

YOUTUBE: ABOUTPEPPE893
INSTAGRAM: PEPPE893
TELEGRAM: ABOUTPEPPE893
TIKTOK: PEPPE893”

FISIOLOGIA DELL'UDITO

Lo stimolo per la percezione uditiva è rappresentato dalle **ONDE SONORE** (energia acustica).

Come in tutti i sistemi percettivi, il sistema uditivo, è un apparato di **TRASDUZIONE**, trasforma, cioè, gli stimoli sensoriali in impulsi nervosi che viaggiano attraverso una via nervosa, il nervo uditivo.

La funzione del sistema uditivo è:

- comunicazione uditiva (tra cui il linguaggio)
- localizzazione dei suoni (la spazializzazione)

FISICA ACUSTICA

Cos'è il suono?

È una vibrazione prodotta da un corpo in oscillazione (sorgente sonora) che si propaga nell'aria o in un altro mezzo elastico di propagazione.

Il suono è, quindi, un modo di trasmissione di energia meccanica che, irradiandosi dalla sorgente attraverso il mezzo di propagazione, arriva ai corpi riceventi.

Le vibrazioni (perturbazioni) sono rappresentate da onde (generalmente longitudinali → cioè la perturbazione avviene parallelamente alla direzione di propagazione), che, fisicamente, descrivono un susseguirsi di cicli di compressione e rarefazione esercitate su un mezzo di propagazione (acqua, aria, rotaie, ecc.). Dunque, un suono non può propagarsi nel vuoto ed è dal mezzo di propagazione che dipende la velocità di propagazione del suono.

Qualunque **SUONO SEMPLICE**, come quello di una nota musicale, è descritto da tre diverse caratteristiche percettive:

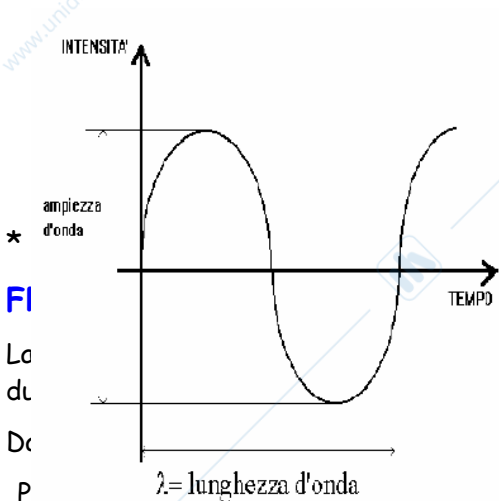
- altezza
- intensità
- timbro

Ciascuna di esse corrisponde a una grandezza fisica propria dell'onda associata: alla **frequenza**, **all'ampiezza e allo spettro**, rispettivamente.

Il **RUMORE**, invece, è un suono complesso, dato dalla sovrapposizione casuale di frequenze diverse, non armonicamente correlate, che quindi non può essere descritto da questi tre parametri.

- **Tono(altezza) (Pitch)**

la frequenza* della vibrazione



• Intensità (Loudness)

l'ampiezza della vibrazione

• Timbro (Timbre)

il tipo di suono

FI

La

di

De

p

ora vibra in un secondo. Si misura in Hertz

oscillazioni di pressioni d'aria, al secondo, che l'onda compie

giore è la frequenza, più alto è il suono percepito.

nguere i suoni gravi, che hanno una frequenza dell'ordine delle decine di Hz, dai suoni acuti che hanno una frequenza dell'ordine delle migliaia di Hz.

La frequenza di un suono viene quindi percepita come altezza di quel suono. L'udito umano ha un range di percezione tra i 20 ed i 20.000 Hertz. Le frequenze della voce sono principalmente comprese tra i 250 ed i 4000 Hertz.

Lunghezza d'onda: è la distanza fra due creste successive ed è la distanza che un'onda compie nel periodo di un ciclo oscillatorio.

L'AMPIEZZA

L'ampiezza di un'onda sonora rappresenta il massimo spostamento, rispetto alla posizione d'equilibrio, che le molecole del mezzo di propagazione compiono al passaggio dell'onda; al crescere dell'ampiezza, aumenta la forza con la quale viene colpito il timpano dell'orecchio e quindi l'**intensità** con cui il suono è percepito.

In altri termini dall'ampiezza dipende l'intensità si un suono che ci permette di distinguere se un suono è forte o debole.

L'intensità del suono viene percepita come loudness ed è misurata in una scala logaritmica la cui unità di misura è il decibel (dB). Per poter parlare di intensità sonora l'unità di riferimento è stata definita attraverso l'uso di uno standard che è rappresentato dallo 0dB che corrisponde ad un livello di pressione sonora (sound pressure level - SPL) di 0.0002 dynes/cm² (o 10 Watt/m)

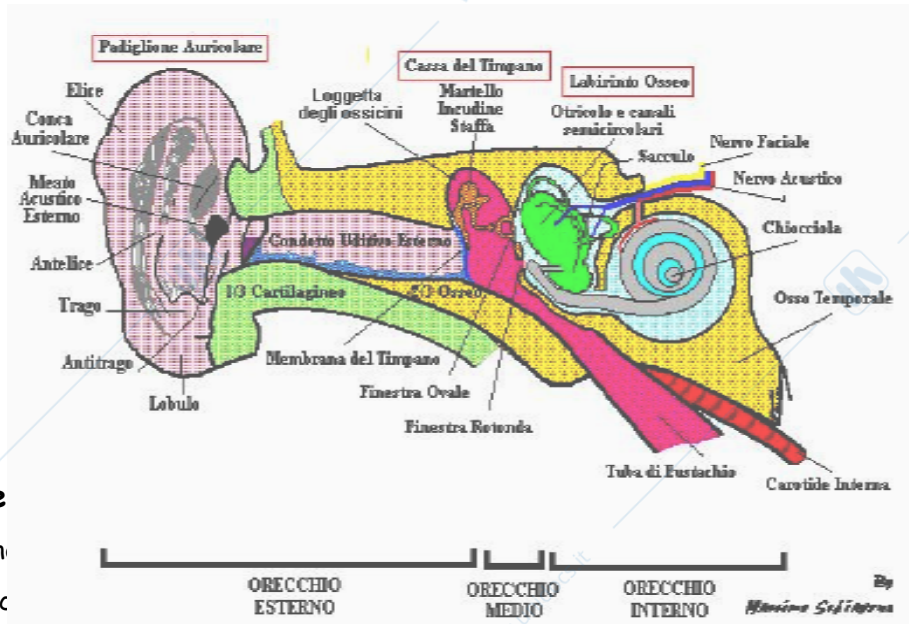
Data l'enorme variazione di livelli di pressione sonora udibili dall'uomo si è infatti convenzionalmente introdotta una scala logaritmica rappresentata dal decibel nella quale si opera una compressione del campo di pressioni sonore udibili dall'orecchio umano.

CENNI DI ANATOMIA

Il suono trasmette l'energia acustica attraverso l'aria alla velocità di circa 340 m/s.

Per poter sentire, noi dobbiamo

1. Ricezione dello stimolo fisico → **orecchio esterno**
2. Amplificazione dello stimolo → **orecchio medio**
3. Trasduzione meccanico-elettrica dello stimolo e Trasmissione del segnale elettrico al sistema nervoso centrale → **orecchio interno**.



Orecchio este

L'orecchio estern

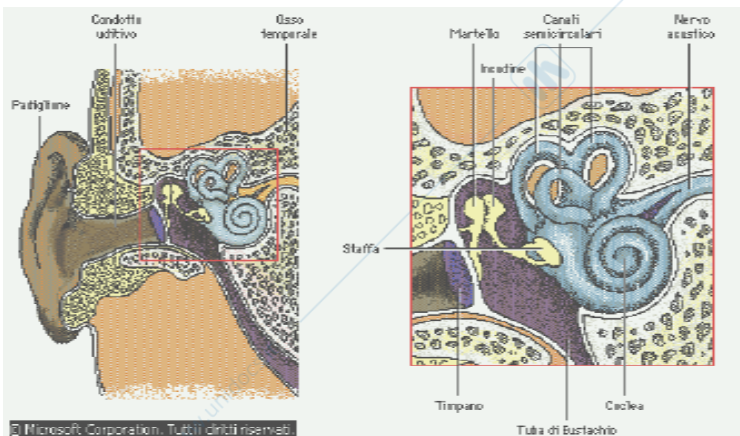
- 1) padiglione auric
- 2) condotto uditivo esterno

Raccoglie le onde sonore e le convoglia verso la membrana del timpano.

L'orecchio medio

È una cavità ripiena d'aria, detta cassa del timpano. È in comunicazione con la cavità rino-faringea (situata dietro al naso) attraverso la tuba di Eustachio, condotto che consente il passaggio dell'aria nella cavità del timpano per rendere uguale la pressione su entrambe le facce della membrana del timpano.

La cassa del timpano detta anche orecchio medio contiene tre piccoli ossicini:



- martello
- incudine
- staffa

Gli ossicini sono articolati fra loro formano una catena: all'inizio della catena il **martello** è fissato on il suo manico alla membrana del timpano, alla fine della catena la **staffa** è saldata a una membrana che chiude un forellino, la finestra ovale ; in mezzo sta l'**incudine**.

La membrana del timpano, ossicini, finestra ovale, formano insieme un solo apparecchio solidale, che riceve le vibrazioni aeree e li trasmette all'orecchio interno.

Due piccoli muscoli, il muscolo stapedio (che mette in tensione la staffa) e il muscolo tensore del timpano, entrano in azione per via riflessa e per effetto degli stimoli sonori si contraggono o si rilasciano aumentando o diminuendo la tensione della membrana del timpano e quella della finestra ovale, in modo da smorzare le oscillazioni per i suoni molto intensi, oppure quando agiscono suoni debolissimi, in modo da aumentare la capacità di vibrare della membrana del timpano e della catena degli ossicini, così da accrescere l'acutezza uditiva.

Infatti, quando i suoni trasmessi al sistema nervoso centrale attraverso la catena degli ossicini sono particolarmente intensi, viene attivato un riflesso, che con una latenza di 40-80 msec, provoca una contrazione del muscolo stapedio e del muscolo tensore del timpano.

Il muscolo tensore del timpano tira il manico del martello verso l'interno, mentre lo stapedio sposta la staffa in direzione opposta. Queste due forze agiscono in reciproca opposizione, per cui l'intero sistema degli ossicini acquista una notevole rigidità. Questo viene definito riflesso di attenuazione ed è in grado di ridurre l'intensità della trasmissione dei suoni; questo meccanismo ha una duplice funzione:

1. Protegge la coclea dalle vibrazioni dannose prodotti da suoni eccessivamente intensi.
2. Maschera i suoni a bassa frequenza in ambienti rumorosi. Ciò di solito elimini gran parte dei rumori di fondo e consente al soggetto di concentrarsi su suoni di frequenza superiore a 1000 c.p.s., quelli cioè che corrispondono all'informazione trasmessa con la parola.

Naturalmente, affinché la membrana del timpano e gli ossicini possano vibrare liberamente, bisogna che la cassa del timpano, sia ripiena d'aria alla stessa pressione di quella esterna. A ciò provvede la **tromba di Eustachio**, un canale lungo 3-4 cm che fa comunicare la cassa del timpano con la cavità nasale.

La tromba di Eustachio è abitualmente chiusa , ma si apre ogni qual volta si inghiotte la saliva , in modo che l'aria affluisca alla cassa per mantenervi una normale pressione. Questa apertura della tromba non è lasciata al caso: il nervo che stimola la secrezione delle ghiandole salivari attraversa la cassa del timpano, cosicché le eccitazioni sonore un po' intense agiscono su questo nervo, provocando di conseguenza la salivazione, e per riflesso la deglutizione della saliva. Così la tromba di Eustachio riapre al momento giusto e la pressione nella cassa del timpano si mantiene in equilibrio con quella esterna.

Orecchio interno

È costituito:

1. da un **Labirinto osseo**, complicato sistema di cavità scavato nello spessore dell'osso temporale .
2. da un **Labirinto membranoso**, insieme di organi cavi, delimitati da pareti connettivali, rivestite internamente da epitelio e contenuti nella cavità del labirinto osseo.

A separare il labirinto osseo da quello membranoso si interpone lo spazio perilinfatico, nel quale è contenuta la perilinfa.

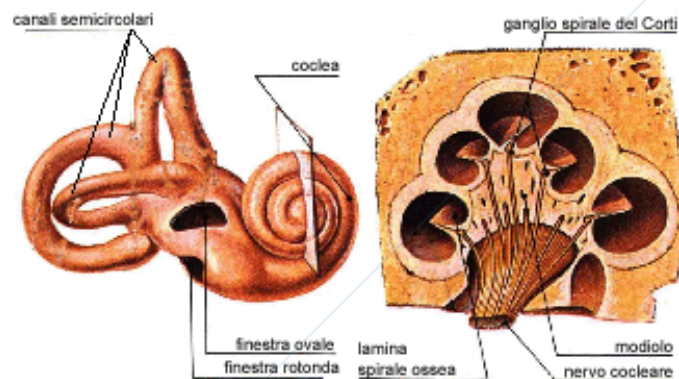
Labirinto osseo

Questo risulta costituito:

Labirinto posteriore o vestibolare:

- Il vestibolo → è la parte centrale del labirinto osseo, è posta tra il cavo del timpano e il meato acustico interno, nella quale si aprono i canali semicircolari ossei, la finestra ovale e l'acquedotto del vestibolo.
- I canali semicircolari ossei (laterale, superiore e posteriore)
- L'acquedotto del vestibolo → mette in comunicazione la cavità del vestibolo con la cavità cranica.

Labirinto anteriore o acustico:



- La coclea (chiocciola) ossea → deve il nome alla caratteristica forma e risulta costituita da un canale osseo, canale spirale, avvolto intorno ad un nucleo osseo, di forma conica, il madiolo o columella. Corrisponde:

Medialmente → al fondo del meato acustico interno

Lateralmente → è in rapporto con la parete mediale del cavo del timpano.

Nello spessore del madiolo sono scavati numerosi canali longitudinali, percorsi dai filamenti del nervo coclearie. Attorno al madiolo si avvolge il canale spirale che viene suddiviso in una scala timpanica e una scala vestibolare, per la presenza di una lamina spirale ossea.

Questa lamina segue l'andamento del canale coclearie aderendo con un suo margine la madiolo, in questo margine è scavato un canalino nel quale è contenuto il ganglio del nervo coclearie, ganglio spirale del corti.

Il margine libero della lamina spirale e la superficie interna del canale coclearie osseo è colmata dalla membrana basilare della chiocciola membranosa, la quale in tal modo completa anche la separazione tra la scala vestibolare e la scala timpanica.

Le due scale comunicano fra di loro per mezzo di un foro, elicotrema → stabilisce una comunicazione tra la perilinfa della scala vestibolare e la perilinfa della scala timpanica.

Tale foro si viene a creare perché la lamina basilare e la lamina spirale ossea si arrestano poco prima di raggiungere l'estremità apicale del condotto.

- L'acquedotto della chiocciola → mette in comunicazione lo spazio perilinfatico della chiocciola con lo spazio subaracnoideale della fossa cerebellare permettendo così il deflusso della perilinfa.

Labirinto membranoso

È formato dai tre canali semicircolari membranosi, dall'utricolo, dal succulo, dal condotto endolinfatico e dal condotto coclearare.

Si presenta cioè come un insieme di organi cavi, contenenti un liquido, endolinfa e fra loro comunicanti, delimitati da una parete membranosa.

La superficie interna della parete membranosa è rivestita da un epiteliale le cui cellule, in certe zone, si differenziano nei recettori acustici e nei recettori statocinetici.

Il labirinto membranoso è contenuto all'interno del labirinto osseo ed è separato dallo strato endostale mediante lo spazio perilinfatico, occupato dalla perilinfia.

Dal punto di vista funzionale il labirinto membranoso viene distinto in un:

Labirinto posteriore:

Che opera nell'informazione propriocettiva stato cinetica; costituito da:

- **Canali semicircolari membranosi** → sono in numero di tre, posteriore, superiore e laterale. La parete dei canali è formato da uno strato connettivale esterno e uno strato epiteliale interno. L'epitelio di rivestimento, cubico o pavimentoso semplice, subisce una differenziazione a livello di certe zone dei canali circolari, dove si trasforma in un apparato ricettore. Nella superficie interna di ciascuna ampolla, infatti, nella zona prossima all'utricolo, l'epitelio si rileva in una cresta ampollare, che ha la forma di una piega disposta perpendicolarmente all'asse del canale. Costituita da un insieme di cellule di sostegno e cellule recettrici cigliate → queste si distinguono in elementi aventi la forma di fiasco (del tipo 1°) ed in elementi cilindrici (del tipo 2°). Ciascuna di queste cellule porta nella sua estremità distale un pelo acustico. Le ciglia dei recettori penetrano in una formazione gelatinosa e omogenea modellata a cupola, la cupola ampollare, che sovrasta la cresta e occupa il lume dell'ampolla. Correnti del liquido endolinfatico, provocati dai movimenti rotatori, determinano spostamenti a carico delle cupole ampollari, che si trasmettono alle ciglia dei recettori con stimolazione di questi.
- **Utricolo** → è un organo vescicolare situato nella parete superiore del vestibolo. Riceve i cinque sbocchi dei canali semicircolari membranosi, e medialmente riceve presenta l'orifizio d'imbocco del ramo utricolare del dotto endolinfatico. I recettori neurosensoriali si trovano nella macula dell'utricolo, situata nella parete mediale. Anche qui abbiamo un epitelio costituito da cellule di sostegno e cellule recettrici cigliate
- **Succulo** → si trova tra l'utricolo e la chiocciola, presenta medialmente l'orifizio d'imbocco del ramo succulare del condotto endolinfatico. I recettori neurosensoriali si trovano nella macula sacculare.

A livello delle macule dell'utricolo e del succulo abbiamo un epitelio costituito da cellule di sostegno e cellule recettrici cigliate.

Queste ultime si distinguono, analogamente a quanto descritto per le creste ampollari, in elementi aventi la forma di fiasco (del tipo 1°) ed in elementi cilindrici (del tipo 2°).

Ciascuna di queste cellule porta nella sua estremità distale un pelo acustico, il quale, però, è assai più corto.

I peli acustici si dispongono nello spessore di una massa gelatinosa di forma appiattita, membrana otolitica o statolitica che sormonta la macula dell'utricolo e del sacco e presenta alla superficie piccoli cristalli di carbonato di calcio, otoliti o statoliti

- **Condotto endolinfatico** → è costituito dal ramo utricolare e quello succulare. Questo condotto è molto sottile e percorre l'acquedotto del vestibolo per terminare nel sacco endolinfatico, situato nella rocca petrosa. Questo svolge una funzione di riassorbimento nei riguardi dell'endolinfa che viene prodotta dalla stria vascolare della chiocciola membranosa.

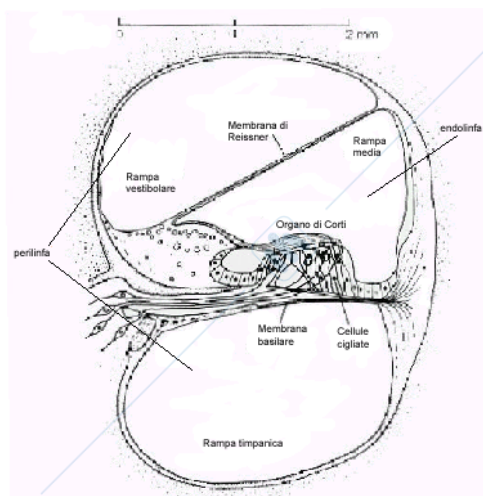
Labirinto anteriore o acustico:

Presiede alla ricezione e alla trasmissione dei messaggi sonori. Costituito:



- **Condotto cocleare** → è un canale delimitato esternamente da pareti connettivali. Nel canale spirale, il condotto cocleare occupa una posizione eccentrica interponendosi tra il margine libero della lamina spirale ossea e la parete laterale del canale spirale, concorrendo alla separazione tra la scala vestibolare e quella timpanica.

Il canale spirale osseo è suddiviso in due scale da un setto osteomembranoso, formato dall'unione della lamina spirale ossea con la membrana basilare, la quale muovendo dal margine libero della lamina spirale raggiunge la parete laterale del canale spirale osseo.



Se la coclea viene osservata in sezione trasversale, possiamo vedere che essa è suddivisa in tre rampe o canali, affiancati, riempiti di liquido:

- Il compartimento superiore è → **Rampa vestibolare**, alla base di questa concamerazione sta la finestra ovale, chiusa ermeticamente dal piede della staffa. All'interno di questa rampa si trova la perilinf.
- Il compartimento inferiore è → **Rampa timpanica**, anche essa possiede un'apertura basale, la finestra rotonda, chiusa dalla membrana elastica ed piena di perilinf.
- Tra queste due rampe abbiamo → **Rampa media**, o dotto cocleare. Ripiena, invece, di endolinf.

La rampa vestibolare e quella media sono separate, l'una dall'altra, dalla membrana di Reissner (membrana vestibolare), mentre rampa media e timpanica sono separate dalla membrana basilare sulla cui superficie si trova l'**organo del Corti** che contiene i recettori uditivi, cioè le cellule cigliate.

La membrana basilare

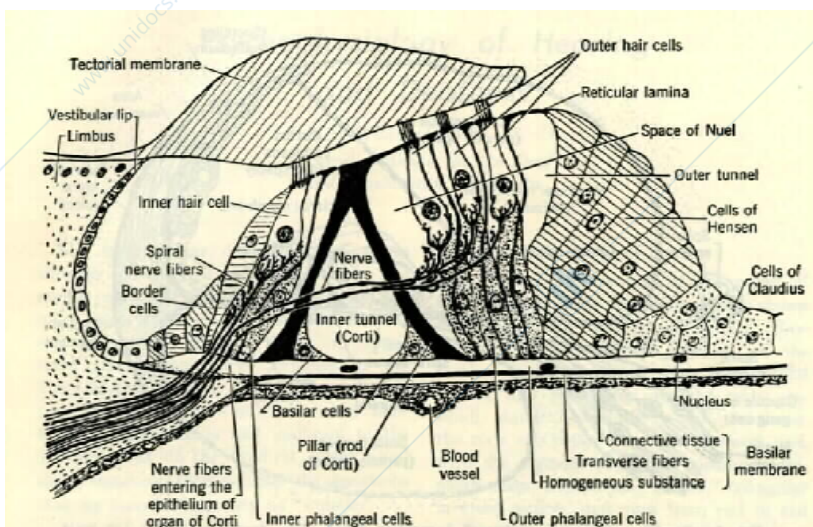
Ha una struttura connettivale complessa; in essa susseguono, nella zona sulla quale riposa l'organo del Corti, zona tecta : i seguenti strati: stato limitante (esile membrana), strato intermedio (costituito da fibre connettivali a decorso radiale, dette corde acustiche); strato timpanico (tessuto connettivo lasso).

L'organo del Corti

È adagiato sulla zona tecta della membrana basilare, contiene i recettori acustici del labirinto anteriore.

La sua funzione consiste nell'analisi dei suoni che a livello della chiocciola vengono trasformati in vibrazioni della perilinf e dell'endolinf.

L'organo del Corti rappresenta un territorio indifferenziato dell'epitelio di rivestimento del labirinto membranoso; esso risulta costituito dalla cellule di sostegno e dai recettori, cellule acustiche.



Le **cellule di sostegno** dell'organo di Corti sono:

I **pilastrini di Corti** → sono cellule alte, rigide, impiantate sulla zona tecta della membrana basilare, che appaiono disposte su due file (una interna e l'altra esterna) costituire i pilastrini interni e i pilastrini esterni.

Le due serie di pilastrini sono orientate in modo tale da toccarsi alla loro sommità restando distanziate alla loro base in tal modo vengono a delimitare una galleria (del Corti).

Le **cellule del Deiters** → sono situate esternamente ai pilastrini esterni, in 3-4 file. Sono costituite da un corpo, che assottigliandosi improvvisamente, continua nel collo, filiforme, che decorre fra le cellule acustiche esterne e termina con una piccola espansione appiattita, che prende il nome di falange.

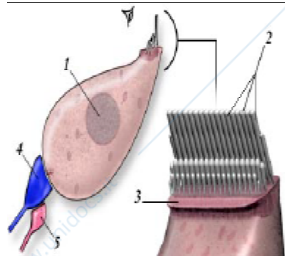
Le **cellule di Hensen** → seguono esternamente alle cellule di Deiters, sono elementi di sostegno, disposti in unico strato e su più file.

Le **cellule di Claudius** → seguono esternamente alle cellule di Hensen, hanno un aspetto di cellule epiteliali cubiche

Cellule sensoriali, acustiche dell'organo del Corti

Tra gli elementi sensoriali dell'organo del Corti, due tipi cellulari rivestono particolare importanza.

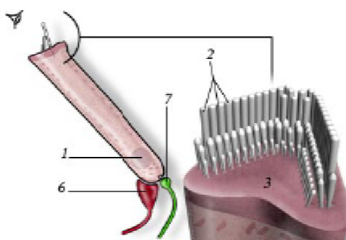
Le **cellule ciliate o acustiche interne** →



Queste si trovano medialmente rispetto alla galleria del Corti. Sono disposte in una unica fila e sono circa 3.500.

Hanno un aspetto cilindrico, nella loro parte apicale presentano circa 20 ciglia, peli acustici, che hanno la struttura delle stereociglia.

Le **cellule ciliate esterne** →



Sono disposte lateralmente alla galleria del Corti.

Sono in numero di 12.000, e a differenza di quelle interne sono disposte in più file, da 3-5.

Hanno anch'esse una forma cilindrica presentano nella loro estremità distale un ispessimento cuticolare, dal quale si dipartono i peli acustici, questi sono assai più numerosi.

Le estremità superiori delle cellule ciliate sono inglobate in una struttura rigida, la **lamina reticolare**, sostenuta dai pilastrini del Corti, che a loro volta sono fissati alle fibre della membrana basilare. Di conseguenza la membrana basilare, i pilastrini del Corti e la lamina reticolare si muovono tutti solidamente come un'unica struttura rigida.

Sopra la membrana reticolare e dei peli acustici è tesa la **membrana tectoria**, formazione cunicolare che si diparte dall'epitelio del lembo spirale.

(È costituita da fibrille, a direzione radiale, tenute insieme da una sostanza gelatinosa ricca di mucopolisaccaridi). Costituisce una specie di ripiano gelatinoso che si proietta a mò di ponte sopra l'organo del Corti.

L'estremità distale assottigliata della membrana tectoria stabilisce una delicata connessione con l'organo di Corti; inoltre le stereociglia più lunghe delle cellule ciliate sono fortemente adese alla superficie della membrana tectoria.

FISIOLOGIA

Orecchio esterno

L'onda sonora, proveniente da sorgenti sonore, che giunge all'orecchio viene recepita e concentrata dal padiglione auricolare che la incanala nel meato acustico esterno. Le onde sonore (vibrazioni) si trasmettono all'orecchio, sotto forma di onde di compressione e rarefazione, come, cioè variazione di pressione.

Orecchio medio

Le onde sonore che abitualmente arrivano all'orecchio per via aerea, vengono amplificate a livello dell'orecchio medio dalla membrana timpanica e dagli ossicini (martello, incudine e staffa), per essere così trasmesse all'orecchio interno. Solo i 2/3 della membrana timpanica svolge una funzione acustica, la così detta pars tensa, che è dotata della necessaria rigidità che le consente di vibrare sotto l'impulso delle onde di compressione e di rarefazione.

Come abbiamo detto sopra, la trasmissione sonora attraverso la membrana del timpano e la catena degli ossicini ha il compito di amplificare il suono (aumentare l'energia vibratoria), infatti, il piede della staffa, che è appoggiato alla finestra ovale della coclea, all'arrivo dell'onda pressoria, agisce come un pistone, premendo sulla finestra ovale e facendo così aumentare la pressione stessa, questo perché la stessa forza (= pressione = onda sonora) che agisce sulla membrana timpanica, va ad agire, attraverso il piede della staffa, su una superficie più piccola, la finestra ovale.

[la pressione è una forza che ha un rapporto inversamente proporzionale alla superficie sulla quale agisce, più è piccola la superficie più aumenta la pressione].

L'aumento dell'energia vibratoria, intesa come pressione, è dato dal rapporto che esiste tra la superficie della membrana del timpano e quella della base della staffa. Poiché questo rapporto è di 17:1, cioè la membrana timpanica è più grande della base della staffa, la pressione che agisce a livello

della finestra ovale è maggiore e, di conseguenza, vi è un aumento della P , quindi un'amplificazione del suono.

Orecchio interno

La finestra ovale si trova alla base della scala vestibolare della coclea, questa scala contiene un liquido detto perilinfa, lo stesso contenuto nella scala timpanica. Mentre nella scala media abbiamo endolinfa.

L'azione della staffa a livello della finestra ovale produce variazioni di pressione che si propagano lungo la perilinfa, contenuta nella scala vestibolare.

Poiché, la perilinfa, è un liquido acquoso praticamente incompressibile, l'effetto principale del movimento della staffa è quello di spostare il fluido verso la parte elastica della coclea, è cioè verso il basso dove a livello della scala timpanica vi è la finestra ovale, chiusa da una membrana estensibile (la membrana secondaria del timpano).

[La comunicazione tra scala timpanica e vestibolare si ha attraverso un forellino, l'elicotrema].

La membrana si estroflette, verso il cavo del timpano, ogni volta che la pressione esercitata dalla staffa sulla perilinfa, della scala vestibolare, si trasmette, attraverso l'elicotrema, sulla perilinfa della scala timpanica.

Le vibrazioni della perilinfa, si trasmettono alla membrana basilare, che costituisce il tetto della scala timpanica e la base su cui poggia l'organo del Corti.

Quindi con la vibrazione della membrana basilare vibrerà anche l'organo di Corti e la sovrastante membrana tettoria. Tuttavia poiché i piani d'inserzione della membrana basilare e della membrana tettoria sono differenti, le loro vibrazioni sono accompagnate da una serie di movimenti ritmici fra la superficie superiore dell'organo di Corti e quella inferiore della membrana tettoria. Poiché le ciglia delle cellule recettrici, dell'organo di Corti, sono tese come dei ponti, tra le due superfici, tali spostamenti tendono a farle deflettere. La deflessione dei fascetti di fibre costituisce lo stimolo diretto che determina l'eccitamento di queste cellule recettrici ciliate, che si traduce nell'insorgenza del potenziale di recettore.

La trasduzione sensoriale nell'orecchio

Le cellule ciliate sono trasduttori biologici di deformazione meccanica. La stimolazione meccanica apre canali ionici della membrana plasmatica della cellula; la corrente che passa attraverso questi canali modifica il potenziale di membrana della cellula stessa e ciò, innesca, a sua volta, la liberazione di un neurotrasmettitore. Le fibre afferenti che stabiliscono contatti sinaptici con le cellule ciliate vengono quindi eccitate dal neurotrasmettitore e scaricano una serie di potenziali d'azione che codificano certe caratteristiche dello stimolo, come la sua intensità, il suo decorso temporale e la sua frequenza.

Dalla porzione apicale delle cellule ciliate protrudono, come si è detto prima, le **stereociglia**, queste hanno la forma di un cilindro rigido il cui filamento è costituito da un fascicolo di filamenti di actina. Ogni cellula ciliata è provvista da 20-300 stereociglia. Queste ultime vanno ad aumentare di lunghezza a mano a mano che ci si allontana dal madiolo. All'estremità dove sono le ciglia sono più alte, nel corso dello sviluppo si forma un vero e proprio ciglio, il chinociglio.

Le cellule ciliate vengono a contatto con due liquidi differenti:

- La superficie apicale, di queste cellule, si proietta nell'endolinfa della rampa media.

Questo liquido, secreto dalla stria vascolare (zona riccamente vascolarizzata della parete esterna della rampa media), ha una composizione del tutto diversa dai liquidi extracellulari, infatti, contiene un'elevata concentrazione di K^+ e una bassa concentrazione di Na^+ .

- La parte inferiore, delle cellule stesse, è bagnata dalla, perilinfia, contenuta sia nella rampa vestibolare che in quella timpanica. Queste rampe comunicano direttamente con lo spazio subaracnoideo che circonda l'encefalo, così che la perilinfia ha una composizione del tutto identica a quella del liquido cerebrospinale, con un'elevata concentrazione di Na^+ e una bassa concentrazione di K^+ .

Tra endolinfia e perilinfia esiste costantemente una differenza di potenziale di circa 80 mV, con positività all'interno della rampa media e negatività all'esterno. Tale potenziale viene definito potenziale endococleare, e si ritiene sia generato da una continua secrezione di ioni potassio nella rampa media dalla stria vascolare.

Inoltre le cellule ciliate hanno un potenziale intracellulare negativo di - 70 mV rispetto alla perilinfia che bagna le estremità inferiori, ma di ben - 150 mV rispetto all'endolinfia che bagna le loro estremità superiori. Si ritiene che quest'elevata differenza di potenziale all'estremità delle stereociglia renda le cellule ciliate assai più sensibili e ne aumenti la capacità di risposta nei confronti di toni più lievi.

La trasduzione meccano elettrica prende inizio dalla deflessione dei fascetti di ciglia delle cellule sensoriali.

L'applicazione di uno stimolo meccanico ad un fascetto di fibre risveglia una risposta elettrica, o un potenziale di recettore, facendo aprire canali ionici sensibili alle perturbazioni meccaniche.

Lo stimolo positivo, per l'apertura dei canali è data dalla deflessione delle stereociglia corte verso quelle più lunghe, questo fa aprire i canali e si ha l'ingresso di cationi che depolarizzano la membrana.

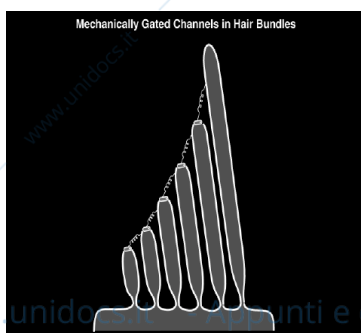
Come avviene?

I canali delle cellule ciliate che operano la trasduzione meccanoelettrica sono pori cationici che si trovano all'apice delle ciglia. La maggior parte della corrente di questi canali è trasportata dal K^+ , vale a dire dai cationi maggiormente concentrati nell'endolinfia che bagna le ciglia.

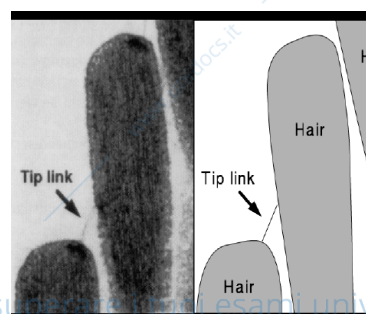
I canali delle cellule ciliate, non rispondono, come altri canali alle variazioni di potenziale di membrana né vengono modificati da ligandi, ma sono sensibili alle sollecitazioni meccaniche.

Infatti l'apertura e la chiusura di questi canali di trasduzione dipende dalle tensioni elastiche alle quali vengono sottoposte le strutture dei fascetti di ciglia.

Infatti, gli apici delle stereociglia più corte sono riunite ciascuna da un sottile filamento, tip link, allo stereociglio più lungo immediatamente adiacente.

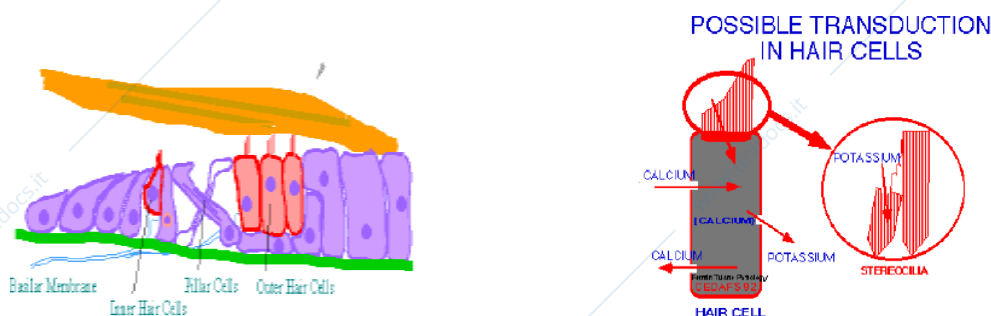


12



Si ritiene che ciascun legame fra le punte, tip link, sia legato ad una o ad entrambe l'estremità delle porte d'accesso molecolare (sono vie molecolari d'accesso dei canali) di uno o più canali di trasduzione. Quindi spingendo il fascetto di fibre in direzione positiva, lo stereociglia più corto verso il più lungo, il legame fra le punte tenderebbe ad allungarsi e favorirebbe l'apertura del canale; uno stimolo in senso opposto, negativo, chiuderebbe i canali.

Quindi, quando le stereociglia deflettono dalla più bassa verso la più alta i canali di trasduzione (cioè i canali del K^+) localizzati sulla parte apicale della cellula si aprono, proprio per la trazione elastica dei legami fra le punte. Siccome il potassio extracellulare nella rampa media è superiore a quello intracellulare, il K^+ ENTRA nella cellula depolarizzando la membrana.



La depolarizzazione, è guidata da una corrente che entra nelle cellule ciliate attraverso l'apertura di canali del Ca^{2+} voltaggio-dipendenti rivolti verso la rampa timpanica. Il Ca^{2+} innesca l'esocitosi di neurotrasmettitore verso il neurone del I ordine.

L'aumento stesso del Ca^{2+} , nel citoplasma della cellula, a sua volta determina, l'apertura di canali K^+ e Ca^{2+} sensibili che insieme ai canali K^+ voltaggio- dipendenti, rivolti verso la perilinfia della rampa timpanica, dove la concentrazione di ioni K^+ è quella normale, promuovono la fuoriuscita del K^+ dalla cellula e quindi la ripolarizzazione della cellula stessa..

Durante questa fase, avviene il processo inverso, nel senso che i canali K^+ rivolti verso l'endolinfia si chiudono iperpolarizzando la cellula.

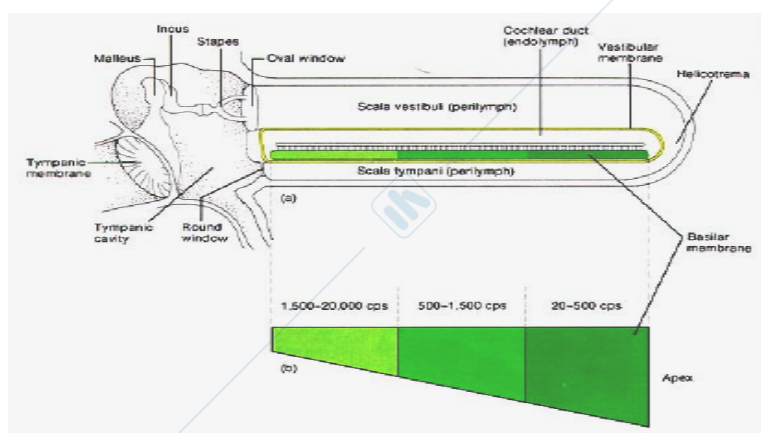
Va notato che questi canali del K^+ sono aperti in una certa percentuale, nella cellula non stimolata, in modo tale che questo numero sia suscettibile di aumentare o diminuire a seconda della deflessione delle stereociglia in un senso o nell'altro.

Una volta che la cellula è depolarizzata inizia un segnale elettrico a tutti gli effetti. Le cellule ciliate infatti, non sono solo recettori ma anche terminazioni presinaptiche che si mettono in sinapsi con le terminazioni afferenti a livello delle quali viene liberato, dopo la depolarizzazione della zona presinaptica, un neurotrasmettitore, il glutammato.

La maggior parte delle cellule ciliate riceve innervazione efferente da neuroni localizzati nel tronco dell'encefalo. Gli assoni efferenti formano bottoni sinaptici relativamente estesi sulla superficie delle cellule ciliate. Il citoplasma di queste terminazioni contiene numerose vescicole dove è contenuto il neurotrasmettitore, l'Acetilcolina (ACh). Quando si stimolano le fibre efferenti, il neurotrasmettitore di queste liberato iperpolarizza la cellula ciliata bersaglio.

Tonotopia

Esiste una rappresentazione tonotopica dei suoni, cioè una precisa organizzazione spaziale delle varie frequenze. Questa tonotopia inizia già a livello della membrana basilare e continua fino alla corteccia uditiva. La tonotopia a livello della membrana basilare è dovuta più che alle caratteristiche fisiche della membrana stessa (apice flessibile e base più rigida), alle caratteristiche intrinseche delle cellule cigliate che sono distribuite lungo la coclea con una precisa organizzazione spaziale (organizzazione tonotopica), perciò le cellule con ciglia più corte e rigide sono localizzate verso la base della coclea e vibrano a frequenze più elevate. Le cellule con ciglia più lunghe e sottili sono invece verso l'apice della coclea (lunghezza coclea circa 13 mm) e sono sintonizzate su frequenze più basse.



Alla base e ai lati le cellule ciliate sono avvolte da un reticolo di fibre nervose con cui fanno sinapsi. Il 90-95% di queste fibre prendono contatto con le cellule ciliate interne e provengono dal ganglio spirale di Corti, dove vi sono i neuroni primari, situato nel midollo della coclea. Sono circa 30.000 le cellule

gangliari che innervano le cellule ciliate di ciascun orecchio interno. La particolare disposizione dell'innervazione afferente della coclea umana dimostra la diversità della funzione delle cellule ciliate interne ed esterne.

Almeno il 90% delle cellule del ganglio cocleare va a terminare, con le sue fibre afferenti, sulle cellule ciliate interne. Ogni fibra innerva una sola cellula ciliata interna, mentre ciascuna di esse distribuisce le proprie efferenze a parecchie fibre, in media circa 10 fibre.

Questa disposizione porta a delle conseguenze importanti:

1. L'informazione nervosa da cui deriva l'informazione uditiva prende origine quasi esclusivamente dalle cellule ciliate interne, le cui afferenze dalle cellule cocleari del ganglio sono prevalenti.
2. L'uscita di ciascuna delle cellule ciliate interne viene trasmessa a numerose fibre in grado di codificare la frequenza e l'intensità dei suoni in maniera indipendente. Ogni cellula invia al sistema nervoso centrale, lungo vie separate, informazioni che differiscono alquanto fra loro.

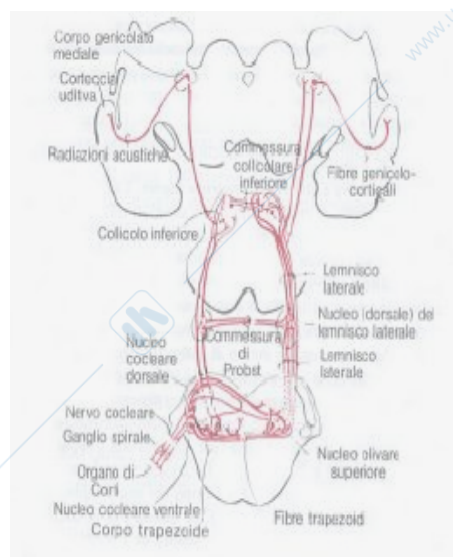
L'innervazione delle cellule ciliate esterne è costituita da poche fibre afferenti di piccolo calibro, ciascuna delle quali si distribuisce a numerose cellule.

La disposizione dell'innervazione efferente delle cellule ciliate della coclea sembra complementare a quella afferente. Le cellule ciliate interne ricevono un'innervazione efferente modesta; anche se alla base di queste cellule si possono osservare numerosi contatti sinaptici fra le terminazioni assoniche efferenti e le terminazioni delle fibre afferenti. Mentre le fibre efferenti innervano prevalentemente le cellule ciliate esterne.

VIA ACUSTICA

Il **NERVO COCLEARE** (branca dell' VIII nervo cranico → N. STATO-ACUSTICO) è costituito dagli assoni centripeti dei neuroni primari, i cui corpi sono situati nel **GANGLIO COCLEARE O SPIRALE**.

Infatti, nell'organo cocleare dell'orecchio interno hanno sede le cellule ciliate dell'organo del Corti. Questi recettori vengono stimolati dalle vibrazioni uditive dell'orecchio esterno e medio. Nella coclea stessa, queste cellule fanno sinapsi, con i primi neuroni i cui corpi cellulari si trovano nel ganglio cocleare.



Gli assoni dei neuroni primari vanno a formare il nervo cocleare. Questo penetra nel cranio attraverso il meato acustico interno, per decorrere poi insieme al nervo vestibolare e in rapporto con il nervo faciale propriamente detto e il nervo intermedio, nello spazio subaracnoide dell'angolo ponto-cerebellare.

Le fibre del nervo cocleare penetrano nel tronco encefalico e a livello della giunzione ponto-midollare si porta vicino ad un complesso di nuclei → **NUCLEO COCLEARE DORSALE, ANTEROVENTRALE E POSTEROVENTRALE.**

A questo punto ogni fibra del n. cocleare si biforca:

1. La branca ascendente va a terminare nel nucleo cocleare anteroventrale.
2. La branca discendente innerva il nucleo cocleare posteroventrale e dorsale.

Dal **nucleo cocleare dorsale** alcuni assoni secondari si dirigono:

- controlateralmente, attraverso la stria acustica dorsale e ascendono fino a raggiungere il NUCLEO DEL COLLILOLO INFERIORE (a livello mesencefalica).
- Altri invece non si incrociano, ma salgono mantenendosi sullo stesso lato, e terminando anch'essi nel nucleo del collicolo inferiore

Queste fibre ascendenti, in parte crociate, in parte no, sono una piccola parte (in quanto le fibre più numerose sono quelle delle proiezioni del nucleo cocleare anteroventrale) delle fibre che costituiscono il LEMNISCO LATERALE, che è un robusto fascio di fibre che si estende fino al mesencefalo.

La maggior parte degli assoni, originati dal **nucleo cocleare anteroventrale** decussano, formando un gruppo più cospicuo di fibre ascendenti; che si chiama CORPO TRAPEZOIDE (o STRIA ACUSTICA VENTRALE), che a livello del ponte, va ad innervare tre nuclei del complesso dell'oliva superiore, che comprende i nuclei mediale, laterale dell'oliva superiore e il nucleo del corpo trapezoide. Anche il nucleo posteroventrale fornisce fibre al corpo trapezoide e dà afferenze al nucleo olivare laterale attraverso la stria acustica intermedia.

Il nucleo olivare laterale e quello mediale sono molto importanti, in quanto analizzano la provenienza dei suoni. Infatti:

- Il nucleo olivare laterale è implicato nel riconoscimento della direzione di provenienza del suono sulla base della differenza di intensità del suono che giunge ai due orecchi. Esso opera, presumibilmente mettendo a confronto le due intensità sonore ed inviando un segnale appropriato alla corteccia uditiva per la valutazione della direzione.
- Il nucleo olivare mediale, invece, è sede di un meccanismo altamente specifico per il rilevamento dell'intervallo di tempo tra l'arrivo dei segnali acustici alle due orecchie.

Gli assoni che provengono dai nuclei del complesso olivare costituiscono la componente principale del LEMNISCO LATERALE .

(Come abbiamo detto sopra, ciascun lemnisco laterale contiene anche assoni delle cellule del nucleo cocleare dorsale controlaterale che emergono dal nucleo con la stria acustica dorsale).

Alcuni degli assoni del lemnisco laterale vanno a terminare nel nucleo del lemnisco laterale. Mentre, la maggioranza delle fibre proietta più rostralmente fino a raggiungere il COLLILOLO INFERIORE (tubercolo quadrigemino inferiore).

Questo si suddivide in due componenti:

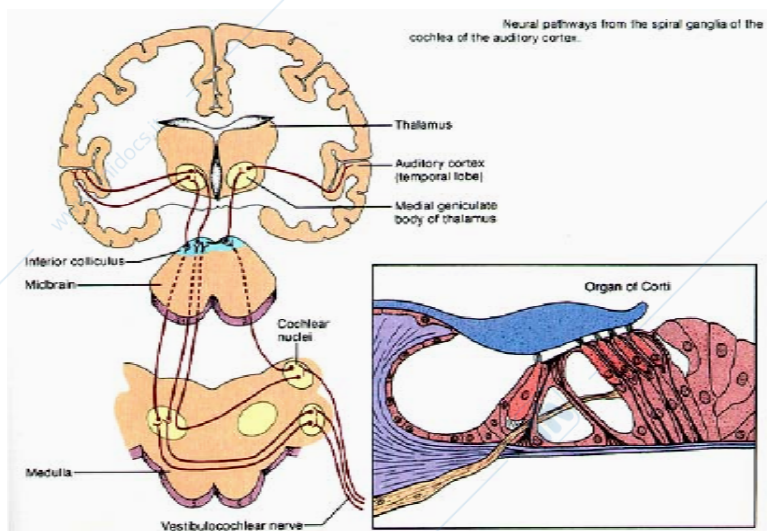
1. Porzione dorsale → comprende quattro evidenti strati di neuroni che ricevono sia afferenze uditive che somatosensitive.

2. Nucleo centrale (al di sotto della porzione dorsale)→ dove i corpi cellulari sono disposti in numerosi strati. Le cellule di ciascuno strato possiedono frequenze caratteristiche simili, in modo che la mappa tonotopica di questo nucleo si estenda in senso ortogonale rispetto alla disposizione dei diversi strati.

Poi, attraverso il braccio del collicolo inferiore, il nucleo centrale proietta al nucleo principale del **CORPO GENICOLATO MEDIALE**, stazione diencefalica delle vie acustiche.

Anche il nucleo principale del corpo genicolato mediale, ha un'organizzazione tonotopica. Infatti, tutti i neuroni che hanno la stessa frequenza sono riuniti in un unico strato, in modo che il nucleo consiste in un gruppo di lamine neuronali che rappresentano le diverse possibili frequenze degli stimoli acustici.

CORTECCIA



Dal corpo genicolato mediale, attraverso le radiazioni acustiche, le informazioni giungono all'**AREA Uditiva primaria** (AREA A1 O AREA 41-42 DI BRODMANN), nella circonvoluzione superiore del lobo temporale, precisamente nel giro traverso di Heschl. Questa particolare regione citoarchitettonica, contiene una rappresentazione tonotopica di tutte le frequenze caratteristiche.

[i neuroni sintonizzati alle basse frequenze sono presenti nell'estremità rostrale di quest'area, mentre, la regione caudale comprende cellule che rispondono a frequenze più elevate].

Oltre all'area principale, sono state riconosciute numerose aree secondarie (corteccia uditiva associativa) disposte intorno all'area acustica principale. Informazioni acustiche giungono anche al lobo dell'insula e all'area somatosensitiva secondaria.

La corteccia uditiva primaria viene direttamente attivata dalle proiezioni del corpo genicolato mediale, mentre la corteccia associativa viene eccitata secondariamente da impulsi provenienti dalla corteccia uditiva primaria e da proiezioni ascendenti provenienti da aree di associazione talamiche adiacenti al corpo genicolato mediale.

STELLA26