

SISTEMA VISIVO

Noi percepiamo ciò che le nostre cellule ci consentono di percepire, abbiamo dei limiti dovuti alle caratteristiche delle nostre cellule visive, ma percepiamo ciò che abbiamo imparato a percepire e quello che ci interessa maggiormente → la percezione è un processo attivo e conoscitivo.

Il primo limite che incontriamo è la *trasduzione* → da evento esterno a evento sensoriale.

Stereopsi binoculare: prevede l'integrazione delle immagini provenienti dalle due retina; la retina è infatti una struttura bi-dimensionale, noi però siamo in grado di vedere in modo tridimensionale utilizzando una serie di "indizi" es. ombre.

Il sistema visivo lavora in *parallelo* ed è in grado di focalizzare l'attenzione sul risultato di più processi in modo simultaneo.

CARATTERISTICHE DEL SISTEMA VISIVO

Occhio: organo periferico della visione posizionato sulla sfera oculare.

La retina è la parte nervosa nella quale avviene la trasduzione poi vi sono due lenti: cornea e cristallino.

Cornea: è una lente a menisco la cui potenza è di 42 diottrie (ricordiamo che una diottria è l'inverso di un metro). Se la cornea fosse l'unica lente dell'occhio, un oggetto all'infinito formerebbe la sua immagine circa 8 mm dietro la retina ($P = \eta/f$) e, man mano che l'oggetto si avvicinasse, la posizione della sua immagine si allontanerebbe ulteriormente dalla retina. Questa è la situazione in cui viene a trovarsi l'occhio privo di cristallino, asportato in quanto opaco (cataratta). La sola cornea non è quindi sufficiente per portare l'immagine di un oggetto all'infinito a fuoco sulla retina. Per questo è necessario il contributo del cristallino.

Iride: controlla la quantità di luce in entrata; è un muscolo che con il suo stato di tensione delimita il diametro della pupilla (riflesso pupillare).

Pupilla: quando l'Iride è molto contratta la pupilla è piccola, quando è rilassata la pupilla è grande. Attraverso di essa i raggi luminosi entrano nella parte posteriore dell'occhio e incontrano la seconda lente, il cristallino.

Cristallino: è una lente bi-convessa e insieme alla cornea danno il potere diottrico dell'occhio ovvero la potenza delle lenti dell'occhio → potenza cornea: 44D; potenza cristallino: 16D; potenza occhio (cornea + cristallino): 60D; distanza focale occhio: 22mm.

Con questa potenza l'immagine di un oggetto all'infinito sarà a fuoco sulla retina, anzi sarà a fuoco esattamente sullo strato dei fotorecettori, le cellule retiniche che sono in grado di trasdurre il segnale luminoso in segnale nervoso. Un occhio che abbia queste caratteristiche si dice emmetrope.

Retina: membrana epiteliale, la sua parte centrale e di massima acutezza visiva è la fovea il cui punto più esterno prende il nome di foveola. Contiene fotorecettori che catturano l'informazione luminosa, si cerca quindi di catturare quanti di luce e poi con la trasduzione di trasformarli in segnali elettrochimici portati alla parte occipitale del cervello.

Acuità visiva: massima risoluzione spaziale che il sistema può avere, si misura attraverso la tavola di Sneller.

I fattori che la determinano: nella parte centrale della retina (fovea) ci sono molti fotorecettori: coni, sono piccoli e senza convergenza e quindi maggior grado di risoluzione spaziale.

Domanda tipica del compito: "Com'è la visione di un soggetto a cui viene tolto il cristallino?"

Tale soggetto vedrà la maggior parte degli oggetti come fuori fuoco e non avrà la possibilità di accomodarli attraverso il processo di accomodazione.

Altra domanda: "L'acuità visiva è massima a livello della fovea perché in quel punto c'è la maggior concentrazione di connessioni orizzontali? Falso"

La maggior concentrazione è di cellule fotorecettori, i coni infatti sono piccoli e senza convergenza di conseguenza avranno un maggior grado di risoluzione spaziale e l'acuità sarà massima.

Sfrutto le regole dell'ottica geometrica → *rifrazione*: accade alla superficie di contatto fra due mezzi ottici con indici di rifrazione diversi.

es. se la luce entra con angolo di 60° attraverso il vetro, il suo angolo d'uscita sarà diverso poiché la luce viene deviata → cambia il percorso geometrico a seconda del materiale.

Segue la *legge di Snell*: rapporto di indici $n_1 \backslash n_2 = \sin(\text{angolo } 1) \backslash \sin(\text{angolo } 2)$.

Forma della lente: bi-convessa → raggio deviato al punto focale; bi-concava → raggio diventa divergente poiché vi è un antifluo.

Riflessione: l'angolo di entrata coincide con quello di uscita.

Angolo visivo: rapporto tra arco di circonferenza sotteso e il raggio; definisce quanto un oggetto è grande all'interno dell'occhio. Viene espresso in radianti.

L'angolo visivo deriva dalla distanza dell'oggetto e dalle sue dimensioni, nell'uomo il punto nodale dista a 16,5mm.

Un oggetto all'infinito, se l'occhio è emmetrope, forma la sua immagine a fuoco sulla retina.

Per mettere a fuoco oggetti vicino a noi la potenza dell'occhio deve aumentare, in modo da riportare sulla retina il punto immagine, che all'avvicinarsi dell'oggetto andrebbe a formarsi dietro la retina.

Accomodazione: processo attraverso il quale possiamo mettere a fuoco oggetti vicini; il cristallino è la lente che cambia la sua potenza per mettere a fuoco oggetti vicini, è una lente a forma di mandorla abbastanza elastica, alle

sue estremità è avvolto da un muscolo detto ciliare.

L'accomodazione è dovuta al fatto che il cristallino, compresso dai muscoli ciliari, aumenta la curvatura delle sue facce, aumentando quindi la sua potenza secondo la legge $P = (h_1 - h_2) / r_c$. L'accomodazione necessaria per vedere nitidamente un oggetto posto a distanza X metri dall'occhio è di $1/X$ diottrie.

Per mettere a fuoco un punto a distanza di 1 metro sarà necessaria un'accomodazione di 1 diottria; per mettere a fuoco un punto distante 33 cm saranno necessarie 3 diottrie.

Il potere di accomodazione massimo, cioè il valore massimo che l'accomodazione può raggiungere, è di circa 12-14 diottrie nel bambino (che corrisponde alla possibilità di mettere a fuoco oggetti fino a 7 cm di distanza).

L'accomodazione decresce con l'età: è di circa 5-6 diottrie nell'adulto intorno ai 35-40 anni ma nelle persone anziane scende sotto 1 diottria, causando la ben nota difficoltà di mettere a fuoco oggetti vicini (presbiopia).

ANOMALIE OTTICHE

emmetropia → visione corretta;

ipermetropia → i mezzi diottrici non hanno la potenza sufficiente per mettere a fuoco sulla retina e quindi il punto all'infinito va a fuoco dietro la retina; si corregge con lenti biconvesse positive;

miopia → i mezzi diottrici hanno una potenza sufficiente e il punto all'infinito va a fuoco davanti alla retina; si corregge con lenti biconcave negative;

astigmatismo → ottica non-isotropica ovvero non a simmetria sferica; si corregge con lenti cilindriche, è una correzione geometrica.

Domanda tipo del compito: "Descrivi la condizione di anomalia ottica e come può essere trattata"

OTTICA GEOMETRICA E RETINA

La fovea: è una zona specializzata della retina in cui sono presenti solo fotorecettori, è più sottile e infossata inoltre, è la zona su cui va a fuoco l'immagine del punto di fissazione (punto in cui convergono gli assi visivi).

Nella retina ci sono 5 tipi di cellule:

1. *Fotorecettori*: cellule che compiono il lavoro di fototrasduzione, assorbono la luce e cambiano il potenziale di membrana.

2. *Cellule bipolari*: trasmettono tramite sinapsi il loro segnale a un'altra classe di cellule retiniche(3)

3. *Cellule gangliari*: i loro assoni vanno a formare il nervo ottico, mentre il corpo cellulare è situato nella retina.

In questa zona non ci sono fotorecettori, tutto lo spazio è occupato dagli assoni delle cellule gangliari.

4. *Cellule orizzontali*: modulano la trasmissione di informazione tra fotorecettori e cellule bipolari.

5. *Cellule amacrine*: modulano la trasmissione di informazione tra cellule bipolari e cellule gangliari.

Quindi: fotorecettori – bipolari – gangliari → via diretta di trasmissione dell'informazione

orizzontali – amacrine → modulano la trasmissione ai due siti sinaptici (fotorecettori – bipolari; bipolari – gangliari).

CONI E BASTONCELLI

Esistono due tipi di fotorecettori; coni e bastoncelli.

I *coni* hanno: un'alta risoluzione spaziale (alta acuità visiva) poiché sono molto presenti in fovea e non hanno convergenza; un'alta risoluzione temporale; bassa sensibilità, si attivano in condizioni fotopiche; mi consentono una visione accurata dei colori ovvero una visione cromatica. Hanno tre fotopigmenti diversi: M → verdi, L → rossi, S → blu.

I *bastoncelli* hanno: bassa risoluzione temporale, è infatti un segmento lento; sensibilità elevata: soglia bassa per la luce, si attivano in condizioni scotopiche; bassa risoluzione spaziale poiché hanno una convergenza elevata.

E' un sistema acromatico ed è composto da un singolo fotopigmento.

Dal punto di vista anatomico i bastoncelli hanno il segmento esterno lungo e sottile mentre i coni hanno un segmento esterno più contenuto, corto.

I fotorecettori cambiano la loro sensibilità in funzione della quantità di luce ambientale → adattamento al buio: i bastoncelli e i coni sono complementari.

Domanda tipo del compito: "Indicare le principali differenze funzionali tra coni e bastoncelli"

FOTOTRASDUZIONE

L'unica differenza tra coni e bastoncelli sta nell'utilizzo di un'opsina differente, nei bastoncelli si usa la Rodopsina.

La Rodopsina (nella parte del disco esterno) si trova attaccata al retinale e viene rilasciata quanto arriva il fotone poiché il Retinale subisce una isomerizzazione da 11cis a tutto trans.

La Rodopsina si trova in uno stato instabile → Metarodopsina che attiva la Trasducina, fattore di moltiplicazione ovvero un mediatore che amplifica, attiva la PDE (fosfodiesterasi) → si ha l'idrolisi di GMPc che diminuirà → si chiudono i canali Na (più luce, meno glutammato).

VISIONE DEI COLORI

esperimento di Newton: un raggio di luce del sole viene fatto passare da un prisma che devia le lunghezze d'onda diverse di angoli diversi → quello che emerge dal prisma è un fascio di luce costituito da diverse lunghezze d'onda che vanno a fuoco in punti diversi dello stelo mostrando il cosiddetto spettro solare. Si va dai 700 nm (rosso) fino ai 400 nm (viola), ciò è solo una piccolissima parte delle radiazioni elettromagnetiche.

Il colore viene creato da un illuminante, dipende da esso, siamo quindi in una condizione psicofisica.

La luce può essere trasmessa, riflessa o assorbita a seconda dei fotoni. La nostra capacità di percepire il colore è legata solo al sistema dei coni e deriva dalla eccitazione di popolazioni diverse di coni.

Spazio di colori: tre numeri, che arrivano dai fotorecettori, in uno spazio tridimensionale costituiscono una metrica. Soggetti, quindi, con spazi di colori diversi vedranno colori in modo diverso.

La nostra è una visione per contrasto, attraverso i bordi infatti capiamo chi si ha davanti → visione non di quantità di luce ma di contrasto ovvero vediamo la differenza di quantità di luce fra una zona e un'altra.

Domanda tipo del compito: “La visione dei colori è maggiore in ambiente scotopico? Falso”

In condizione scotopica si attivano i bastoncelli che sono cechi ai colori.

Altra domanda: “La mancanza di uno dei tre fotopigmenti visivi presenti nei coni determina totale cecità per i colori? Falso”

La visione dei colori richiede la presenza di almeno due tipi di fotorecettori con sensibilità spettrale diversa.

CAMPI RECETTIVI DELLE CELLULE GANGLIARI

E' quella porzione di campo visivo in cui se accade un evento luminoso la cellula risponde, è circolare e al suo interno vi sono zone di opposizione.

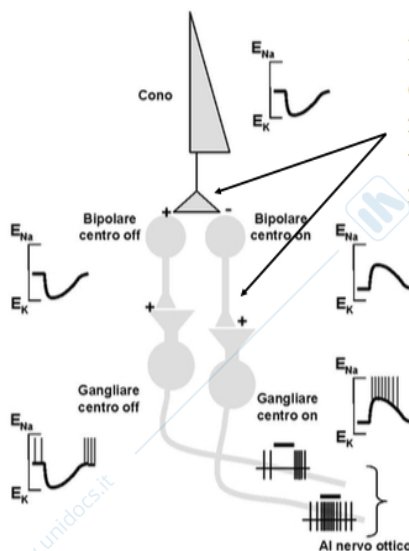
Possono essere di centro ON o di centro OFF:

- le cellule ON hanno un centro eccitatorio e una periferia inibitoria, se le due zone vengono attivate contemporaneamente si ottiene un'attività di base line (le due zone hanno infatti un'azione antagonista) ovvero la cellula non risponde.

- le cellule OFF hanno un centro inibitorio, una periferia eccitatoria, se le due zone vengono attivate contemporaneamente base line.

Abbiamo un sistema ON e uno OFF perché il sistema deve essere sensibile agli aumenti di luce tanto quanto alle sue diminuzioni.

Essi codificano con la stessa sensibilità poiché sono complementari e paralleli.



Come si genera la risposta centro ON e centro OFF: illuminando il cono in periferia della cellula gangliare, esso si iperpolarizza → chiusura canali Na e quindi meno glutammato.

Avendo tolto un ingresso inibitorio (glutammato) la cellula bipolare centro ON si depolarizza, viceversa la bipolare centro OFF si iperpolarizza poiché per lei il glutammato è eccitatorio.

Cosa accade in periferia? (caso cellula centro ON) la luce colpisce il cono in periferia → fotorecettore iperpolarizza, i canali Na si chiudono e quindi si inibisce → la cellula orizzontale si inibisce poiché vi è meno glutammato e quindi meno GABA (inibitorio) → depolarizzazione del cono centrale che si eccita (avviene la reazione opposta a quando lui stesso cattura luce) → la cellula bipolare si iperpolarizza → inibizione della cellula gangliare.

La griglia di Hermann spiga l'opposizione e la variazione della grandezza dei campi visivi recettivi da centro a periferia.

Le cellule gangliari

- Sono rivelatori di contrasto.

- Sono centro-ON oppure centro-OFF, permettendo l'analisi di cambi veloci di luminosità dovuti ad INCREMENTI o DECREMENTI di luce.

- Sono di tipo M (magnocellulari) oppure P (parvocellulari) oppure K (koniocellulari).

Le *magnocellulari* sono poco sensibili, sensibilità maggiore per le frequenze temporali alte e lavorano sul movimento, non codificano il colore.

Le *parvocellulari* hanno una risoluzione spaziale più alta poiché deve definire e riconoscere l'oggetto (via del what), ha una risposta più lenta e lavorano sull'acuità visiva e principalmente sul colore come le *koniocellulari*.

La codifica cromatica avviene tramite un'organizzazione centro periferia delle cellule gangliari, esistono due canali cromometrici diversi: R/V e B/G.

Le cellule parvocellulari consentono di discriminare i contrasti cromatici rosso-verde (centro R+ → si inibiscono se in periferia verde) mentre le koniocellulari quelli giallo-blu.

Domanda tipica del compito: “Descrivere il comportamento di un neurone gangliare centro-ON in funzione della presentazione di una macchia di luce nelle varie parti del campo recettivo”

Se la macchia di luce è nella periferia → risposta cellula inibitoria; se al centro → cellula eccitatoria; se colpisca tutto → base line, la cellula non risponde perché le due zone sono antagoniste.

Altra domanda: “La lesione selettiva degli assoni di più piccola dimensione nel nervo ottico comporta la riduzione della capacità di percepire il movimento?” Falso.

Comporta la riduzione della capacità di percepire il contrasto tra colori verde-rosso e giallo-blu.

Altra domanda: “Discutere, motivando la risposta, quali effetti potrebbe avere una lesione selettiva delle cellule gangliari retiniche di tipo parvocellulare su: percezione dei colori e percezione del movimento”

Percezione dei colori → non saremmo più in grado di discriminare i contrasti cromatici rosso-verde andrebbe a diminuire l'acuità visiva.

Percezione dei movimenti → non ci sarebbero effetti poiché la percezione del movimento è interessata dalle cellule magnocellulari.

Reticolo: forma visiva più semplice poiché è la rappresentazione bidimensionale del segnale più semplice. Ha due parametri: *intensità* ovvero quanto bianco e quanto nero e *frequenza spaziale* → numero di cicli bianco-nero, codice per la grandezza degli oggetti: bassa → oggetti grandi, alta → oggetti piccoli.

La curva di sensibilità al contrasto varia con la frequenza, per frequenze spaziali diverse sensibilità diverse.

LE VIE VISIVE

La corteccia visiva primaria si distende nel solco calcarino ed è organizzata secondo una mappa tonotopica → la mappa ottica sulla retina diventa la mappa spaziale nella corteccia.

Da ogni occhio esce un nervo ottico, i due nervi vanno a convergere in una struttura chiamata chiasmo ottico → avviene l'emidecussazione dell'emiretina nasale destro e sinistro.

Il tratto di fibre che esce dal chiasma non si chiama più nervo ottico ma tratto ottico, qui tutte le informazioni provenienti dall'emiscampo sinistro vanno a finire nell'emisfero destro e viceversa.

Quando un oggetto è posizionato a destra si attiveranno l'emiretina nasale dell'occhio destro e quella temporale dell'occhio sinistro.

I tratti ottici di destra e sinistra proiettano a tre zone sottocorticali:

1. *Area pretettale mesencefalica:* media i riflessi pupillari per poter modulare la quantità di luce in entrata.

2. *Collicolo Superiore:* media i movimenti saccadici; media informazioni visive poiché svolge il ruolo dei movimenti oculari, è un'area di integrazione audio-visiva.

3. *Nucleo Genicolato Laterale:* unica delle tre aree a elaborare i segnali visivi → unica a proiettare informazioni in corteccia. A ciascun corpo genicolato arriva l'informazione relativa all'emiscampo controlaterale.

Esso termina nel talamo visivo ed è composto da 6 strati: 1,2 ricevono afferenze dal sistema di cellule M mentre gli strati dal 3 a 6 dalle cellule P. Le K terminano negli strati intralaminari.

Tutte le cellule sono monoculati → ancora non si è unito il segnale dei due occhi.

CORTECCIA

E' una struttura a sei strati e una corteccia striata, vie diverse vanno a fare sinapsi con strati diversi.

Lo strato di entrata è sempre lo strato quattro: M proietta a 4c alpha, P proietta a 4c beta, P o K proiettano agli strati più esterni 2 o 1.

Le cellule corticali affinano l'analisi dell'informazione visiva:

1. *sono selettive per l'orientamento dello stimolo:* sono capaci di rispondere all'orientamento degli stimoli ovvero ogni classe di cellula risponde a un orientamento della luce (a barre) → funzione a campana.

Risponde anche a orientamenti simili al preferito ma non a quelli ortogonali, molto diversi.

Questa capacità emerge da un processo di integrazione: se integri insieme i campi recettivi delle cellule gangliari ottieni una capacità nuova poiché i campi recettivi allungati delle cellule orientazionali derivano dall'arrangiamento ordinato degli ingressi del genicolato e sono ulteriormente definiti da circuiti intracorticali.

→ campo recettivo che risponde alla selezione spaziale.

2. *sono selettive per la direzione e le dimensioni dello stimolo:* le cellule codificano se l'oggetto si sposta e dove si sposta; sono cellule complesse infatti i loro campi recettivi sono sfumati per la stabilizzazione dell'immagine, le cellule con margini d'arresto sono inoltre selettive per la lunghezza della barra luminosa.

3. *sono binoculari:* rispondono allo stimolo dell'occhio destro e sinistro, calcolano la tridimensionalità: stereopsi (profondità). Bisogna capire il gradiente di binocularità, a seconda di esso ci può essere la dominanza da un occhio, perfettamente binoculare o monoculare.

Organizzazione della corteccia visiva: è organizzata in colonne, stessa colonna stesso orientamento preferito che determina la dominanza oculare, le colonne sono disposte a raggiera.

La corteccia visiva contiene anche piccole aree costituite da cellule con attività metabolica particolare, rivelabili con la colorazione per la citocromo ossidasi, dette blob.

Le cellule dei blob appartengono agli strati 2-3 e sono coinvolte nel riconoscimento dei colori.

Esse ricevono ingresso dalla via P (attraverso le cellule dello strato IV) e dalla via K (diretta).

Ipercolonna: unità di corteccia visiva primaria, contiene le unità di calcolo per capire cosa accade in una determinata parte del campo visivo.

Abbiamo due vie: la via del "what" verticale: corteccia infero temporale, ci fa capire cosa abbiamo davanti, sistema P; la via del "where" dorsale: area parietale, corteccia medio-temporale, ci fa capire dove siamo, sistema M.

Le informazioni di contesto vengono veicolate dalle connessioni orizzontali

Domande tipiche del compito:

1. "Cellule della stessa colonna nella corteccia visiva primaria mostrano selettività per lo stesso orientamento ma diversa dominanza oculare?" Falso.

Hanno la stessa dominanza oculare che è determinata dall'orientamento.

2. "L'informazione visiva riguardante l'orientamento viene prima analizzata dall'area V1 e successivamente dalla Nucleo Genicolato Laterale?" Falso.

Prima viene analizzata dal NGL che proietta l'informazione all'area V1 che possiede cellule selettive per l'orientamento.

3. "Cosa s'intende per colonne di orientamento e per colonne di dominanza oculare?"

Le cellule sono organizzate in colonne: stessa colonna stesso orientamento preferito, rispondono anche ad altri orientamenti simili al preferito. Questa è una funzione a campana ed emerge da un processo di integrazione dei campi recettivi delle cellule gangliari.

Sono binoculari ma possono rispondere allo stimolo dell'occhio destro e sinistro con diverso gradiente, stessa colonna stesso gradiente → stessa dominanza oculare.

4. "La lesione del nervo ottico di destra produce una cecità nell'emicampo visivo sinistro?"

Falso.

Nervo ottico, lesione destra → produce una cecità ipsilaterale ovvero all'emicampo visivo destro.

Se la lesione fosse stata al tratto ottico → controlaterale e quindi cecità all'emicampo visivo opposto.

5. "Il nucleo genicolato laterale è formato da 6 strati tutti magnocellulari?" Falso.

E' formato da sei strati: due magnocellulari e i restanti parvocellulari.

6. "Descrivere il percorso verticale della retina"

La luce arriva ai fotorecettori che trasducono il segnale luminoso e che scaricano sulle cellule bipolari e gangliari che si dividono in centro on e centro-off.

7. "Cosa s'intende per organizzazione retinotopica della corteccia visiva primaria?"

E' quella proprietà per cui i segnali di cellule vicine a livello della retina vengono proiettati a cellule vicine a livello corticale. La mappa del mondo esterno che si viene a formare nella retina viene proiettata nella corteccia.

8. "Le radiazioni ottiche permettono il passaggio d'info visiva dal collicolo superiore alla corteccia visiva primaria" Falso.

Connettono talamo alla corteccia occipitale.

9. "Il segnale d'ingrasso arriva allo strato 4 della corteccia" Vero.

Domande tipiche Modulo 2:

1. "Il sistema acustico che forma di energia usa per acquisire informazioni sull'ambiente esterno?"

Stabilisce e codifica in segnali neurali le variazioni nel tempo del fronte di energia dell'onda. Tale fronte è definito dalle fasi di compressione e rarefazione che variano nel tempo.

2. "Il collicolo superiore analizza principalmente informazioni acustiche e quello inferiore quelle visive"
Falso.

Il collicolo superiore analizza quelle visive mentre il collicolo inferiore quelle acustiche.

3. "La localizzazione dei suoni in base al ritardo interaurale (ITD) nei nuclei olivari superiori mediali (MSO) si basa sul fatto che essi ricevono ingresso eccitatorio dal nucleo cocleare posteriventrle ipsilaterale e inibitorio da quello controlaterale" Falso.

Nuclei olivari superiori laterali.

4. "Descrivere i meccanismi della trasduzione acustica"

Le cellule ciliate interne sono i trasduttori, si trovano sulla membrana basilare e hanno all'interno stereociglia e all'esterno chinociglia, esse sono legate da legami di punta. Quando la membrana cambia posizione rispetto a quella tectoria oscillano: legami tesi → compressione → canali di trasduzione aperti → maggior flusso → depolarizzazione.

Legami deradati → canali chiusi → iperpolarizzazione.

5. "Le cellule ciliate interne dell'Organo del Corti operano la trasduzione del segnale sonoro in variazioni di potenziale elettrico" Vero.

Segnale sonoro viene trasformato in PdA e quindi in impulso elettrico.

6. "Frequenza caratteristica di un neurone nel sistema acustico si intende l'unica frequenza dell'onda sonora per cui il neurone risponde con una variazione del potenziale di membrana" Vero.

Isofrequenza: selettività elevata, basta cambiare per un fattore 2 e non funzionano più.

7. "Le frequenze acustiche diminuiscono se le cellule ciliate esterne vengono lesionate" Vero.

Grazie alla loro amplificazione infatti sono importanti per il riconoscimento del suono di una determinata frequenza.

8. "Le cellule ciliate esterne operano la trasduzione" Falso.

Sono le interne

9. "Per mappa tonotopica di una particolare struttura nel sistema uditivo si intende che neuroni che sono vicini tra loro in tale struttura rispondono a stimoli vicini tra loro nello spazio" Falso.

Vicini tra loro in frequenza.

