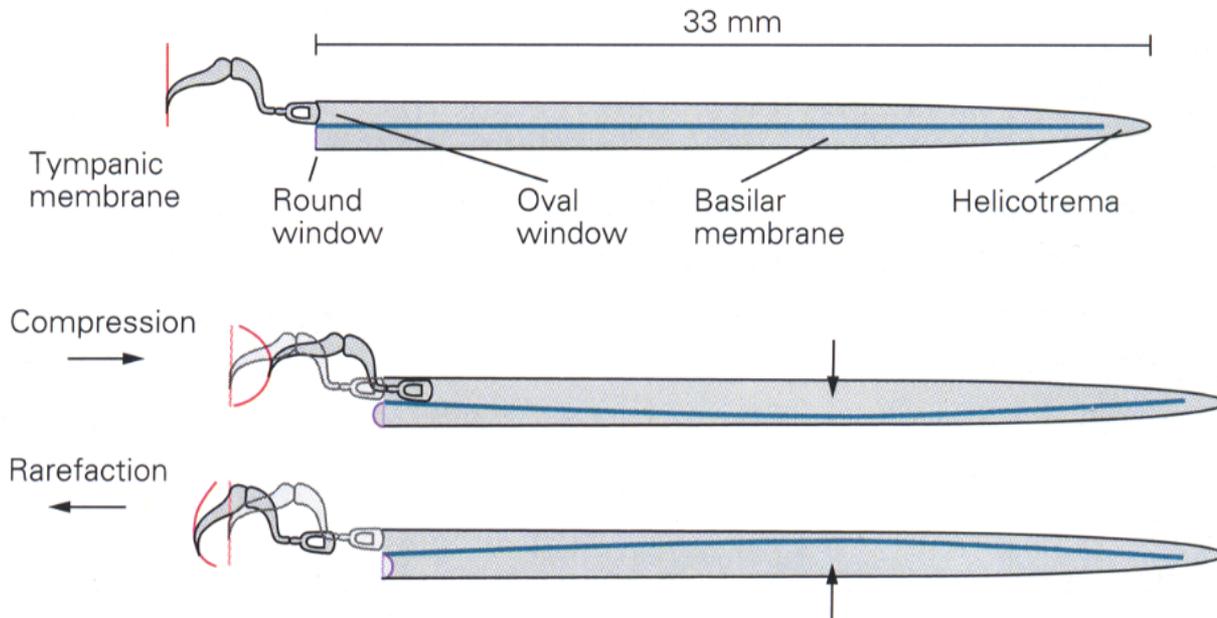




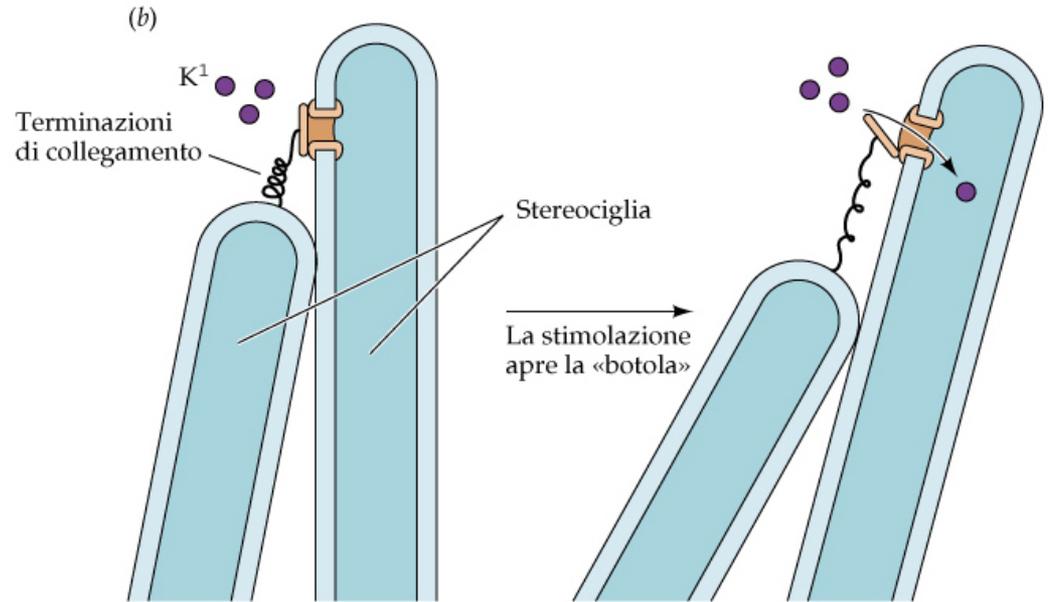
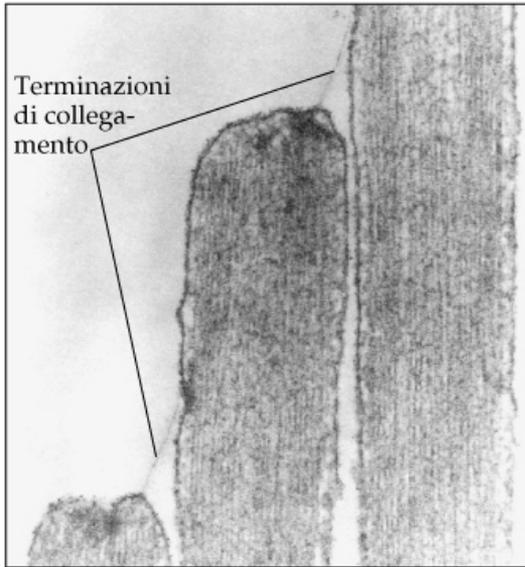
Organo del Corti:
l'onda di pressione
determina la
vibrazione della
membrana basilare

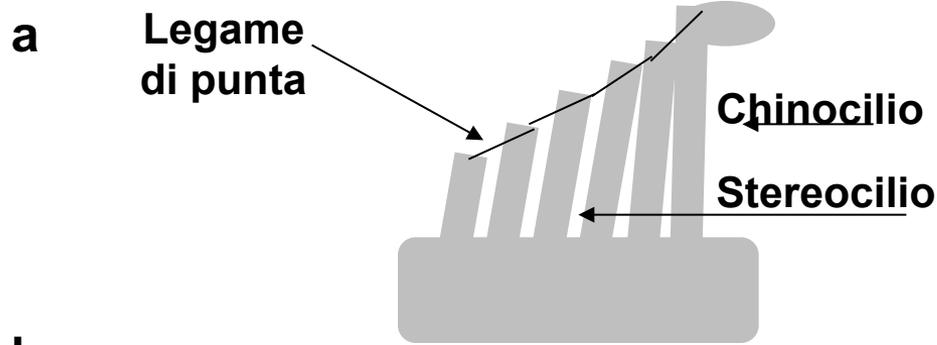
La vibrazione del timpano
viene trasmessa alla
finestra ovale per mezzo
degli ossicini dell'orecchio
medio.

La vibrazione viene
trasmessa quindi al liquido
della scala vestibolare che
si sposta deformando la
membrana che chiude la
finestra rotonda. In questo
modo i movimenti dei liquidi
endococleari determinano
l'oscillazione della
membrana basilare.



SELETTIVITA' ALLA FREQUENZA

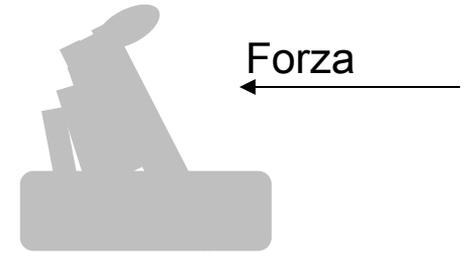




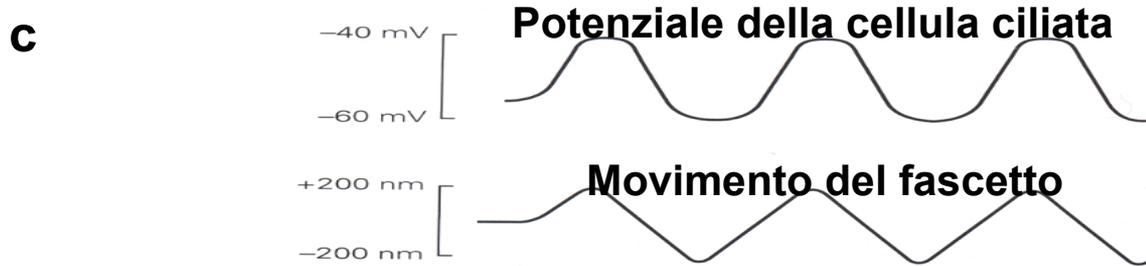
A riposo, i legami di punta sono parzialmente in tensione ed un piccolo numero di canali di trasduzione sono aperti. Una corrente depolarizzante I fluisce nella cellula.



Legami di punta tesi, molti canali di trasduzione aperti, I aumenta, la cellula depolarizza.



Legami di punta afflosciati, i canali di trasduzione sono chiusi, I si riduce, la cellula iperpolarizza.



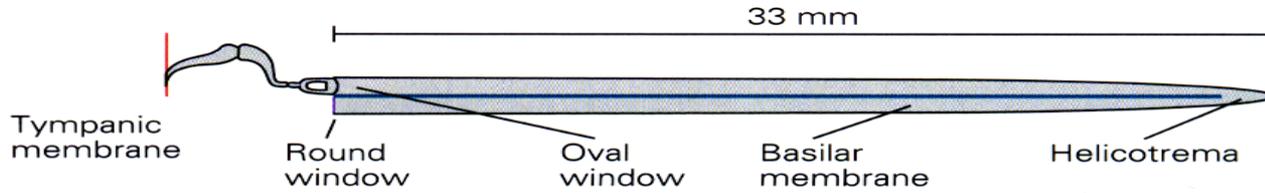
Da qui 18 novembre

Fig. 4 a. Schema del fascetto di cilia di una cellula ciliata, con evidenziati i legami di punta. **b.** Schema del movimento del fascetto e delle variazioni di potenziale della cellula ciliata durante l'applicazione al fascetto di una forza la cui direzione è indicata in figura. **c:** Andamento del potenziale di una cellula ciliata il cui fascetto è spostato alternativamente avanti ed indietro. Si vede bene l'alternarsi delle depolarizzazioni ed iperpolarizzazioni.

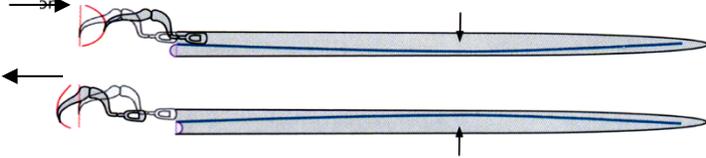
L' amplificatore cocleare e la mappa tonotopica dell' orecchio interno

Ipotesi di Helmholtz
Esperimento di von Bekesi
Ipotesi attuale

A causa delle caratteristiche meccaniche della membrana basilare (più larga ed elastica all' apice, più stretta e rigida alla base) e del contributo attivo dato dalle cellule ciliate esterne, la membrana basilare svolge sostanzialmente una prima analisi della frequenza dei suoni.



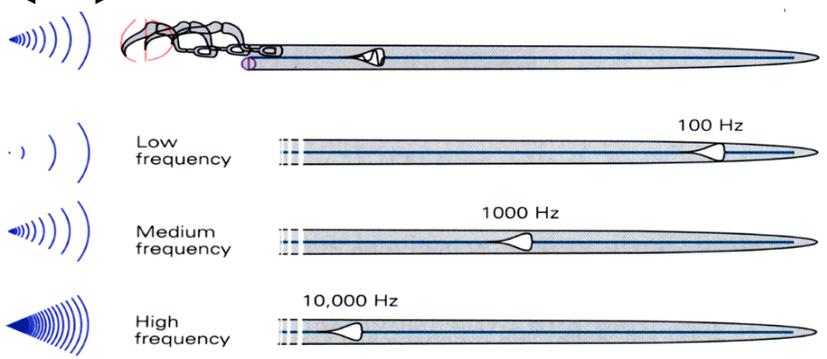
Compressione



Rarefazione

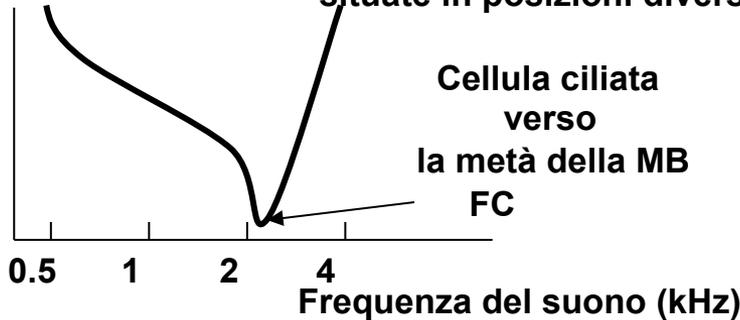


Suono

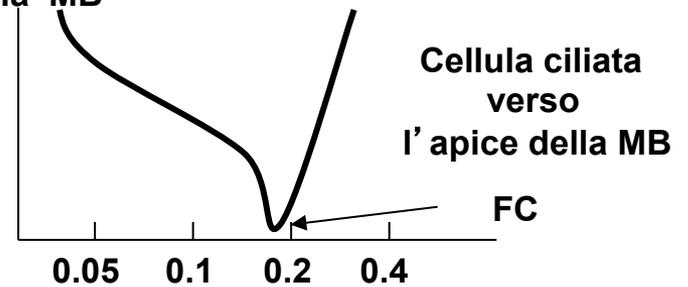


**Selettività per la frequenza acustica delle cellule ciliate
sitate in posizioni diverse lungo la MB**

Minima intensità del
suono che evoca
una risposta (dB)



Cellula ciliata
verso
la metà della MB
FC



Cellula ciliata
verso
l'apice della MB
FC

La vibrazione del timpano viene trasmessa alla finestra ovale e quindi ai liquidi endococleari dalla catena degli ossicini. La vibrazione determina spostamenti dei liquidi che causano movimenti opposti della membrana della finestra ovale e della finestra rotonda. Questo determina sulla membrana basilare (MB) l'insorgenza di un'onda viaggiante di vibrazione il cui massimo si raggiunge in punti diversi della MB a seconda della frequenza del suono. Le cellule ciliate poste a distanza diversa dalla base della MB e le fibre del nervo acustico che le innervano mostrano sensibilità massima a frequenze acustiche diverse. FC= frequenza caratteristica.

Meccanismi di amplificazione e miglioramento della selettività per le frequenze nella coclea

L'attivazione delle cellule ciliate esterne (CCE) ne causa l'accorciamento.

La morfologia delle cellule ciliate (corte alla base, lunghe e flessibili all'apice) conferisce loro una certa selettività per le frequenze acustiche che è in corrispondenza con quella locale della membrana basilare (fibre corte e rigide alla base, lunghe e flessibili all'apice).

Le CCE attive possono quindi amplificare l'oscillazione locale attraverso i loro movimenti oscillatori. Dato che l'ampiezza dell'oscillazione delle CCE dipende dall'entità della loro depolarizzazione, tale ampiezza sarà massima in una ristretta regione della membrana basilare, dove l'oscillazione della membrana basilare è massima.

In questo modo, le CCE contribuiscono ad amplificare selettivamente la risposta oscillatoria della membrana basilare, e quindi il segnale delle cellule ciliate interne, in una ristretta zona della membrana basilare.

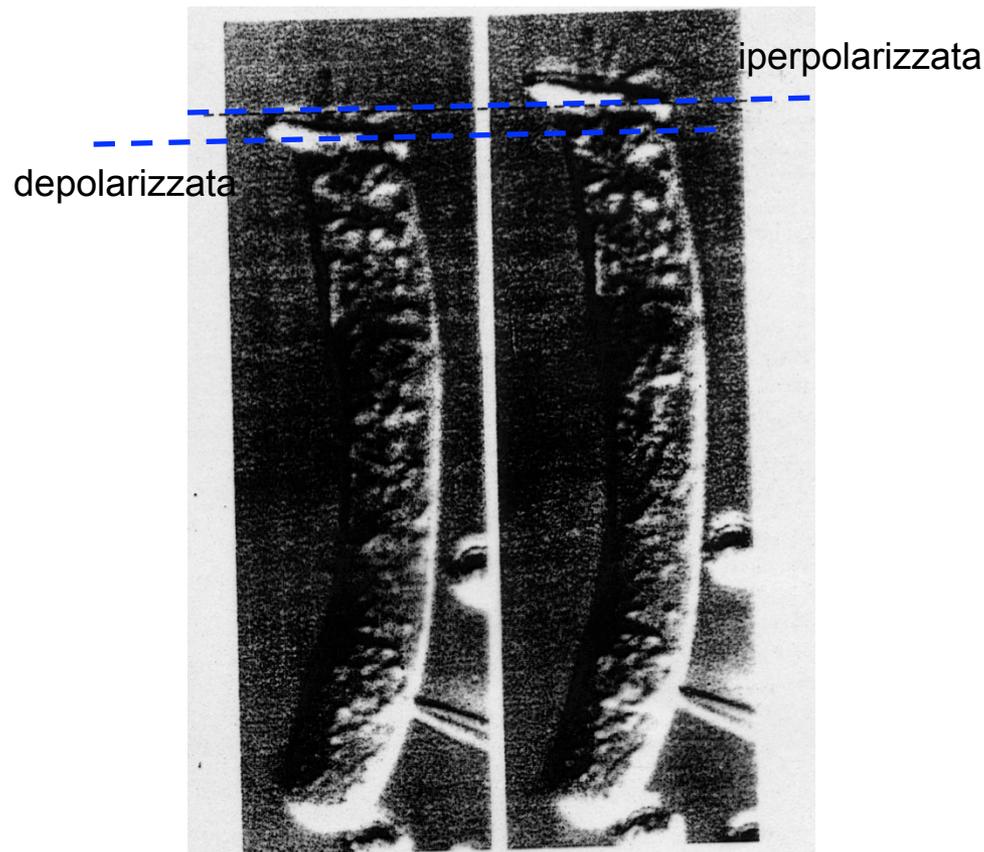
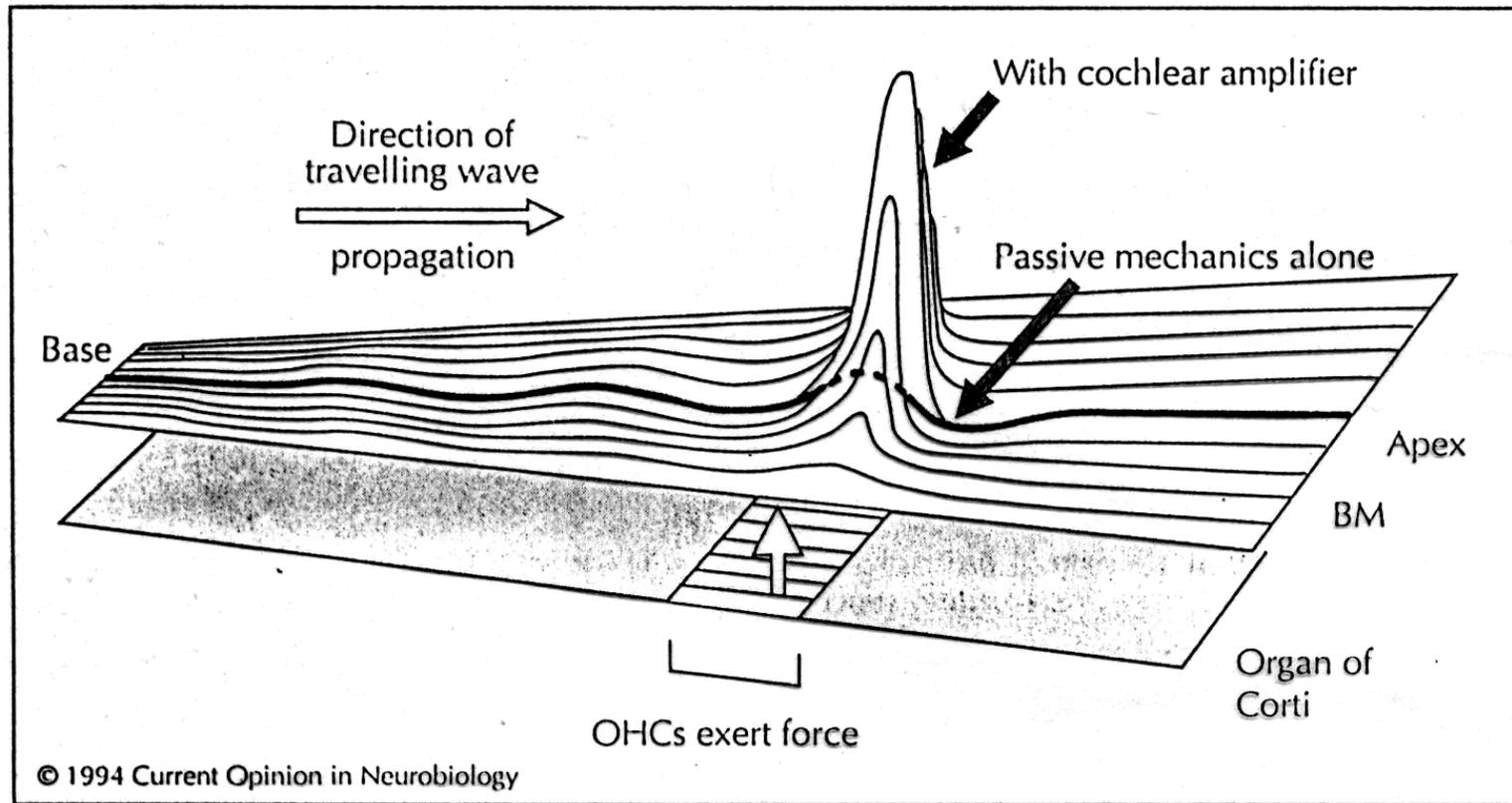


Figure 30-9 Cochlear amplification is mediated by movement of hair cells. When this isolated outer hair cell is depolarized by the electrode at its base, its cell body shortens (left). Hyperpolarization, on the other hand, causes the cell to lengthen (right). The oscillatory motions of outer hair cells may provide the mechanical energy that amplifies basilar-membrane motion and thus enhances the sensitivity of human hearing. (From Holley and Ashmore 1988.)

Meccanismi di amplificazione e miglioramento della selettività per le frequenze nella coclea

La presenza di amplificazione locale aumenta la selettività della coclea per la frequenza dell'onda sonora

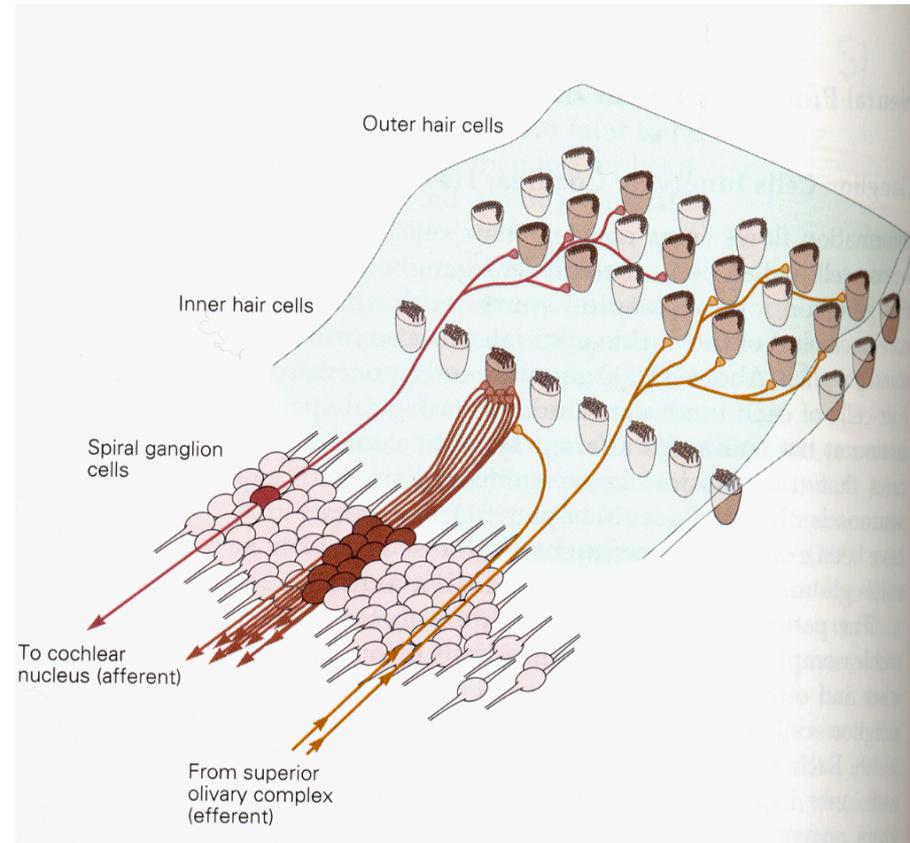
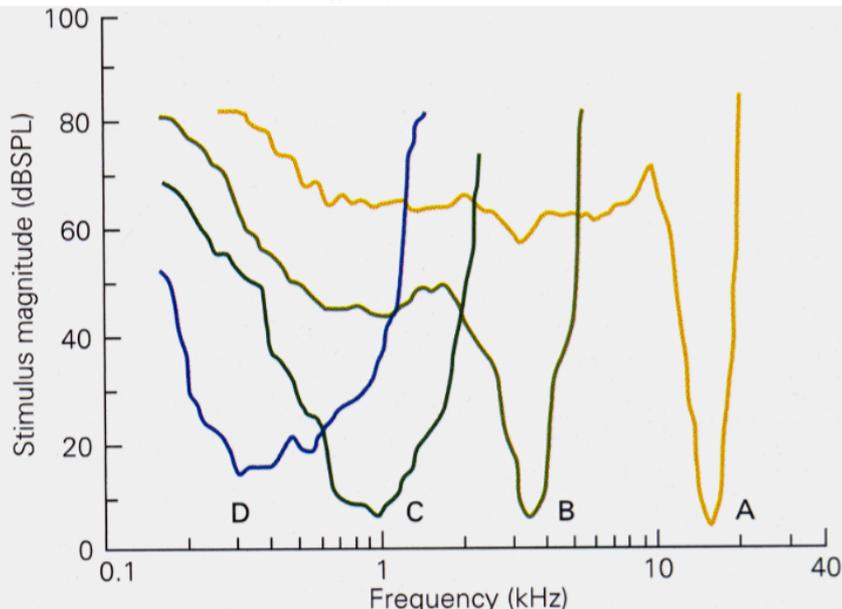
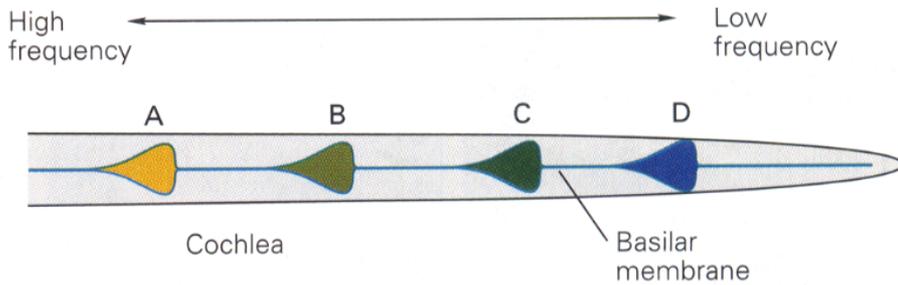


Lo spazio della membrana basilare non è quindi dedicato alla direzione di provenienza del suono ma alla sua frequenza.

Dalla coclea ai nuclei coclearari: la mappa tonotopica si mantiene

Le cellule ciliate poste a distanze progressivamente maggiori dalla base rispondono progressivamente a frequenze acustiche più basse. Ciascuna CCI sinapta con un ristretto gruppo di fibre afferenti dalle cellule del ganglio del Corti (CGC) (o ganglio spirale) i cui assoni centrali formano il nervo acustico. Le fibre del nervo acustico mostrano quindi una risposta massima per una precisa frequenza acustica (frequenza caratteristica, FC) che dipende dalla posizione lungo la MB della CCI che contattano. La scarica delle CGC declina rapidamente allo spostarsi della frequenza acustica rispetto alla FC.

La frequenza del suono è quindi codificata dalla posizione lungo la coclea in cui avviene il contatto sinaptico dell'assone (codice di luogo) e dalla frequenza di scarica dell'assone (curva di selettività)

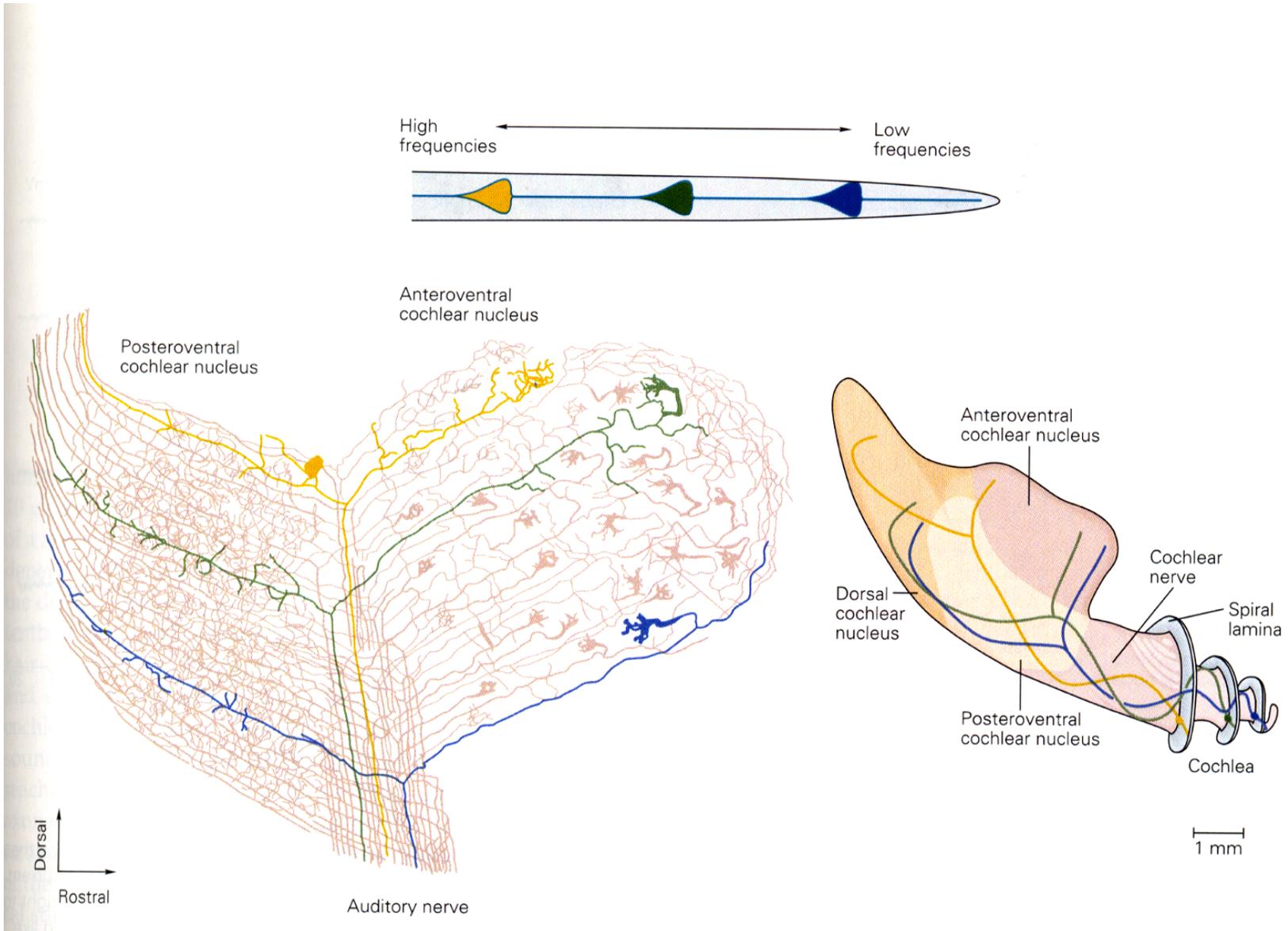


Questo arrangiamento spaziale ha consentito lo sviluppo di protesi, dette impianti cocleari, che possono supplire a situazioni di sordità dovute alla degenerazione o al mancato sviluppo delle cellule ciliate.

La protesi consta di un microfono per captare i suoni e tradurli in segnali elettrici, un processore per scomporli in frequenze semplici ed una serie di elettrodi per stimolare le fibre del nervo acustico.

Sapendo che le fibre progressivamente più lontane dalla base avrebbero portato il segnale relativo a frequenze acustiche progressivamente più basse, i segnali sulle diverse frequenze in uscita dal processore vengono inviati agli opportuni elettrodi, piazzati lungo la coclea, dalla base all' apice.

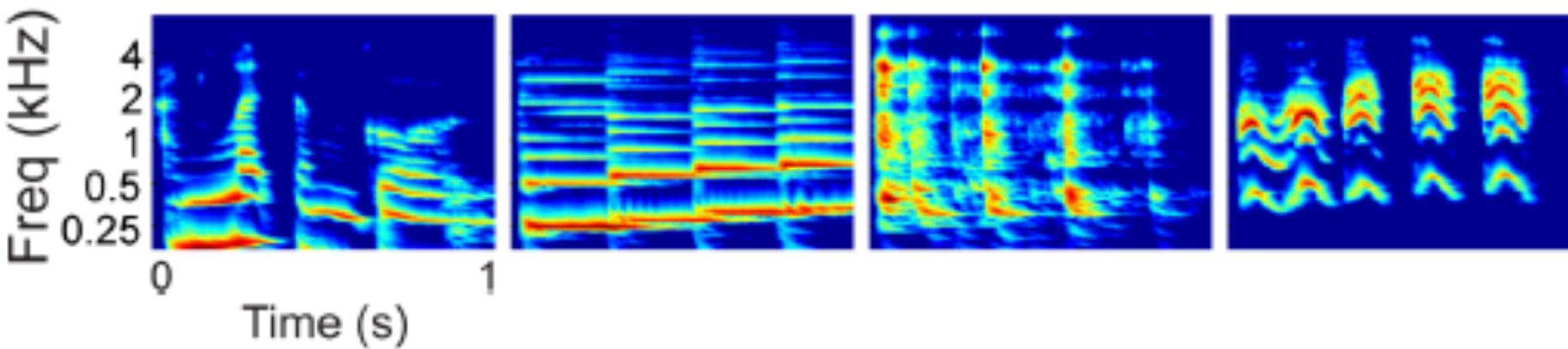
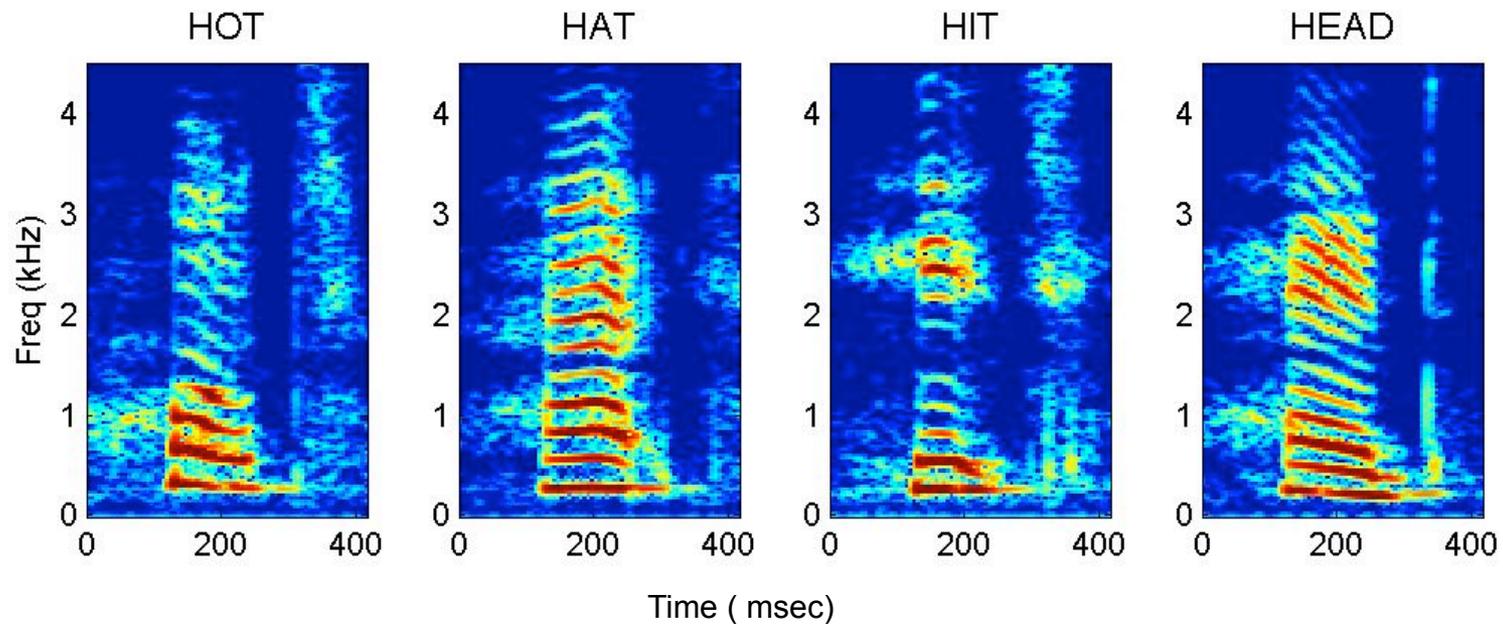
I nuclei coclearari



Dai nuclei coclearari emergono diverse vie parallele (tono, timing)

SPETTROGRAMMI

CARATTERISTICHE DEL SUONO DIPENDONO DA VARIAZIONI DELLA FREQUENZA NEL TEMPO



Conclusione per il ruolo dei nuclei cocleari nella elaborazione della informazione acustica.

Le cellule dei nuclei cocleari sono tutte **monoaurali** e mostrano morfologie e proprietà di risposta diverse.

Le **cellule a cespuglio** codificano con grande precisione per il **tempo d'arrivo dei suoni** e sono considerate importanti per la **localizzazione** della direzione di provenienza del suono lungo il meridiano **orizzontale**.

Le **cellule fusiformi** hanno proprietà di risposta tali da farle considerare importanti per la **localizzazione** del suono lungo il meridiano **verticale**.

Le **cellule stellate** codificherebbero con particolare accuratezza l' **intensità** e la **frequenza** del suono, le cellule **octopus** l' **intensità** (cellule diverse codificano per intervalli di intensità diversi).

Possiamo quindi dire che, come abbiamo visto per il sistema visivo, anche nel sistema acustico si creano **vie parallele** che analizzano aspetti diversi dello stimolo (frequenza, localizzazione).

Nel visivo le vie parallele iniziano a differenziarsi dalla retina, nell'acustico le troviamo in maniera netta a partire dai nuclei cocleari.

Le vie acustiche

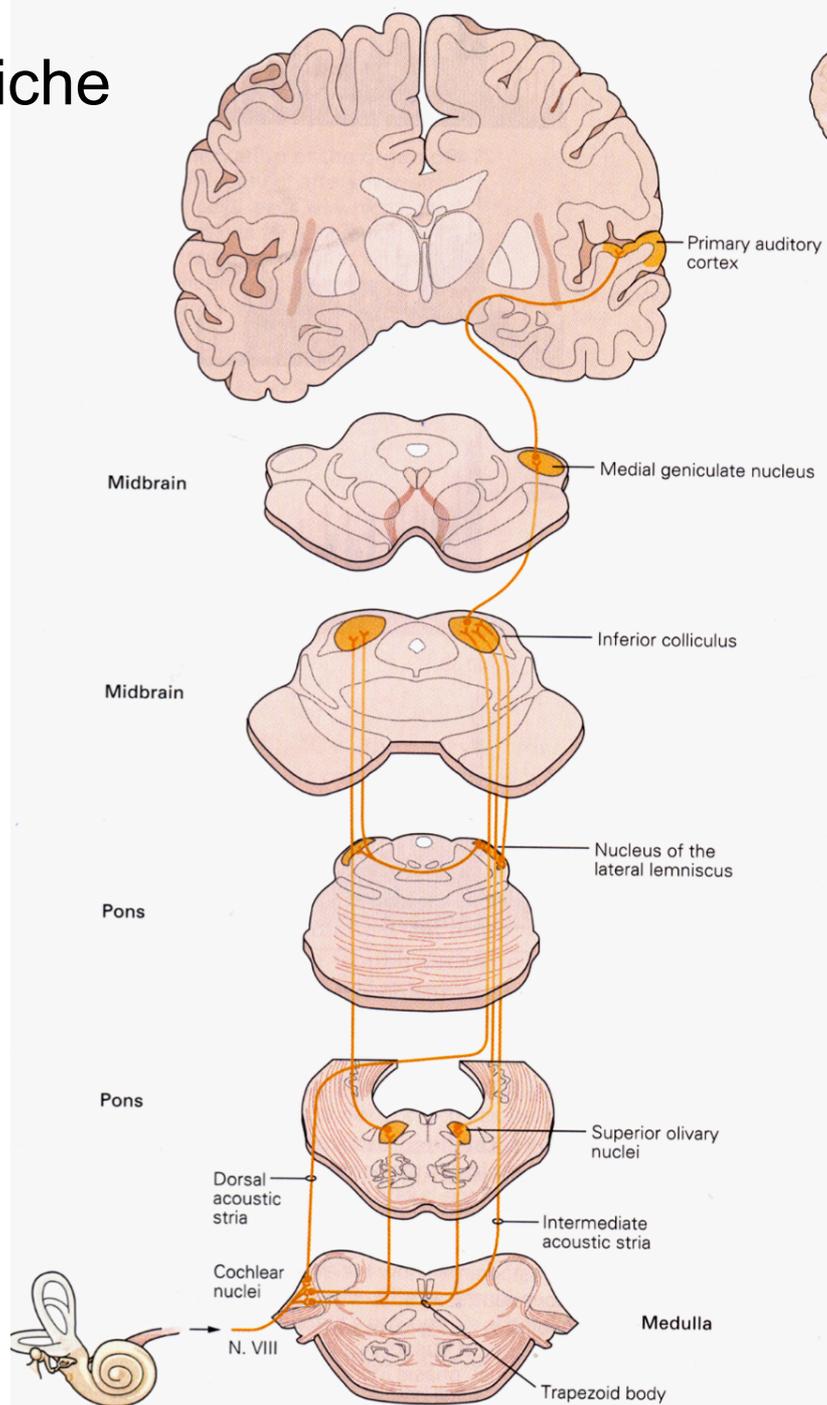


Figure 30-12 The central auditory pathways extend from the cochlear nucleus to the auditory cortex. Postsynaptic neurons in the cochlear nucleus send their axons to other centers in the brain via three main pathways: the dorsal acoustic stria, the intermediate acoustic stria, and the trapezoid body. The first binaural interactions occur in the superior olivary nucleus, which receives input via the trapezoid body. In particular, the medial and lateral divisions of the superior olivary nucleus are involved in the localization of sounds in space. Postsynaptic axons from the superior olivary nucleus, along with axons from the cochlear nuclei, project to the inferior colliculus in the midbrain via the lateral lemniscus. Each lateral lemniscus contains axons relaying input from both ears. Cells in the colliculus send their axons to the medial geniculate nucleus of the thalamus. The geniculate axons terminate in the primary auditory cortex (Brodmann's areas 41 and 42), a part of the superior temporal gyrus. (Adapted from Brodal 1981.)

Localizzazione del suono

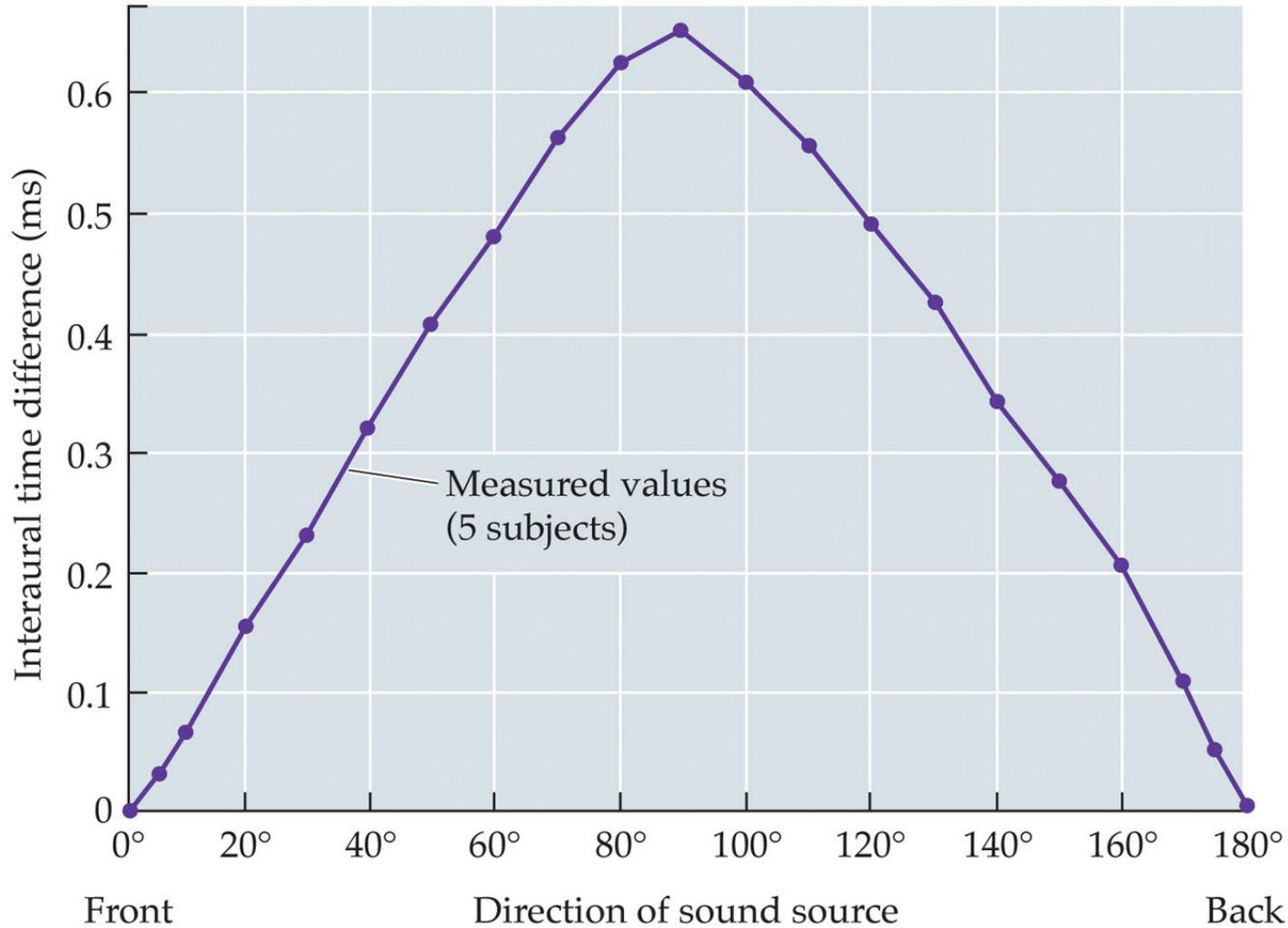
La localizzazione del suono avviene in base ad **indizi binaurali** (localizzazione lungo il meridiano orizzontale) e **monaurali** (localizzazione lungo il meridiano verticale).

Gli indizi **binaurali** dipendono da precise relazioni temporali (**timing**) nella **differenza tra il tempo di arrivo** del suono ai due orecchi (**differenza di tempo interaurale**) e dalla differente intensità del suono fra l'orecchio ipsi e controlaterale (**differenza di intensità interaurale**).

I primi sono utilizzati ed elaborati da neuroni con alta sensibilità al timing nell'oliva superiore mediale. I secondi sono utilizzati ed elaborati da neuroni nell'oliva superiore laterale.

Gli indizi **monaurali** derivano dal fatto che la forma e la disposizione delle **pliche dei padiglioni auricolari** opera un filtraggio diverso sulle frequenze del suono a seconda di dove è posizionata la sorgente sonora (alto-basso).

LOCALIZZAZIONE DEI SUONI: ITD soprattutto per basse frequenze



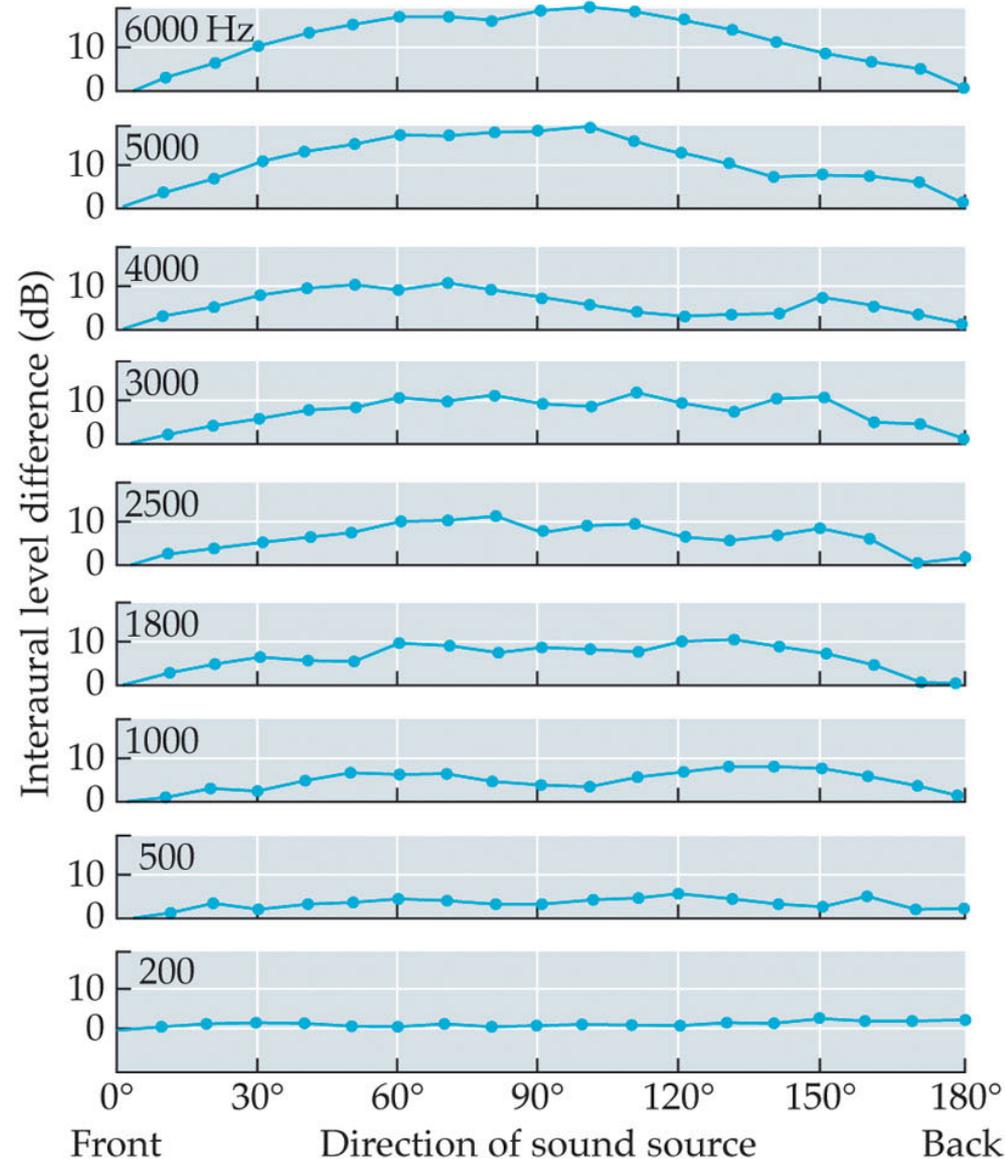
LOCALIZZAZIONE DEI SUONI: IID

I suoni risultano più intensi per l'orecchio più vicino alla sorgente sonora

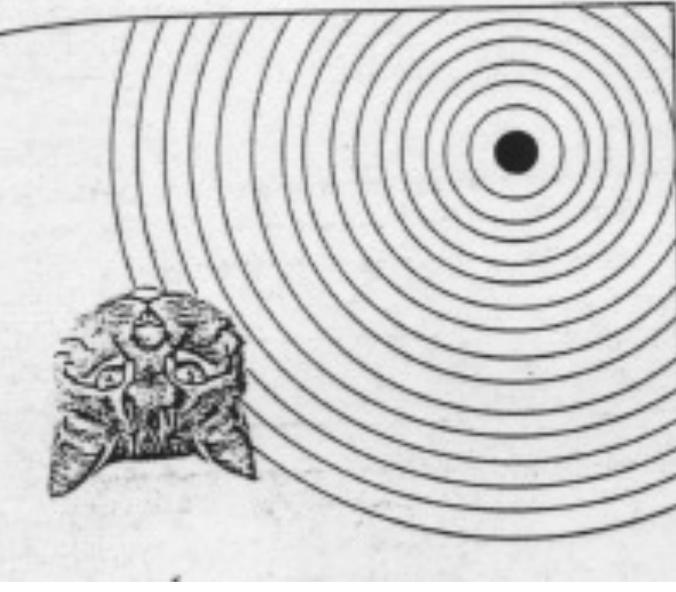
IID è massima per 90° e -90° , mentre è nulla per 0° e 180°

- IID correla con la direzione della sorgente ma la correlazione non è così forte come per l'ITD

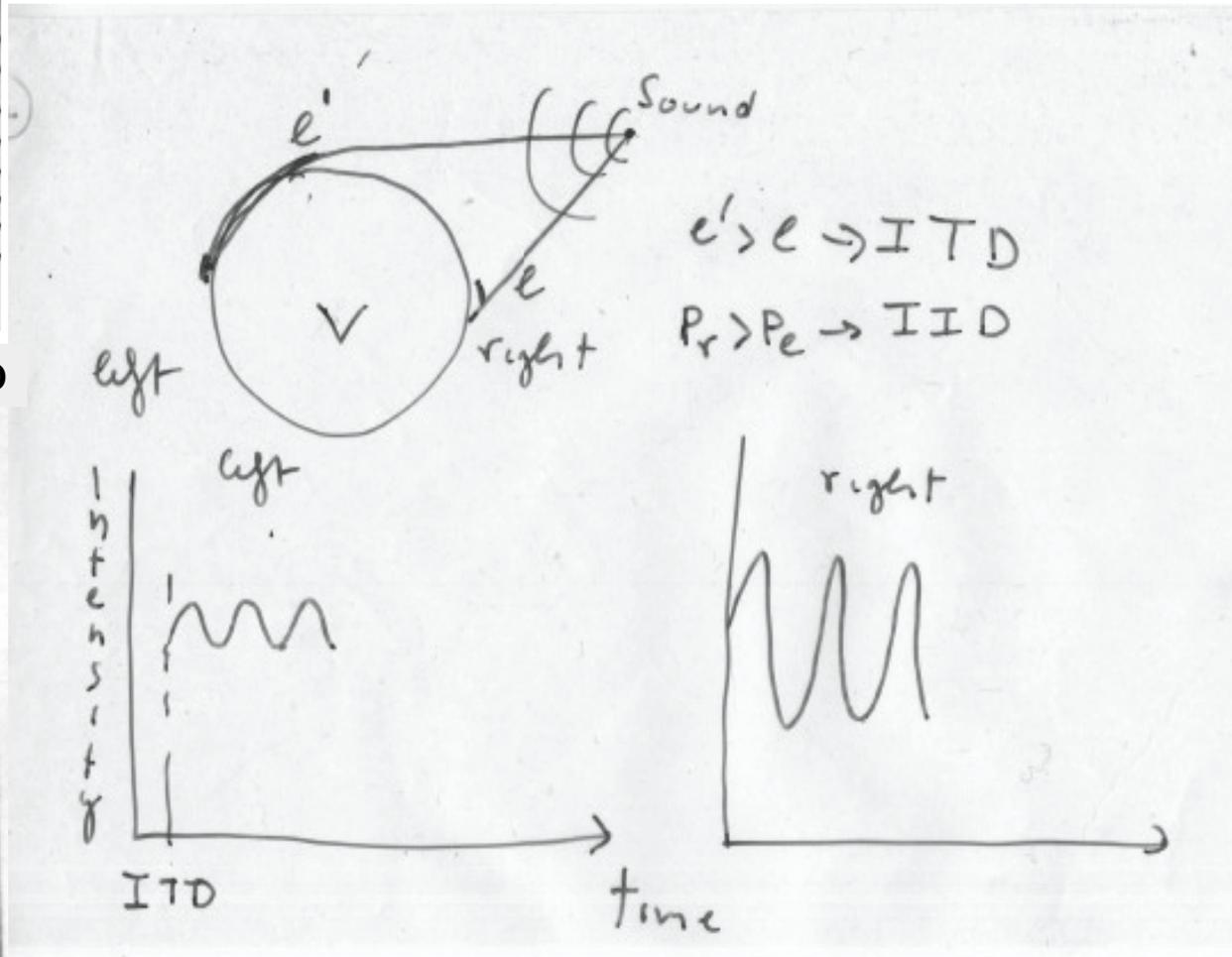
- La localizzazione basata su IID è usata prevalentemente per suoni ad alta frequenza



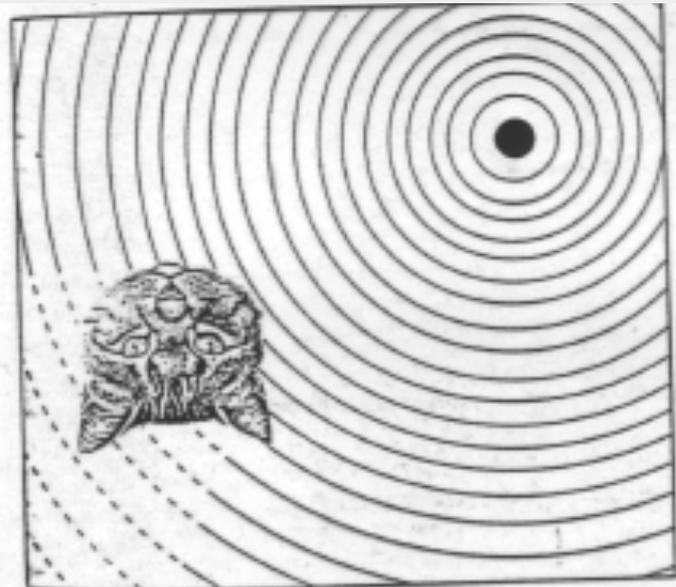
ITD Operative at low frequency, MSO

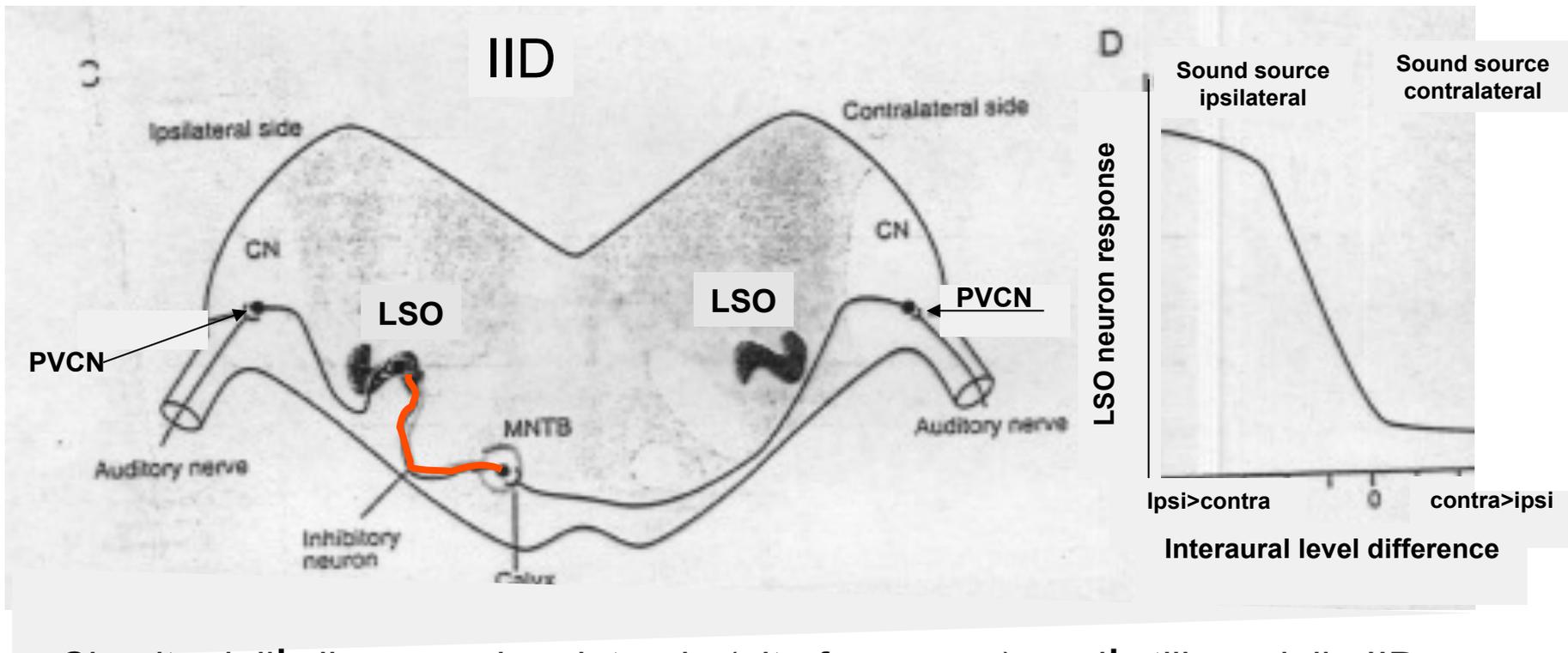


Indizi binaurali per la localizzazione del suono



IID Operative at high frequency, LSO

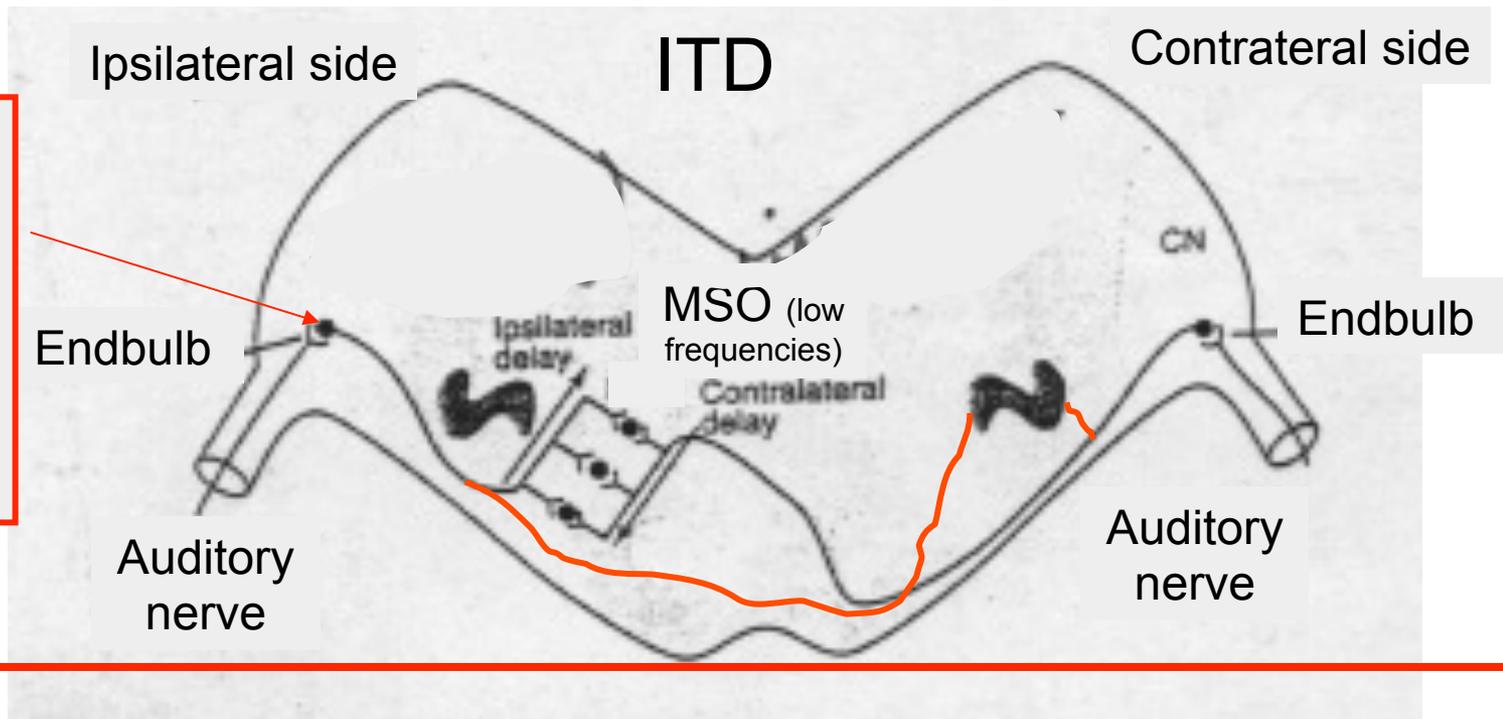




Circuito dell' oliva superiore laterale (alte frequenze) per l' utilizzo della IID.

Le cellule della oliva superiore laterale ricevono ingresso eccitatorio dal nucleo cocleare posteroventrale ipsilaterale (globular bushy cells) ed inibitorio (linea rossa) attraverso il corpo trapezoide (neuroni inibitori) che ricevono una connessione eccitatoria dal nucleo cocleare posteroventrale controlaterale (globular bushy cells). Il grande terminale presinaptico sui neuroni del corpo trapezoide prende il nome di calice.

Questo arrangiamento fa sì che i neuroni della LSO rispondono progressivamente meno vigorosamente a suoni localizzati progressivamente meno ipsilateralmente.



Schema del circuito responsabile per la localizzazione binaurale del suono basata sulla ITD (modello di Jeffress).

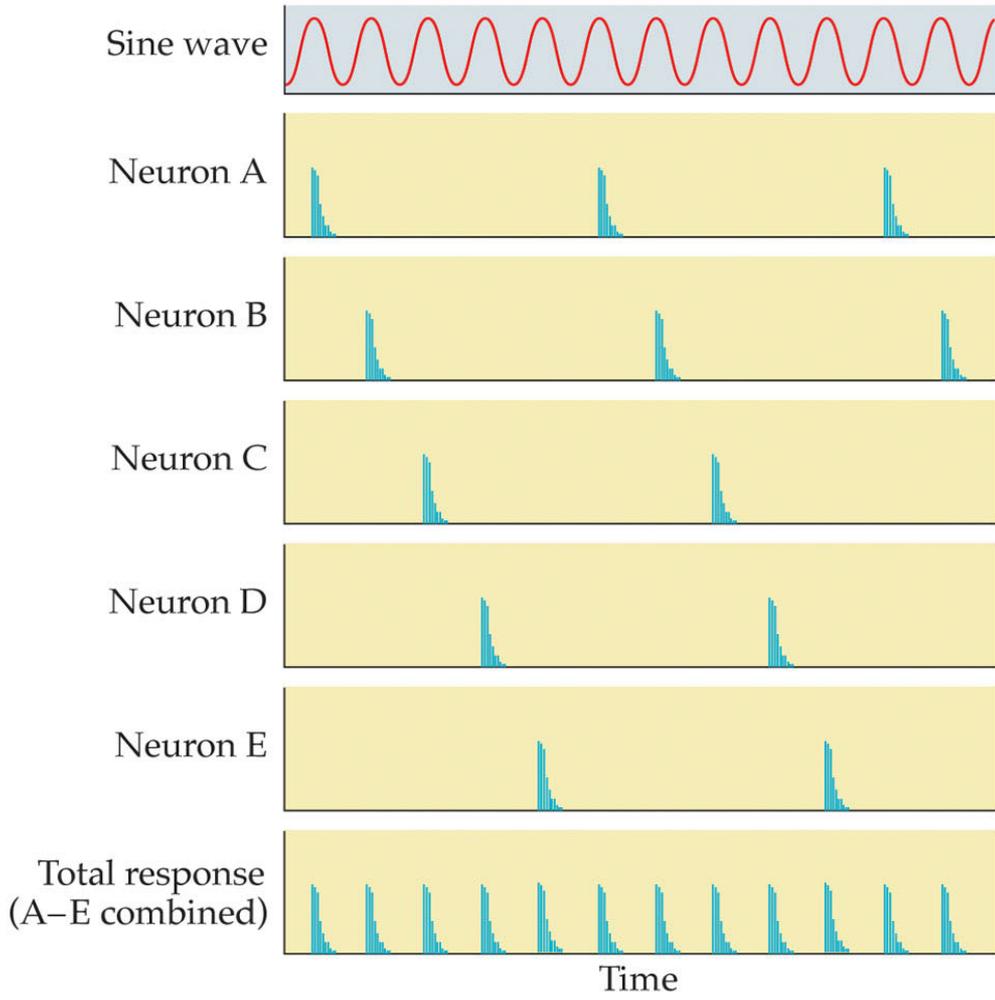
Le fibre del nervo acustico terminano sulle cellule a cespuglio (corpo cellulare sferico) attraverso la sinapsi “endbulb” di Held. Le cellule a cespuglio proiettano bilateralmente, così che le cellule della MSO ricevono da entrambi i nuclei cocleari, ipsi e controlaterale, diventando così binaurali.

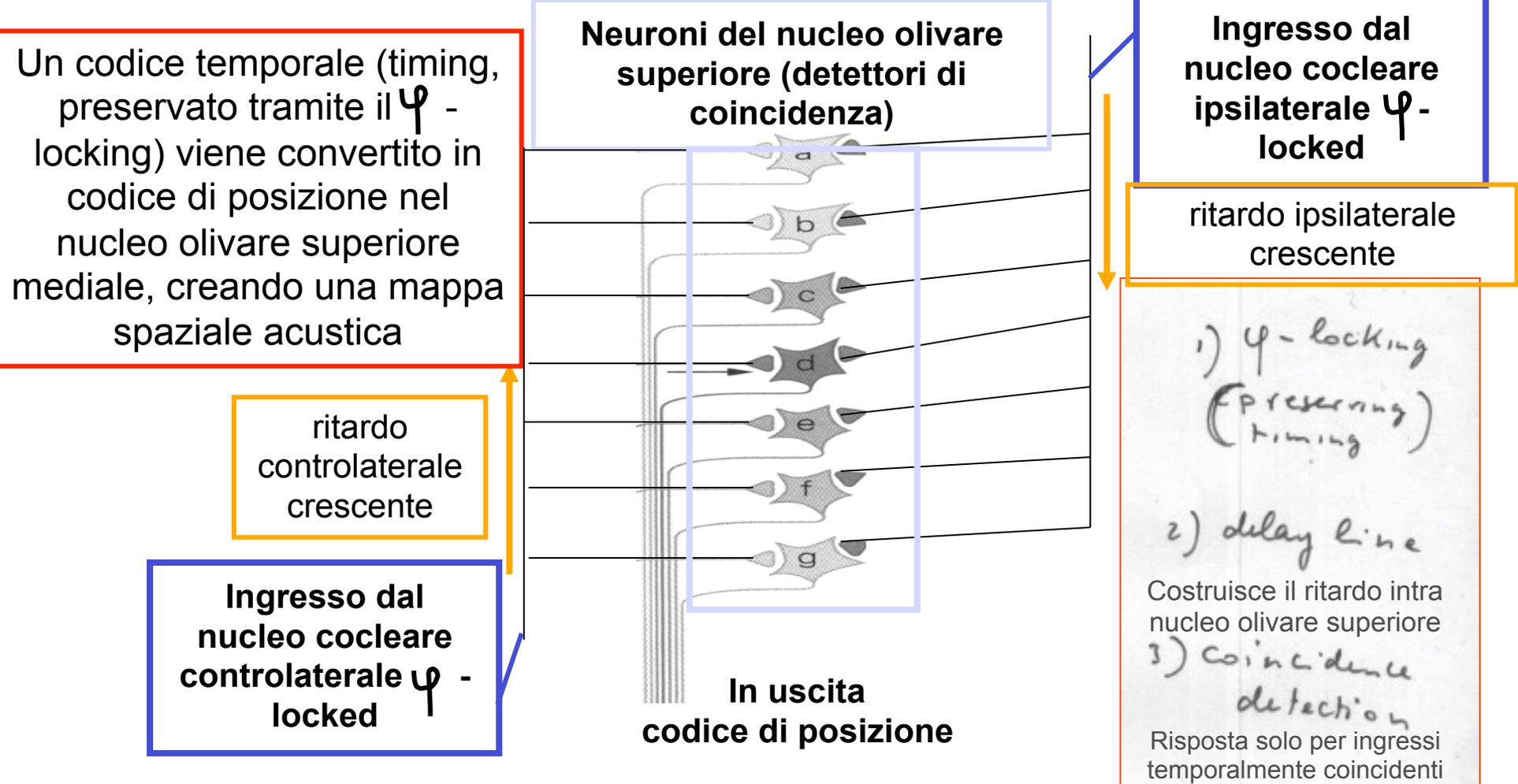
Le caratteristiche principali della elaborazione dell'informazione acustica lungo questa via sono: Ψ -lock, costruzione linea di ritardo, presenza di detettori di coincidenza nella MSO

CODIFICA TEMPORALE

Phase-locking

Si può ottenere un codice temporale mediante la scarica di una popolazione di neuroni in cui ognuno scarica ad un certo punto del periodo (aggancio di fase) ma non in tutti i periodi.





Modello di Jeffress. Schema del circuito per la localizzazione della direzione di provenienza del suono nei nuclei olivari superiori mediali. I neuroni binaurali del nucleo olivare superiore, porzione mediale, avranno la massima frequenza di scarica quando gli ingressi dall'orecchio ipsilaterale (OI) e controlaterale (OC) arrivano simultaneamente. Data la diversa lunghezza delle vie assionali ipsi e controlaterali per neuroni a profondità diverse nel nucleo, la coincidenza dell'arrivo degli ingressi monoaurali ai diversi neuroni si realizzerà per suoni la cui origine è in punti diversi lungo il meridiano orizzontale. Ad esempio, il neurone **d** risponderà meglio per stimoli che arrivano simultaneamente alle due orecchie (stimoli frontali); il neurone **g** risponderà meglio quando il suono è lateralizzato dalla parte dell'OI, in quanto il ritardo nell'arrivo del suono all'OC compensa per il più corto percorso assonale.

Localizzazione dei suoni lungo il meridiano verticale: indizi monaurali

Amplificazione o attenuazione di certe frequenze dipendentemente dalla
posizione della sorgente sonora

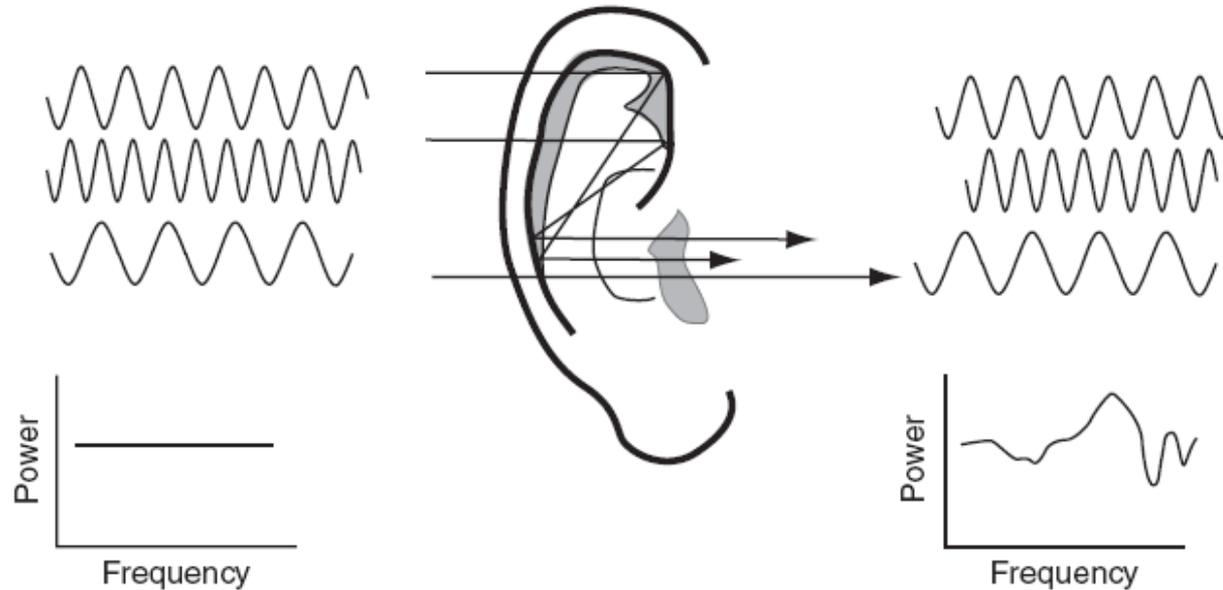
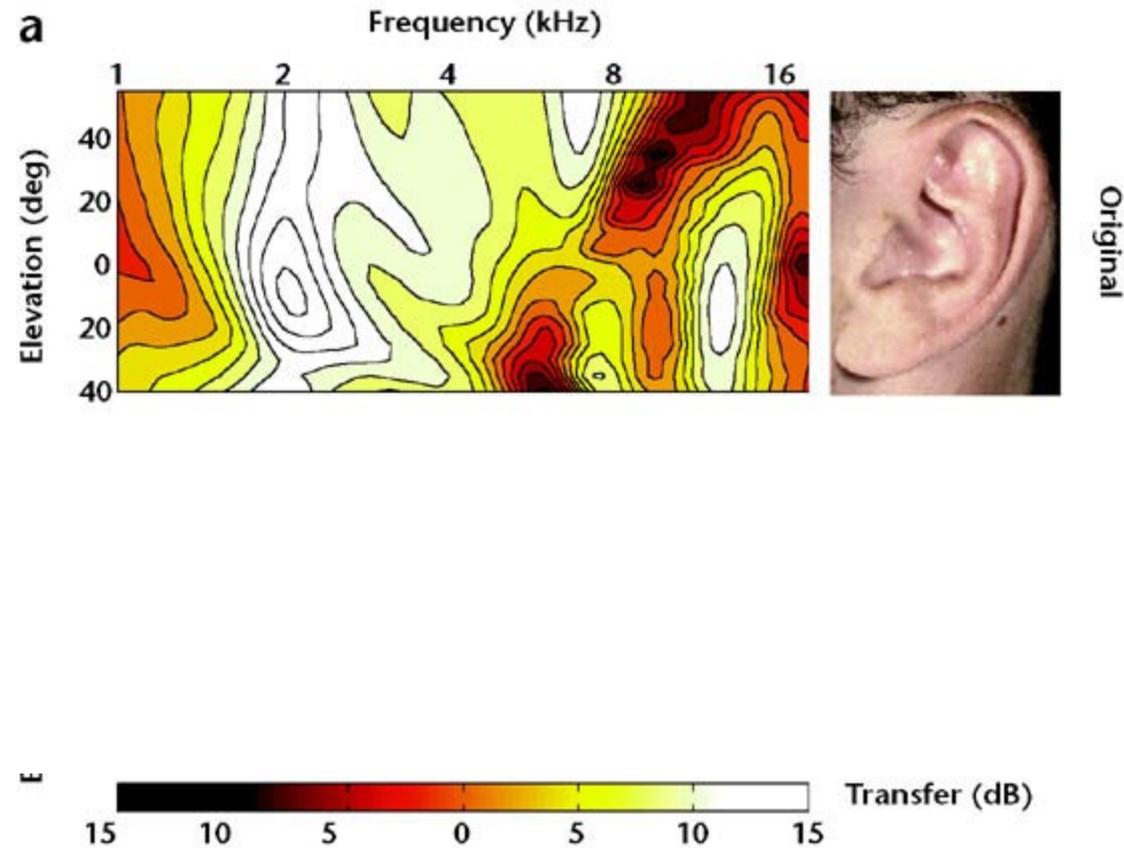


FIGURE 1 | Generation of head-related transfer functions. Schematic representation of how the pinna can influence the stimulus spectrum from the sound in air to the sound in the ear canal. A stimulus with a flat frequency spectrum (broadband noise) is composed of multiple different frequency components (left). These frequencies will be reflected off of different portions of the pinna (middle) depending on the stimulus frequency, causing delays when that frequency energy reaches the ear canal. This results in the amplification and attenuation of certain frequencies (right) known as spectral peaks and notches, depending on the spatial location of the stimulus. Not shown are similar influences of the head and body.



Vulcan ears



Abbiamo imparato e
 continuiamo ad imparare
 a localizzare il suono
 lungo il meridiano
 verticale usando le pliche
 delle nostre orecchie

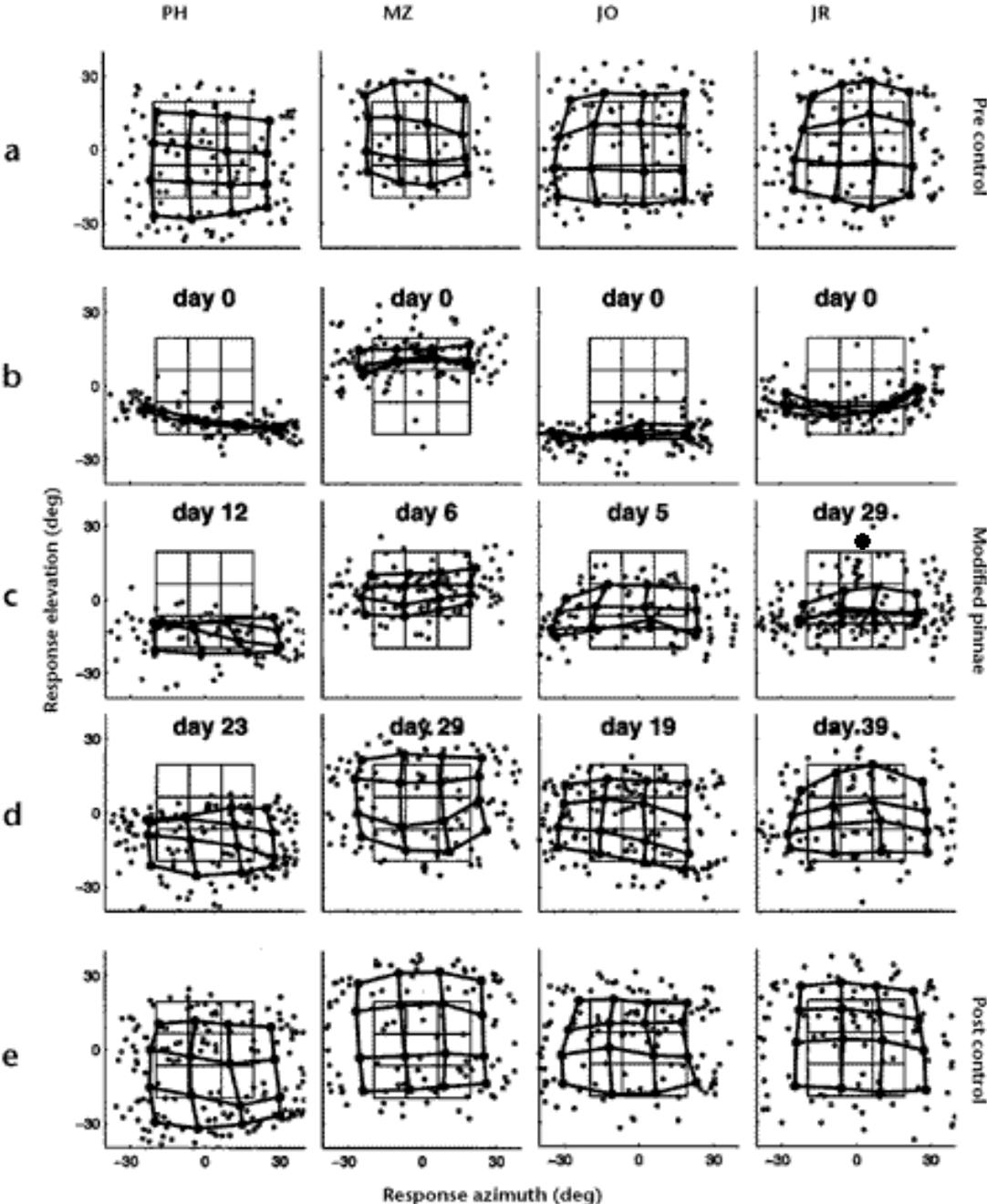
Effects of molds on pinna acoustic transfer. The human pinna filters the acoustic spectrum in a direction-dependent way. **(a)** Normal pinna transfer functions of the left ear of one subject.

A value of zero dB indicates that the presence of the head and pinna does not change the sound pressure amplitude of a tone at that particular frequency and elevation. Light colors correspond to sound amplification; dark areas refer to sound attenuation. Hofman PM et al., 1998

Adaptation to altered spectral cues.

Localization behavior of all four subjects (from left to right) before, during and immediately after the adaptation period.

Day zero marks the start of the adaptation experiment. The panels show, for each subject, the individual saccade vector endpoints in the azimuth-elevation plane (symbol \circ). In addition, the saccade vectors were also averaged for targets belonging to similar directions by dividing the target space into sixteen half-overlapping sectors. Averaged data points (symbol \bullet) from neighboring stimulus sectors are connected by thick lines. In this way, a regular response matrix indicates that the subject's saccade endpoints capture the actual spatial distribution of the applied target positions. The target matrix, computed in the same way as the saccade matrix, has been included for comparison (thin lines). **(a)** Results of the pre-adaptation control experiment on day zero, immediately preceding the application of the molds. **(b)** Localization responses immediately after inserting the molds (day 0). Note the dramatic deficit in elevation responses for all subjects. **(c)** Results during the adaptation period after twelve (PH), six (MZ), five (JO) and 29 (JR) days of continuously wearing the ear molds. **(d)** Results near the end of the adaptation period. Stable and reasonably accurate localization behavior has been established in all subjects. **(e)** Results of the control condition, immediately after removal of the molds. All subjects localized sounds with their original ears equally well as before the start of the experiment several weeks earlier.



Il collicolo inferiore è una struttura estremamente complessa, suddivisibile in strati concentrici; ogni strato possiede cellule con la stessa frequenza caratteristica, per cui nel collicolo inferiore la mappa tonotopica si estende in direzione perpendicolare agli strati.

I neuroni del collicolo inferiore sono binaurali, sensibili sia al ritardo che alla differenza di intensità interaurale. Questo ha suggerito che il collicolo inferiore sia coinvolto nella localizzazione della direzione di provenienza del suono.

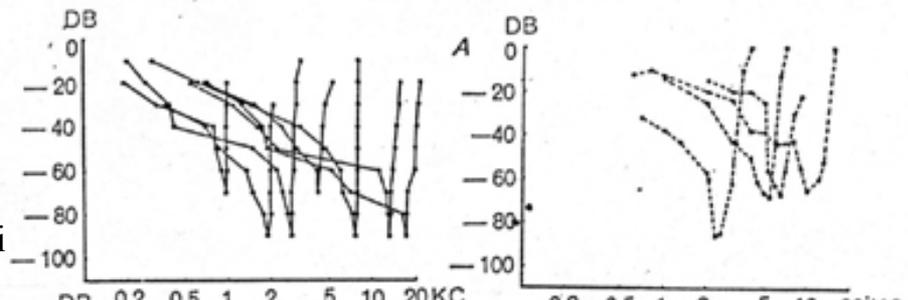
I neuroni del collicolo inferiore proiettano al nucleo talamico acustico, il nucleo genicolato mediale.

In questa struttura è presente una organizzazione tonotopica e le risposte dei neuroni sono estremamente selettive per la frequenza caratteristica, più che nei neuroni del collicolo inferiore. Sono presenti anche neuroni sensibili ai ritardi ed alle differenze di intensità interaurale.

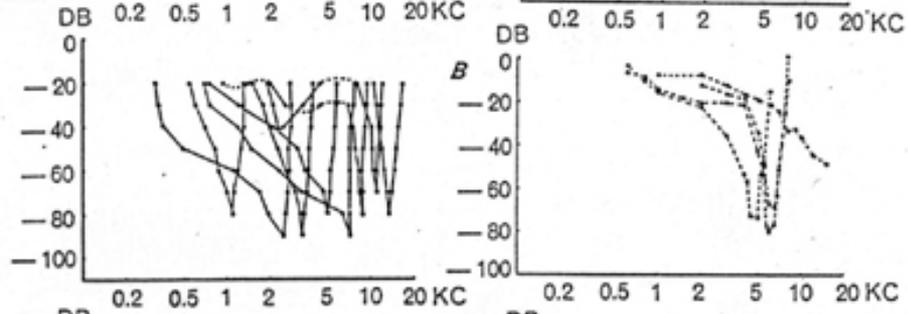
I neuroni del nucleo genicolato mediale proiettano principalmente alla corteccia acustica primaria, area A1, (o area 41/42 di Brodman), situata nel giro di Heschl, nel lobo temporale

La selettività alla frequenza si affina lungo la via acustica

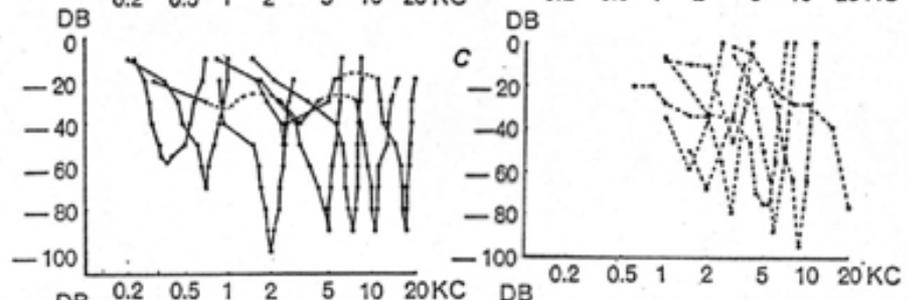
Organo del Corti



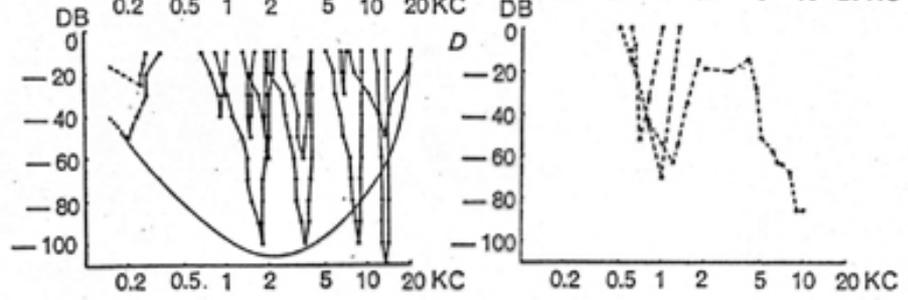
Nucleo Cocleare Dorsale



Corpo Trapezoidale



Tubercolo quadrigemino posteriore



La corteccia acustica

Tre aree acustiche primarie localizzate nel lobo temporale. Ciascuna con una mappa tonotopica, ricevono tutte ingresso talamico diretto: le aree A1, R, RT.

Queste aree costituiscono il “core” (il “nucleo”) della corteccia acustica.

Queste aree proiettano ad aree secondarie localizzate nella “cintura” corticale che circonda il “core”. La “cintura” (belt) contiene 8 aree ciascuna con una mappa tonotopica.

Lateralmente sta il “parabelt” di organizzazione anatomo-funzionale ancora poco chiara.

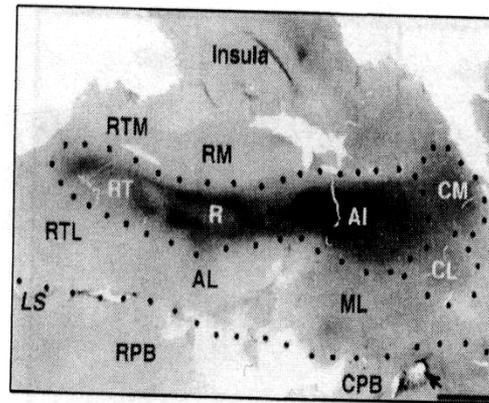
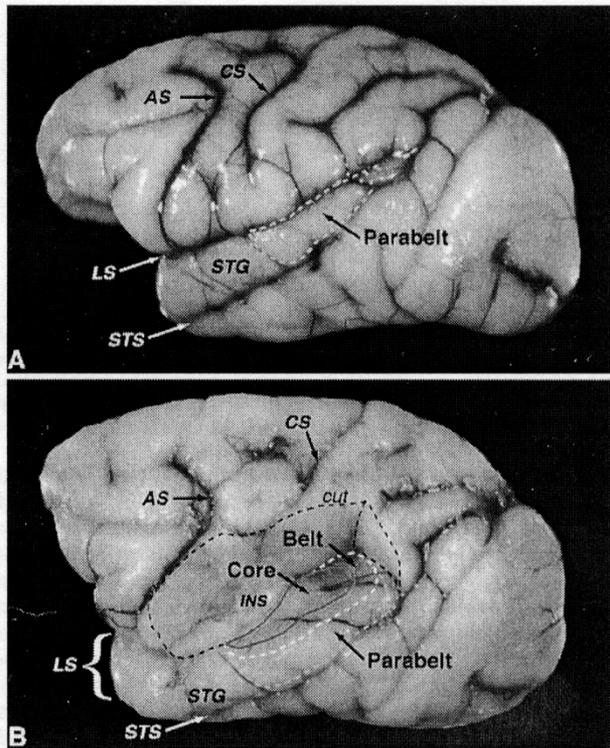


Fig. 4. Architectonic fields in auditory cortex. Macaque brain section flattened and cut parallel to pial surface at 40 μ m. Parvalbumin immunohistochemistry. The core fields are the most darkly stained. The caudal belt fields (ML, CL, CM) are moderately dark. Scale bar = 5 mm. Adapted from ref. 5. See Fig. 1 for abbreviations.

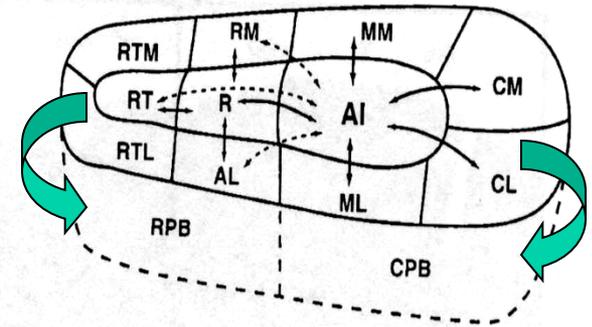


Fig. 5. Auditory cortical connections of AI. Area AI, as well as other core areas, has dense reciprocal connections with adjacent areas of the core and belt (solid lines with arrows). Connections with nonadjacent fields are less dense (dashed lines with arrows). The core has few, if any, connections with the parabelt or more distant cortex. See Fig. 1 for abbreviations.

I dati disponibili sulle caratteristiche dei neuroni della corteccia uditiva sono enormemente inferiori a quelli disponibili sulle proprietà dei neuroni corticali visivi.

Nella corteccia acustica primaria, i neuroni sono binaurali, selettivi per le frequenze acustiche e sono organizzati in **colonne di isofrequenza** ed in **colonne** alternate di **sommazione** o **soppressione**.

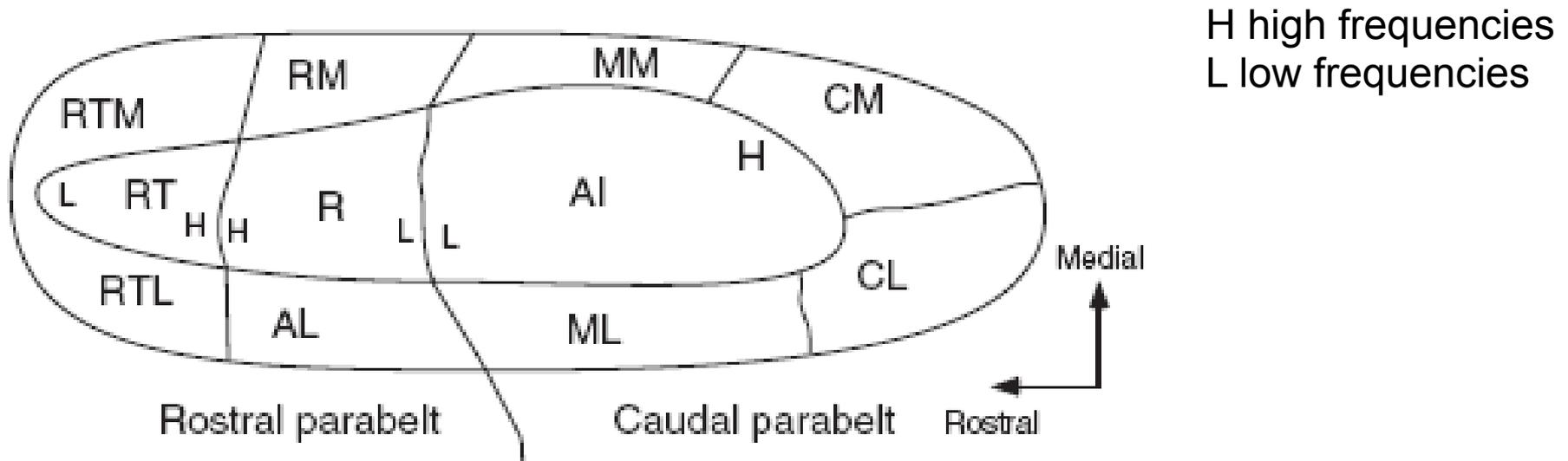
Nelle colonne di isofrequenza, tutti i neuroni hanno la stessa frequenza caratteristica.

Nelle colonne di sommazione i neuroni sono eccitati dalla stimolazione di entrambe le orecchie, anche se l' orecchio controlaterale è in genere dominante. Nelle colonne di soppressione i neuroni sono eccitati dalla stimolazione di un orecchio ed inibiti dalla stimolazione dell' altro orecchio.

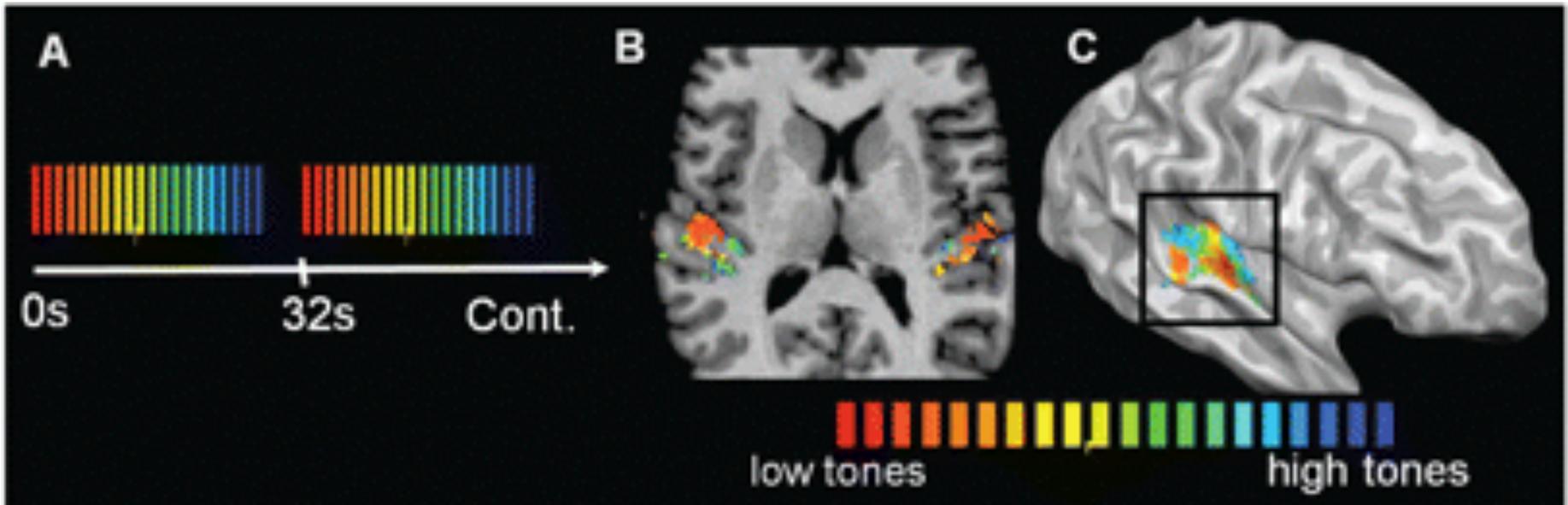
L' organizzazione colonnare, che abbiamo visto nella corteccia visiva, è quindi presente anche nella corteccia acustica.

Le colonne di isofrequenza sono organizzate in bande che corrono grosso modo in direzione medio-laterale. Quindi, una particolare frequenza è rappresentata come una banda di tessuto corticale, spesso come lo spessore della corteccia.

Queste bande progrediscono dalle frequenze alte nella regione caudale di A1 alle frequenze basse nella regione rostrale di A1, al bordo con l'area R. Qui c'è una inversione del gradiente, con le frequenze basse nella parte caudale di R e le alte alla parte rostrale, e di nuovo una inversione per RT.



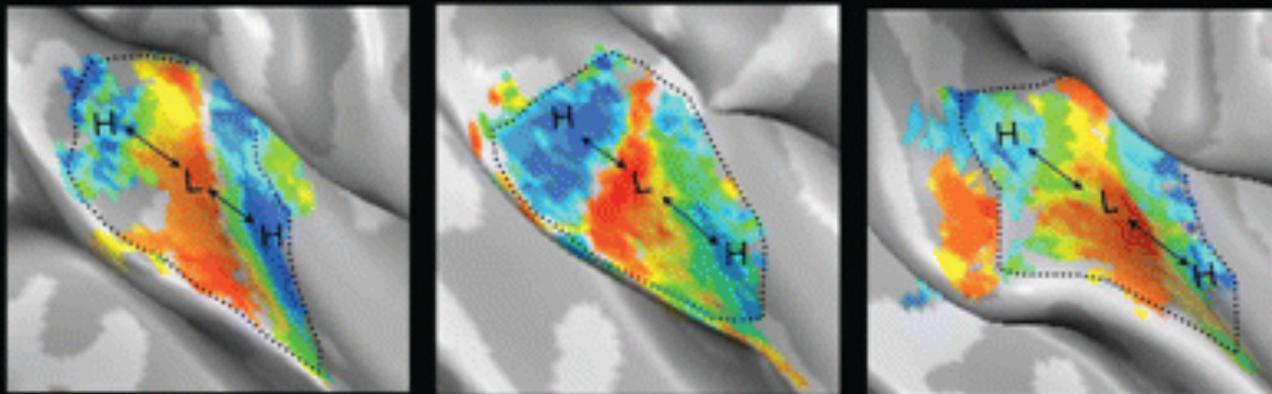
Tonotopic maps in human auditory cortex.



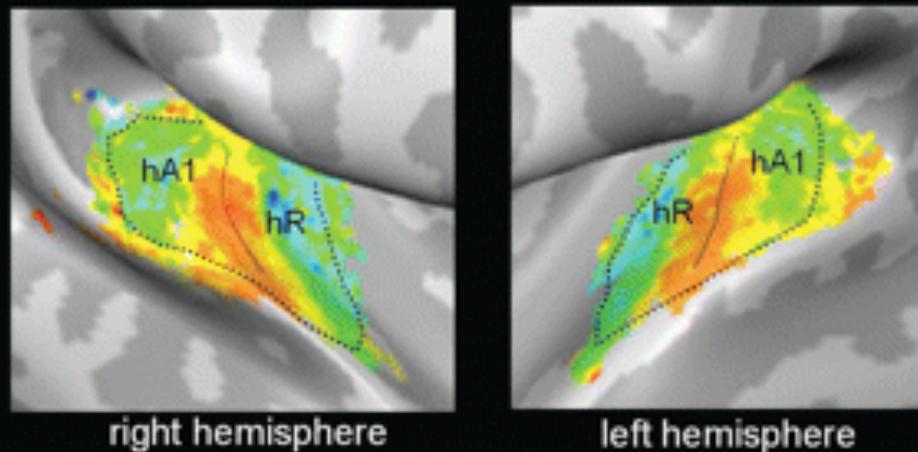
fMRI, 7 Tesla. **A**, Sound stimuli were pure tone bursts presented in cycled progressions from low frequencies to high: 88 to 8000 Hz in half-octave steps. Each 28 s progression from low to high (red-to-blue color scale) was followed by a 4 s stimulus pause. Sound stimuli were designed to induce a traveling wave of response across cortical tonotopic maps: fMRI responses peak sooner in map regions preferring low frequencies and progressively later in regions preferring higher frequencies. Linear cross-correlation analysis was used to determine the temporal delay that best fit the observed fMRI response time course of each voxel and to assign a corresponding best frequency. **B**, Analyses were performed in each individual subject's ($n = 10$) volumetric space. **C**, Resulting color-coded frequency maps were projected onto each subject's cortical surface meshes. Surfaces were minimally inflated to expose the auditory cortex on the temporal plane.

De Costa et al., 2011

D Individual subject maps (3 sample right hemispheres)



E Group Average (across 10 subjects)



D, In 20/20 hemispheres, two primary mirror-symmetric tonotopic maps (high-to-low-low-to-high) were observed, and three sample right hemispheres are shown with a voxelwise threshold of $p < 0.05$ (FDR corrected). The posterior (high-to-low) and anterior (low-to-high) maps contain the regions hA1 and hR, respectively, and the low-frequency union between the two maps is the hA1–R border. Dotted lines indicate how surface patches containing the two maps were defined for the next step of analysis. **E**, Group averaged tonotopic maps across all 10 subjects after cortex-based alignment indicates the consistency of tonotopic map location relative to Heschl Gyrus (HG). Correlation threshold $R > 0.15$

Studi iniziali: lesioni in A1 compromettono la capacità di localizzare i suoni nell'emicampo controlaterale.

Se la lesione in A1 è localizzata, il deficit di localizzazione nell'emicampo controlaterale è specifico per le frequenze acustiche rappresentate nella zona lesionata.

Studi successivi hanno mostrato che il deficit di localizzazione è però maggiore se la lesione include anche specifiche aree acustiche superiori ad A1.

Questo suggerisce che la localizzazione spaziale coinvolge anche aree successive al core.

Surrounding the core are several regions arranged in a belt, called the belt auditory fields, each of which receives input from non ventral divisions of the MGB as well as from their neighbouring core fields.

Lateral to the belt cortical areas are two additional auditory cortices called the parabelt areas, one caudal and one rostral. These regions receive input from the lateral belt fields. Thus, information is processed serially from the core to the belt to the parabelt.

There is also a parallel processing from the core, with separate pathways for spatial and non spatial auditory processing.

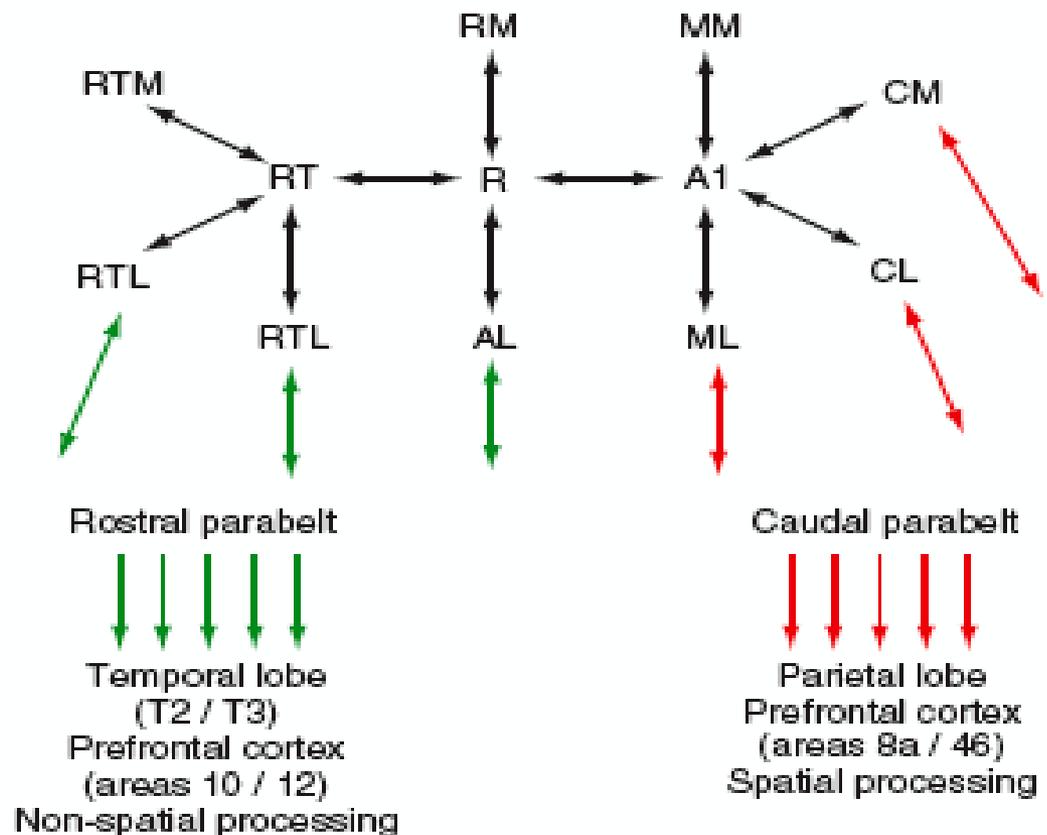
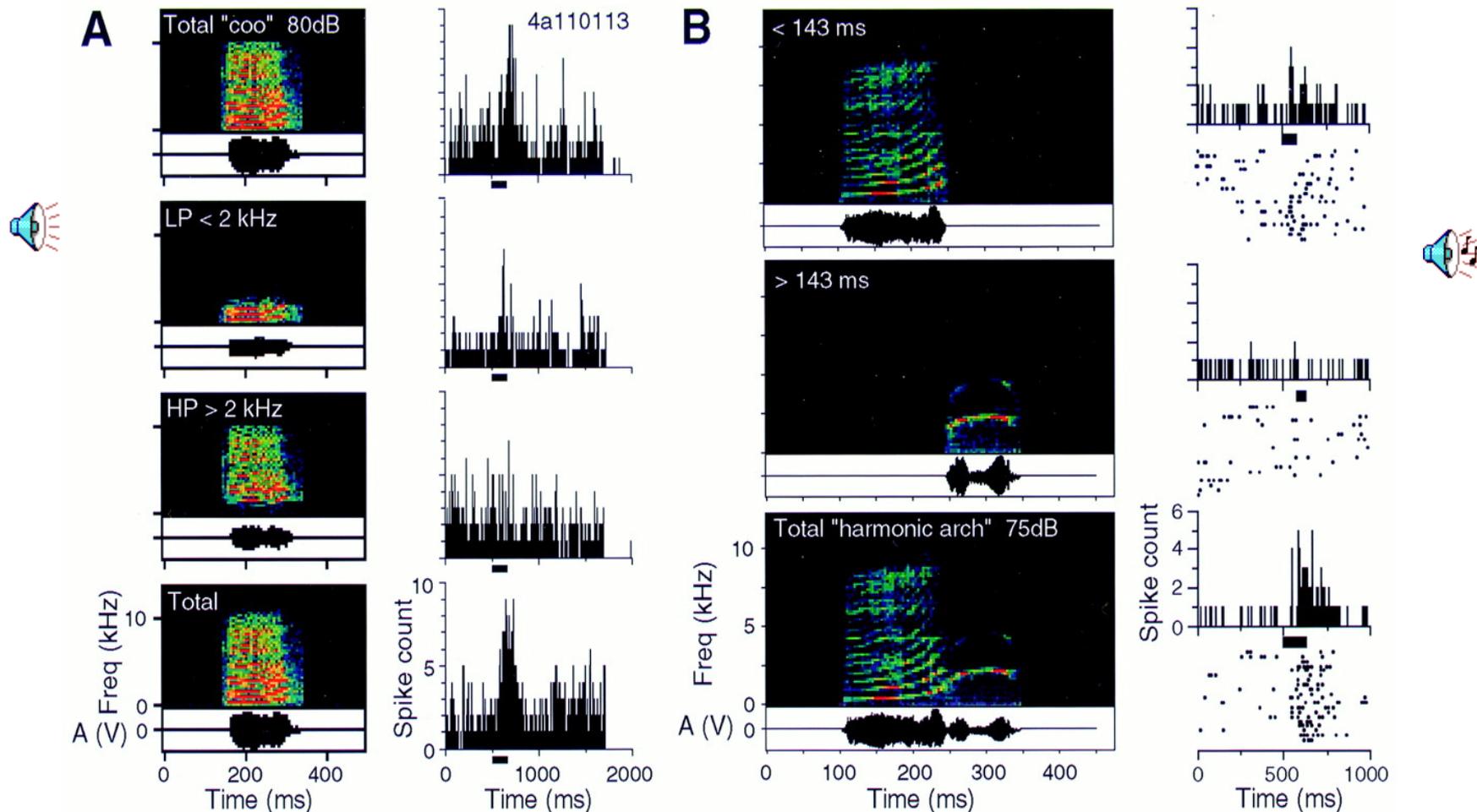
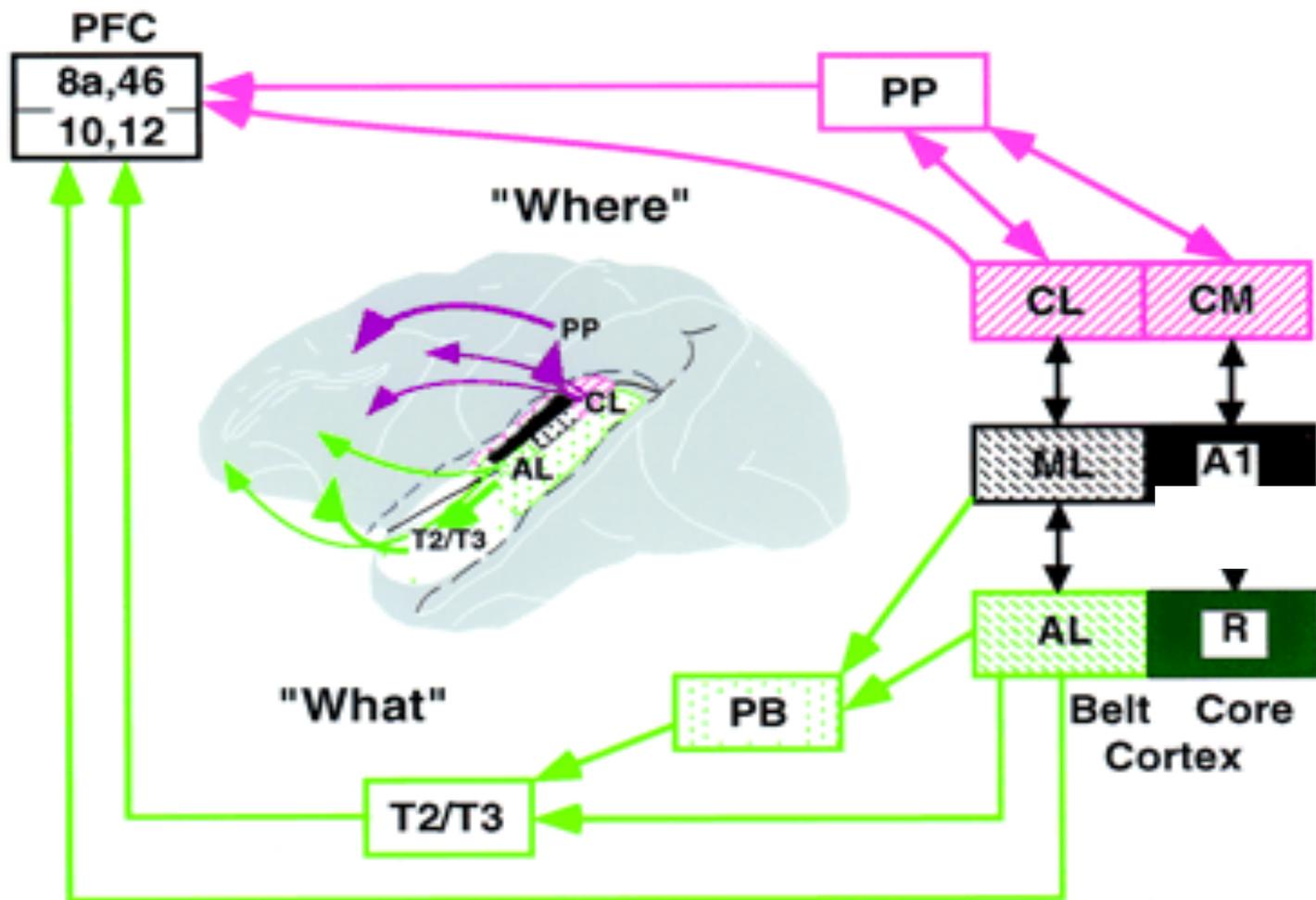


FIGURE 5 | Dual-stream hypothesis based on the intracortical connections of the auditory cortex. Schematic representation of the interconnections of the core with the belt, parabelt, and other cortical areas. These fields are strongly interconnected with their neighboring cortical fields, but not with fields beyond their immediate neighbors. Red arrows denote pathways that are hypothesized to represent spatial processing, whereas green arrows denote the non-spatial pathways based on the dual-stream hypothesis proposed in Ref 16. The multiple arrows from the parabelt fields denote serial connections to multiple cortical areas including the prefrontal areas associated with the spatial and non-spatial processing of visual information.

Le aree acustiche superiori analizzano stimoli complessi

Neuroni delle aree della "cintura" rispondono bene solo a stimoli complessi e comportamentalmente rilevanti. I neuroni dell'area AL sono abbastanza selettivi per il tipo di stimolo. Al contrario i neuroni dell'area CL rispondono in modo selettivo per la posizione della sorgente sonora e non per la composizione in frequenza dello stimolo





Ipotesi sull' esistenza di una via ventrale ed una via dorsale nel sistema acustico dei primati. La via ventrale del riconoscimento dei suoni (via del "What") è mostrata con le linee chiare; la via dorsale della localizzazione del suono (via del "Where") è mostrata con le linee scure. R ed A1: aree acustiche primarie. AL, ML, CL e CM: aree acustiche secondarie (aree della "cintura"). PP: corteccia parietale posteriore. PB, area acustica terziaria. T2/T3, aree acustiche temporali. PFC, corteccia prefrontale. Da: Rauschecker e Tian B.2000.

Riscontri recenti con tecniche di neuroimmagine nell' uomo

Compito di localizzazione sonora: attività nella Cx PP, 8 cm sopra il sito attivo per compiti di localizzazione visiva

Compito di discriminazione di suoni: attività in regioni temporali diverse a seconda del tipo di suoni

Nell' uomo, il sistema acustico, oltre a fornire i mezzi per orientarsi e localizzare sorgenti sonore, è implicato nel riconoscimento dei suoni e, normalmente, nell' elaborazione del linguaggio.

Come è evidente da quanto detto sopra, abbiamo pochissime informazioni su come i suoni di carattere linguistico vengono elaborati dai singoli neuroni acustici.

Lo studio di pazienti con lesioni e le tecniche di neuroimmagine consentono di localizzare con precisione le aree corticali coinvolte nell' elaborazione linguistica nell' uomo ma la mancanza di modelli animali per l' elaborazione del linguaggio non consente di avere modelli in cui arrivare a livello dell' attività dei singoli neuroni.