

# RECEPTION

**SENSITIVITY** : the signal must be stronger than the background noise

$$E_{\text{THERM}} = \langle E_{\text{KIN}} \rangle \approx k_B T = \text{E CINETIC HEAT PER MOLECULE}$$

$$k_B \approx 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K} = \frac{R}{N_A}$$

$$\text{At } 25^\circ\text{C (298 K)} : R \cdot T \approx 0.6 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$$

- a) BLUE PHOTON :  $E = h\nu \approx 57 \frac{\text{kcal}}{\text{mol}}$   
(VISION)
- b) SOUND WAVES : range  $10 - 10^5 \text{ Hz}$ , the signal can be  
(HEARING) lower than  $E_{\text{THERM}}$
- c) CHEMOCEPTION :  $E_{\text{binding}} \approx 1 \text{ kcal/mol}$   
with  $K_d \approx 10^{-6} \text{ M}$  : association 3 ms (on average)  
 $K_d \approx 10^{-11} \text{ M}$  : " > 5 min

## ORECCHIO: 2 FUNZIONI

- a) UDITO (COCUA)
- b) PERCEZIONE DEL MOVIMENTO E DELL'EQUILIBRIO DEL CORPO NELLO SPAZIO.  
(LABIRINTO)

SUONO : ALTERNANZA di COMPRESSIONI E RAREFAZIONI  
PROPAGATE dall'ARIA a DIVERSE FREQUENZE  
(o proiettate da altri mezzi elastici)



CATTURA DELL'E MECCANICA : ORECCHIO ESTERNO

pedicella auricolare → meato uditivo → TIMPANO



TRASMISSIONE ALL'ORGANO RECETTIVO : ORECCHIO MEDIO

cavità connesse alle faringe + 3 OSSICINI  
(martello, incudine, staffa)



TRASDUZIONE MECCANO-ELETTRICA :

ORECCHIO INTERNO

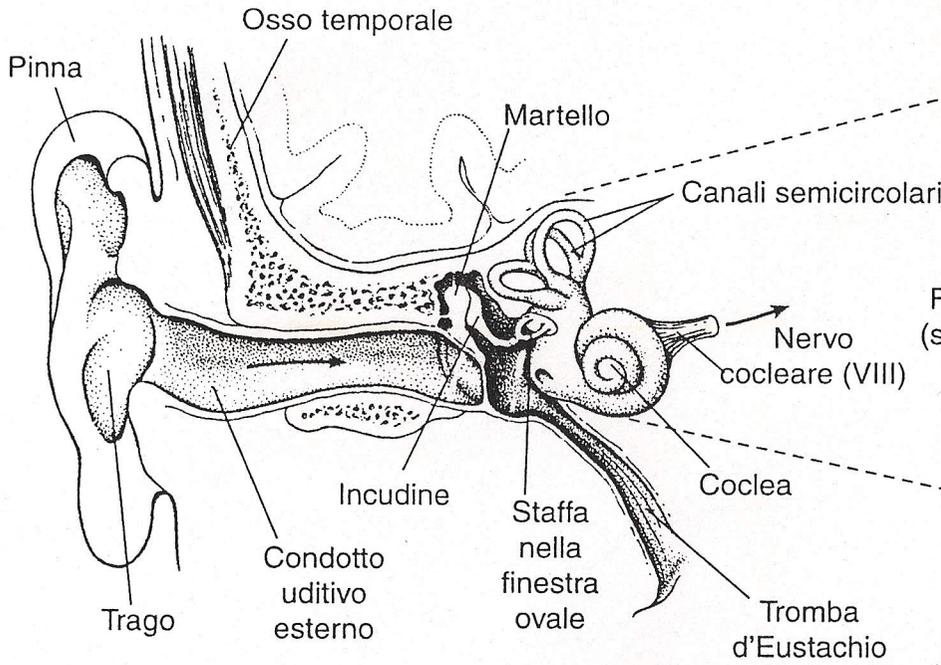
COCLEA e APPARATO VESTIBOLARE  
(CANALI SEMICIRCOLARI e ORGANI OTOLITICI)



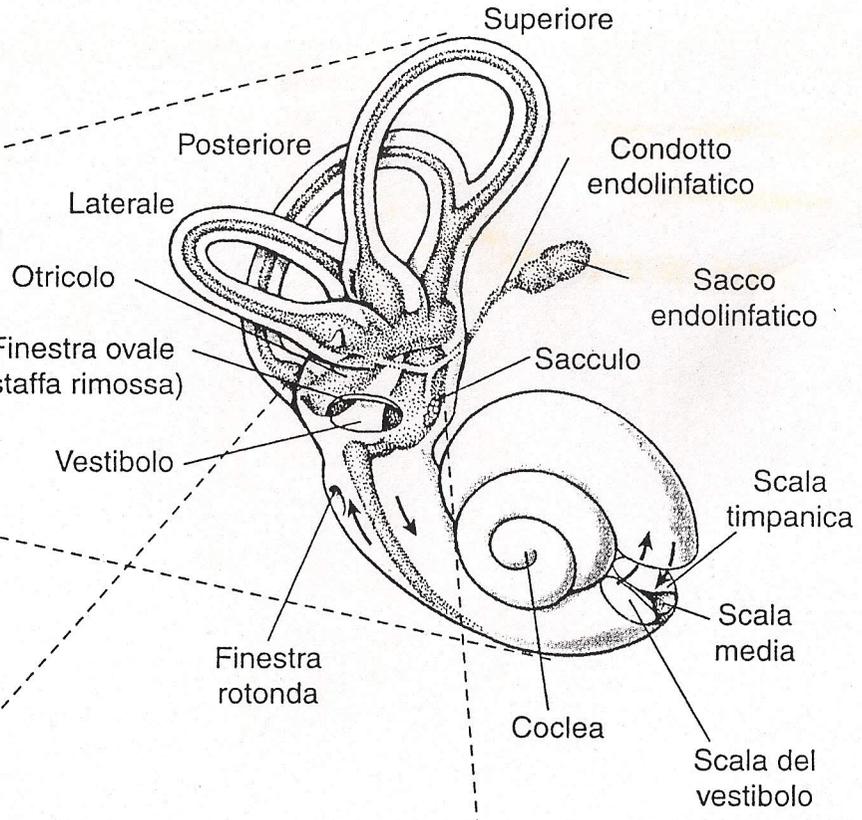
(sacculo e utricolo)

Randall et al. Fish Eye Animals.  
Zauchell.

A



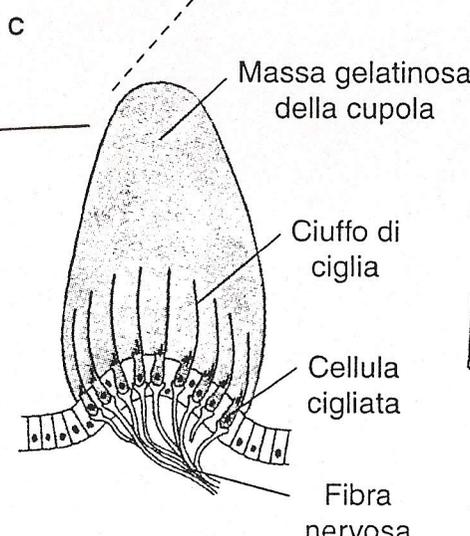
B



AMPOLLE (3)

ACCELERAZIONE  
(moviment  
dell'endolinfa)

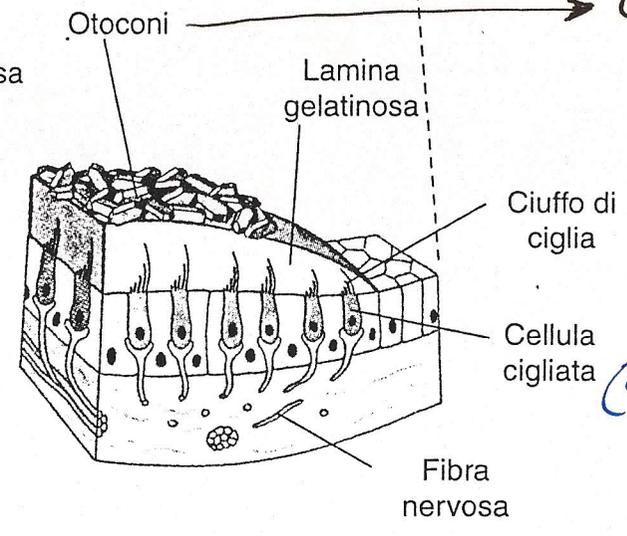
CRESTA AMPOLARE



GRAVITA

MACULE (2)

(ORIENTAMENTO VARIABILE)



## CANALI SEMICIRCOLARI

ATTIVAZIONE DELLE CRESTE AMPOLLARI

Soprattutto IN SEGUITO AD ACCELERAZIONI  
ANGOLARI (ROTAZIONI) DELLA TESTA

## SACCULO E UTRICOLO

ATTIVAZIONE DELLE MACULE

in seguito a

ACCELERAZIONI LINEARI (incluse G)

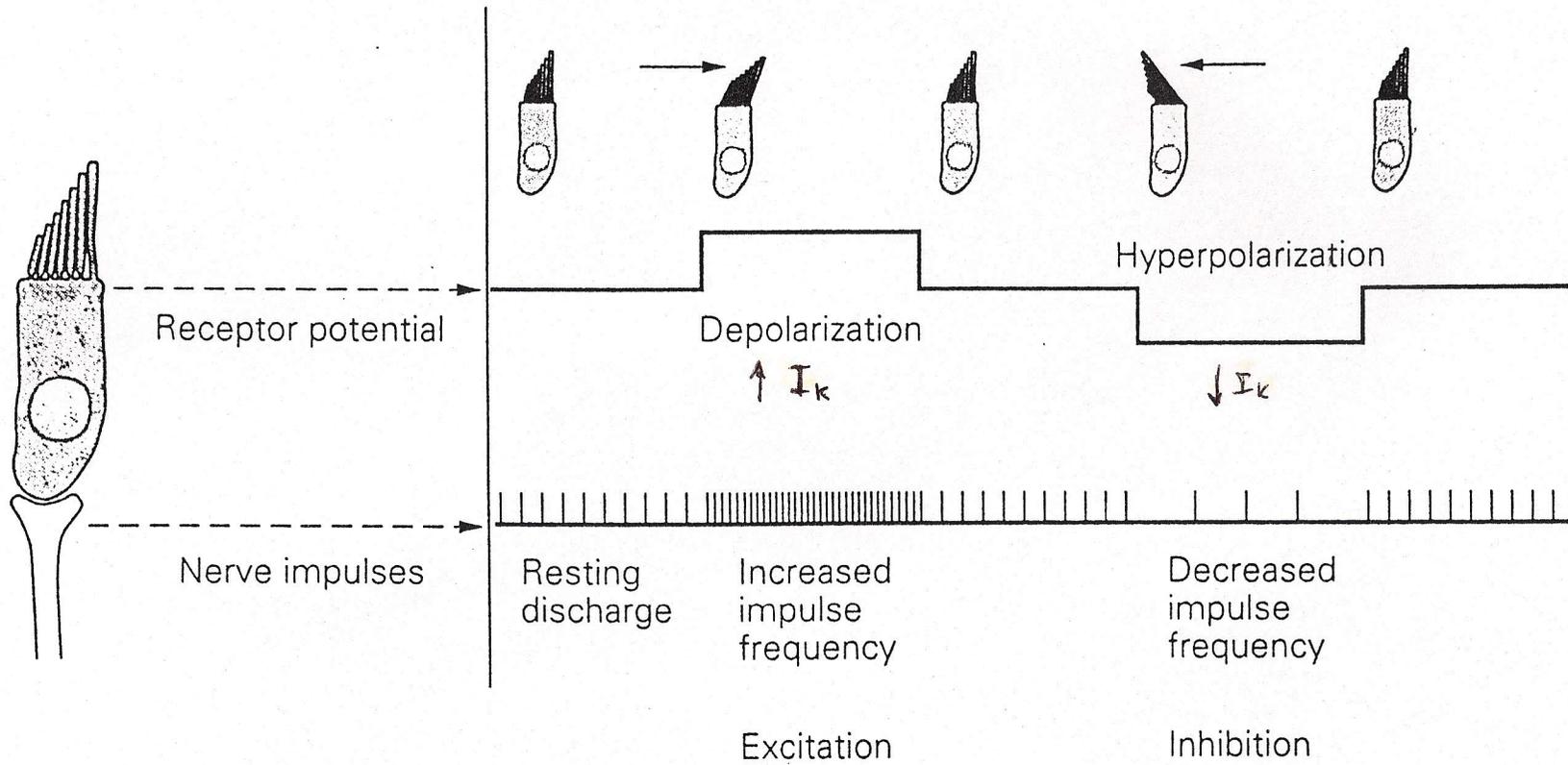
UTRICOLI : soprattutto ORIZZONTALI

SACCUOLI : " VERTICALI

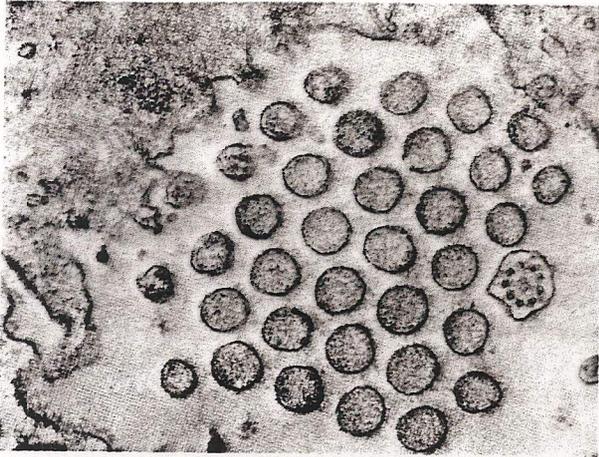
## IN CASO DI AMBIGUITÀ

IL CERVELLO INTEGRA LE INFORMAZIONI

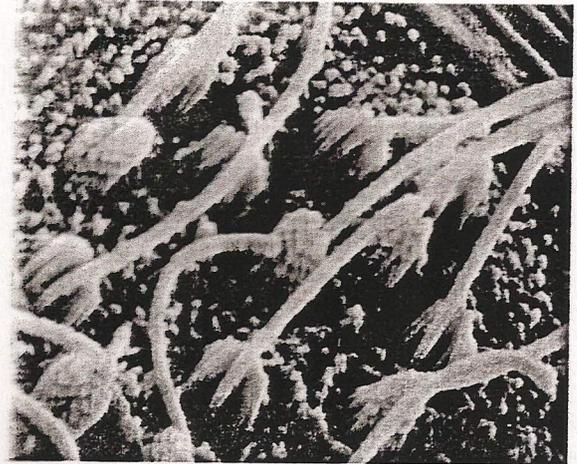
da : canali semicircolari, organi otolitici,  
sistema somatosensoriale, vista ... ecc.



A



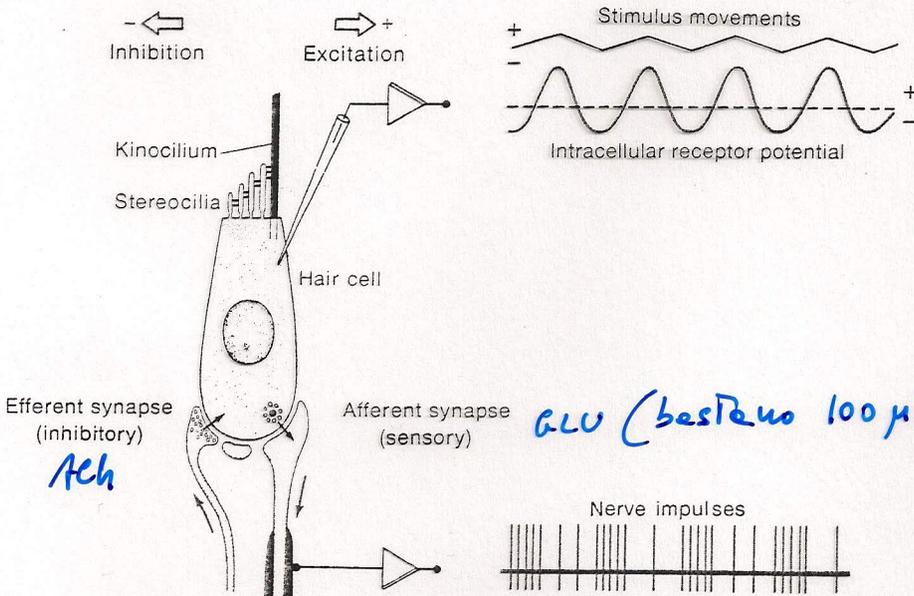
B



2 μm

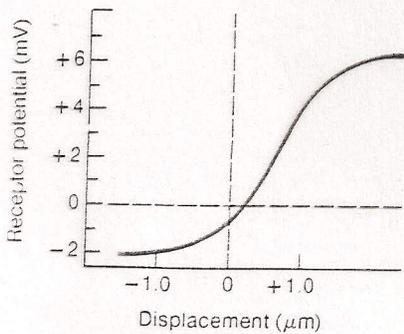
From: Randall et al. Animal Physiology - 1997

C



GLU (bastano 100 μV per un effetto sensibile)

D



↑  
I<sub>Ca</sub> ends a  
riposo

V<sub>R</sub> ≈ -60 mV

NO P.A.

150 mM K<sup>+</sup> } ENDOLINFA  
1 mM Na<sup>+</sup> }

LA PERCEZIONE Uditiva SEGUE ABBASTANZA BENE LA LEGGE  
di WEBER-FECHNER

AMBITO DINAMICO PER L'UDITO UMANO:

$$\frac{I_{\text{MAX TOLLERABILE}}}{I_{\text{MIN PERCEPIBILE}}} > 10^{12}$$

SERVE UNA SCALA LOGARITMICA (decibel, dB)

$$dB = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

(valore di riferimento)  
unità di  $W/m^2$   
 $I$  = intensità acustica

Ambito dinamico umano:

$$10 \log 10^{12} = 120 \text{ dB}$$

Corrisponde ad una variazione della  $P$  atmosferica

di circa 0.01%

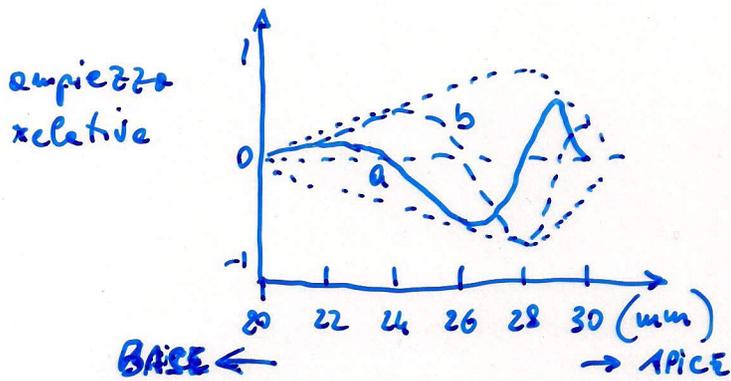
(e molto meno di 1 milionesimo per il Orecchio soglie)

## LIVELLO di PRESSIONE SONORA (SPL)

$$L = 20 \log \frac{P}{P_{REF}} = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2}$$

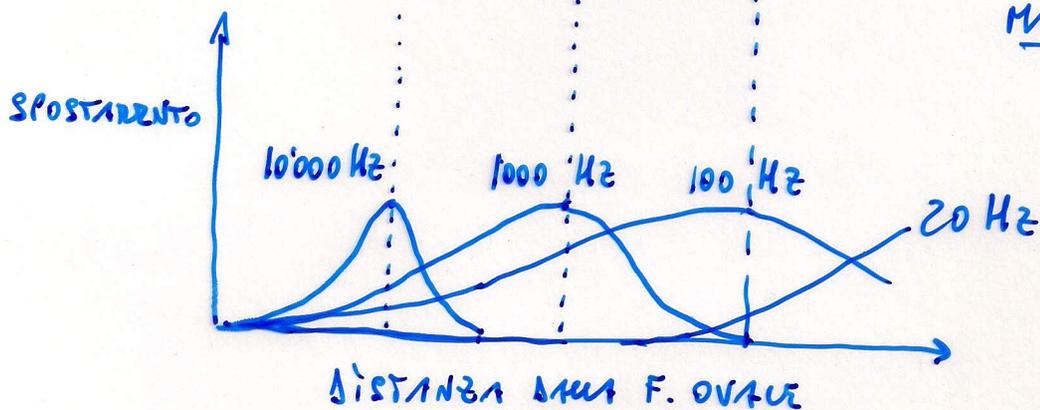
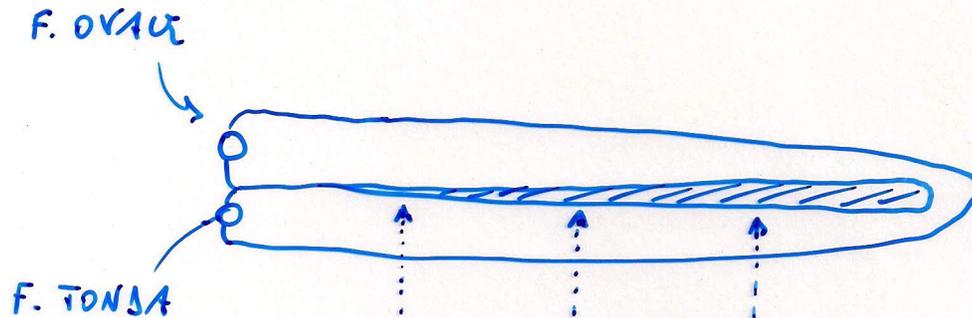
$P$  = valore rms (quadratico medio) della  
 $P$  sonora di un certo suono

$P_{REF} = 20 \mu Pa$  (valore umano a 1-4 kHz)



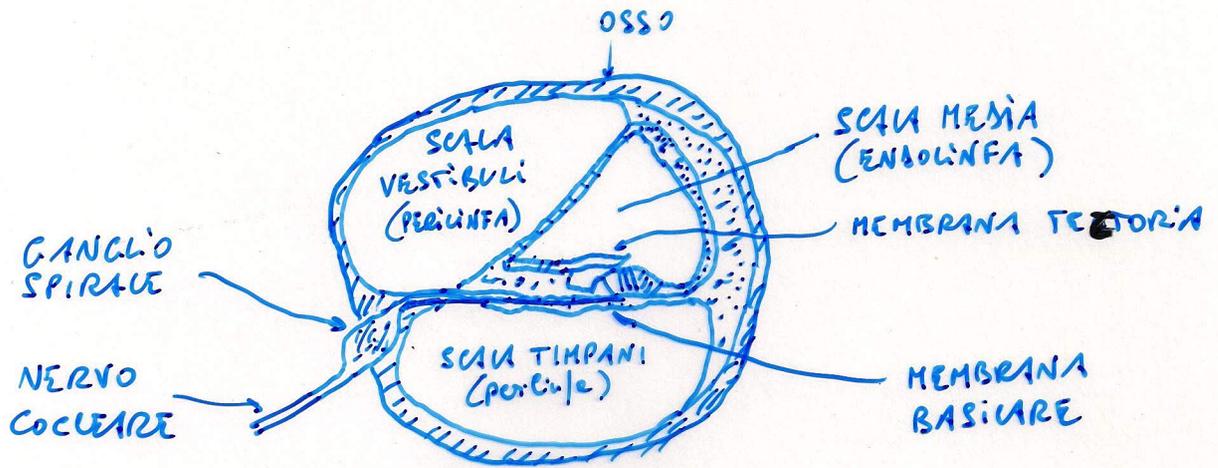
a e b: onde e  
tempi diversi:

## COCLEA DISTESA

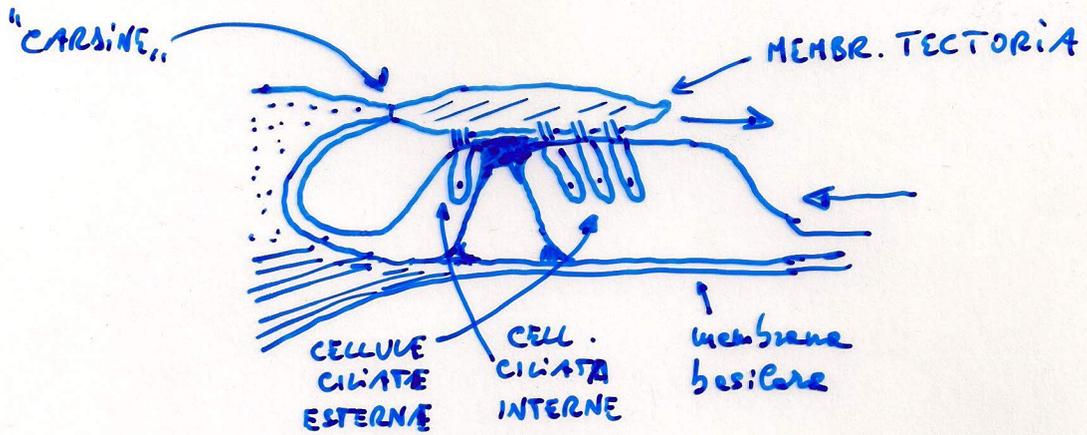


Lo spostamento della membrana basilare a diverse frequenze di stimolo sono dipende dalla larghezza (che aumenta verso l'apice) e dalla rigidità.

la membrana basilare è un analizzatore meccanico di frequenza.



ORGANO DEL CORTI



## **Amplificazione del segnale acustico a diversi stadi.**

### *1) Orecchio esterno.*

Amplificazione da risonanza del condotto uditivo (5-10 db alle frequenze a cui siamo più sensibili, tra 2 e 5.5 kHz; l'effetto diminuisce progressivamente con la frequenza).

### *2) Orecchio medio.*

- Caratteristiche dell'accoppiamento meccanico tra timpano, ossicini e finestra ovale (effetti di leva, moltiplicazione di circa 1.3).

- Aree: timpano  $\approx 0.6 \text{ cm}^2$ ; finestra ovale  $\approx 0.032 \text{ cm}^2$  (la P sonora si concentra su un'area minore). Fattore di amplificazione di circa 17:1.

Totale circa 22:1.

Sennò le onde sonore propagate dall'aria sarebbero riflesse dalla rigida finestra ovale sostenuta dalla perilinfia.

### *3) Orecchio interno.*

-La forza che agisce 'di taglio' tra la membrana tectoria e le strutture sottostanti è molto maggiore della forza di spostamento dovuta alle vibrazioni della membrana basilare.

-Sintonizzazione (regioni che rispondono meglio a certe frequenze) e regolazione della sensibilità delle cellule recettrici, anche mediante elettromotilità delle cellule ciliate esterne.

### *4) Elaborazione del segnale da parte dei neuroni del nervo acustico e del SNC.*

- Filtro neuronale (proprietà intrinseche del neurone e interazione tra neuroni).

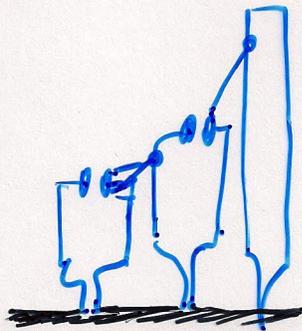
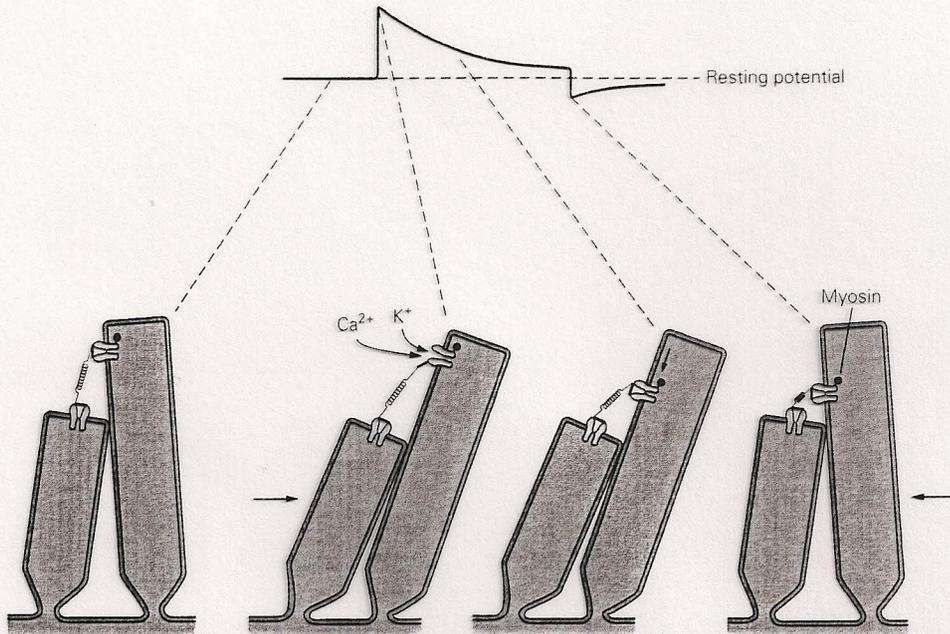
- Fenomeni di convergenza e riduzione del rumore.

- Elaborazione centrale.

- Retroazione sulle cellule ciliate.

From: Kandel et al. Principles of Neural Sciences, 2000

**Figure 31-5** A model of adaptation by hair cells. A hair bundle may be subjected to prolonged deflection in the positive or negative direction. The electrical response to a positive stimulus displays an initial depolarization, followed by a decline to a plateau and an undershoot at the cessation of the stimulus. Negative stimulation elicits a complementary response: The receptor potential largely abates during stimulation but shows a rebound at the end. Bundle movement in response to positive stimulation increases tip link tension and opens transduction channels. As stimulation continues, however, the tip link's upper attachment moves down the stereocilium, allowing each channel to close during adaptation. During negative stimulation tension is restored to the initially slack tip link by active ascent of the link's upper insertion.



A)  $\tau$  della TRASDUZIONE MECCANICA :  $\sim 10 \mu s$  (permette di discriminare freq. fino a 20-100 KHz)

B) ADATTAMENTO

# SINTONIZZAZIONE DELLE CELLULE CILIATE

A) POSIZIONE LUNGO LA MEMBRANA BASILARE

B) DIMENSIONI DELLE STEREOCILIA (proprietà meccaniche)

Res. coclea umana; cellule ciliate interne:

freq. caratteristica 20 KHz  $\rightarrow$  peso di ciglia di 4  $\mu$ m

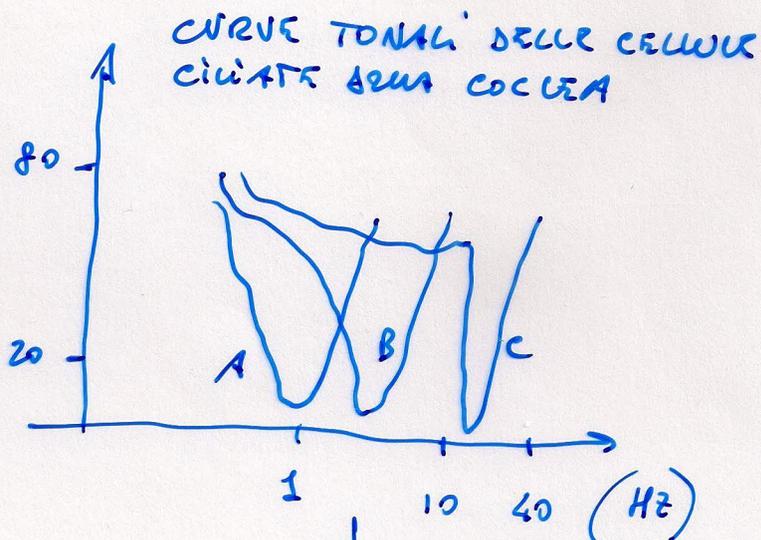
" " 20 KHz  $\rightarrow$  " " 7  $\mu$ m

C) Una può entrare in risonanza ad una certa frequenza, in risposta ad un impulso di corrente.

Non è chiaro se sta così anche nei mammiferi.

DEPOL.  $\rightarrow$   $\uparrow I_{Ca} \rightarrow \uparrow I_{K(Ca)} \rightarrow$  IPERPOL.

I stimolo  
(dB SPL)



## NECESSITÀ DI MECCANISMI DI AMPLIFICAZIONE (nella coclea)

- Gran parte dell'E portata da uno stimolo acustico si perde negli effetti di smorzamento dei liquidi cocleari sulla membrana basilare.
- la sensibilità e la selettività alle frequenze sono troppo alte, nella coclea, perché ci sia solo dipendenza dalle proprietà passive dell'organo.
- Ci deve essere un meccanismo di amplificazione. P.es. la sensibilità della membrana basilare alle basse intensità (ma non alle alte) è molto maggiore di quella attesa in base alle proprietà passive del sistema.

## AMPLIFICAZIONE MECCANICA REGOLATA

- ELETTROMOTILITÀ DELLE CELLULE CILIAE ESTERNE, controllata dall'input dei neuroni efferenti. - Produce regolazione della sintonia mediante calibrazione della lunghezza delle cellule, che regola l'interazione con la membrana tectoria.
- OSCILLAZIONI SPONTANEE che possono produrre EMISSIONE OTOACUSTICA
- LE CELLULE CILIAE ESTERNE formano scarse sinapsi con le fibre nervose efferenti, ma sono controllate dalle fibre efferenti (dal nucleo olivare superiore).

COCLEA

VIII NERVO CRANICO

NUCLEO COCLEARE (invollo allungato)

(deieussazione, ma non di tutte)

(DEIEUSSAZIONE)  
PONTINA

NUCLEO OLIVARE SUP.

NUCLEO ALL'UNITA' LATERALE

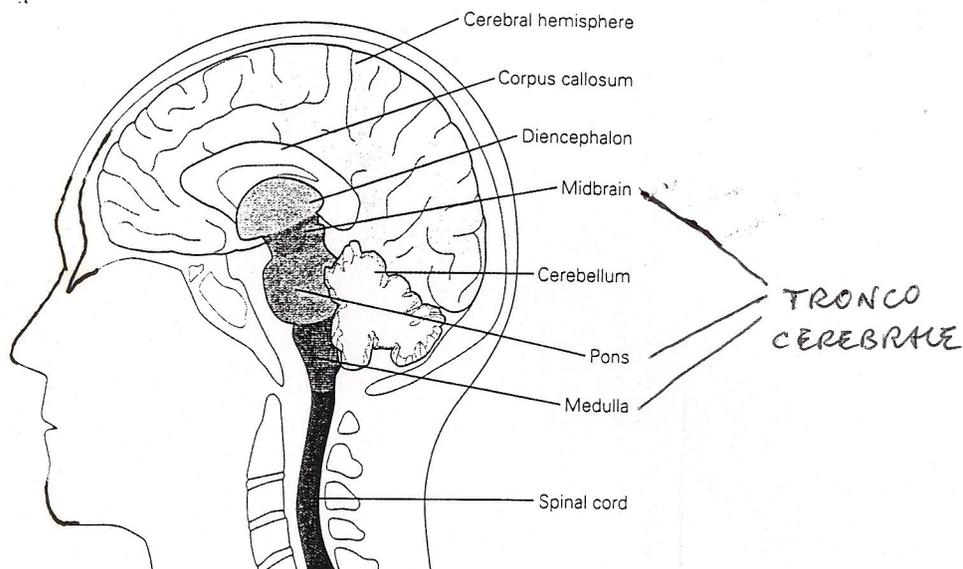
COLLICOLO INFERIORE (mesencefalo)

COLL. SUP.

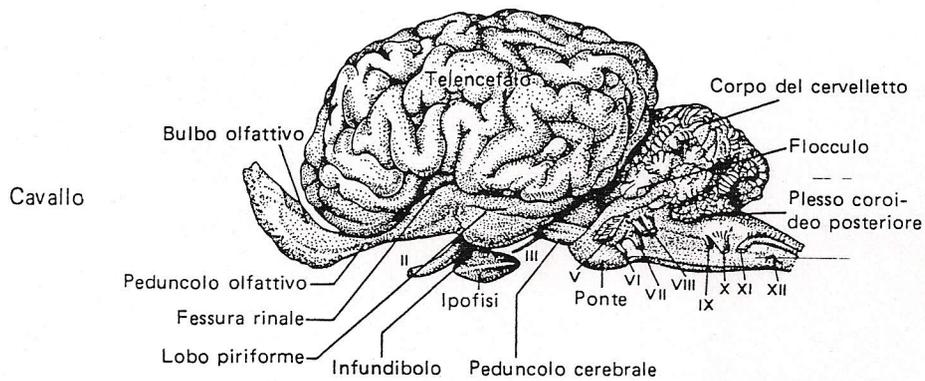
NUCLEO GENICOLATO MEDIALE (Talamo)

CORTECCIA AUDITIVA (Lobo temporale)



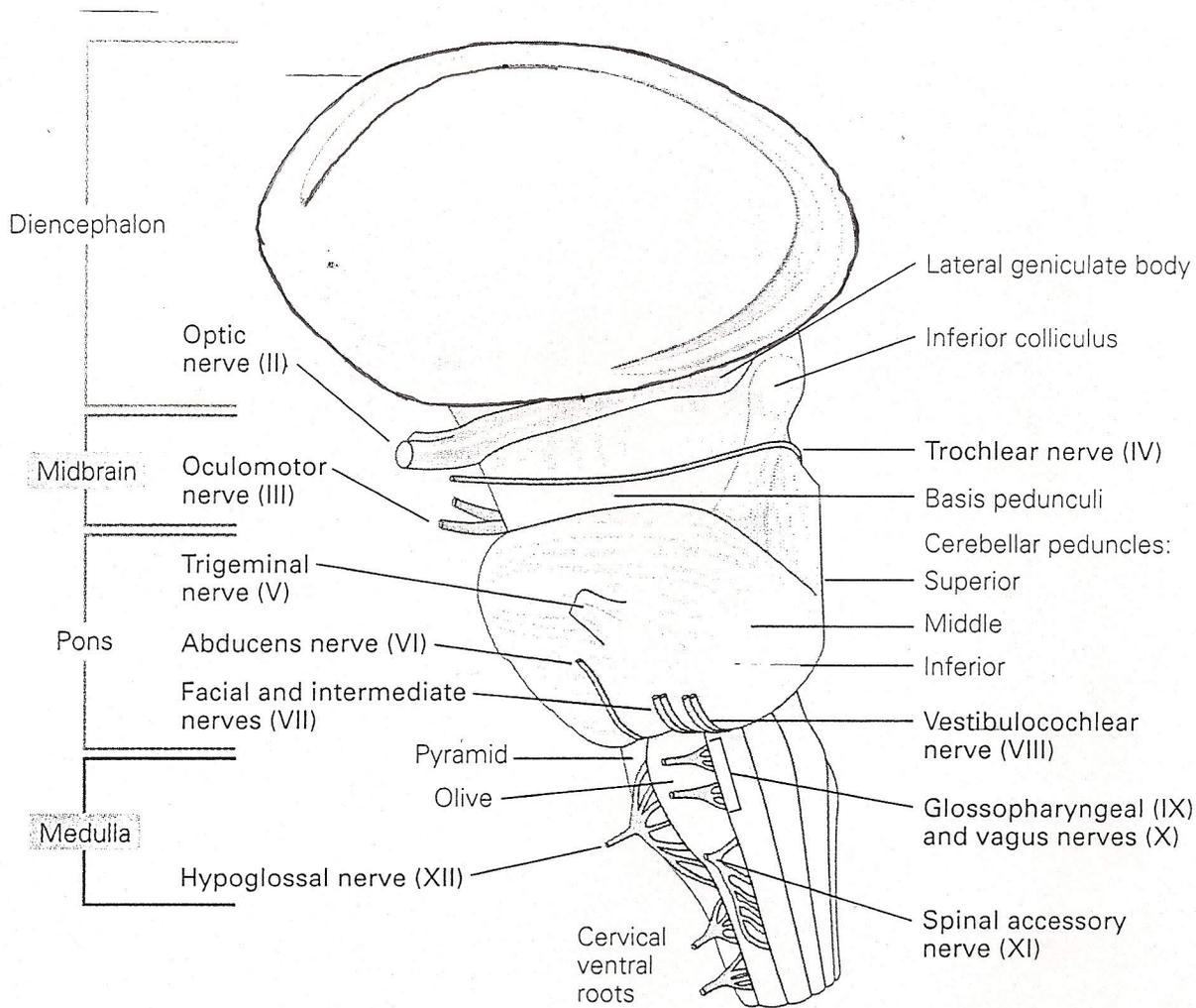


Da: Kandel et al., Principles of Neural Science, IV ed., McGraw-Hill



Da: Mazzi V., Fasolo A. Introduzione alla Neurologia Comparata dei Vertebrati, Boringhieri, 1977.

Da: Kendel et al.  
 Principles of Neural Sciences  
 2000



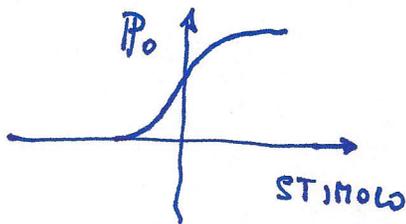
**NERVI CRANICI E TRONCO CEREBRALE**

Nuclei diversi

Non ci sono radici dorsali e ventrali.

## PER AUMENTARE LA SENSIBILITÀ DI UN SISTEMA DI RICEZIONE

- RAFFREDDAMENTO
- SINTONIZZAZIONE
- VIE PARALLELE CHE CONVERGONO (il rumore si elimina facendo la media)
- SCARICHI SPONTANEA ANCHE IN ASSENZA DI STIMOLO



- INCREMENTO DEL 'AMBITO DINAMICO (recettori con sensibilità diverse, adattamento, ecc..)

## MECHANISMS OF SENSORY ADAPTATION

- ACCESSORY STRUCTURES (e.g. Pacini corpuscles)  
PUPILLA
- RECEPTOR (molecule) DESENSITIZATION  
(e.g. photobleaching)
- DESENSITIZATION / INACTIVATION OF ION CHANNELS  
(e.g. V-gated  $Ca^{2+}$  channels)
- INTRACELLULAR FEEDBACK  
(e.g.  $Ca^{2+} \rightarrow K_{Ca}$  channels)  
 $Ca^{2+} \rightarrow$  GUANYLATE CYCLASE
- ADAPTATION DEPENDENT ON NETWORK PROPERTIES
  - feedback on the receptor produced by control neurons
  - feedback on central neurons
  - inhibition from local INs .

ADAPTATION CONTRIBUTES TO EXTEND THE DYNAMIC RANGE