

## FONDAMENTI II° MODULO

## ANATOMIA FUNZIONALE DEL SISTEMA NERVOSO

**Organizzazione del Sistema Nervoso Centrale**

Il sistema nervoso nell'uomo è organizzato lungo un'asse: il midollo spinale. Questo è una struttura allungata in direzione rostro-caudale e dorso-caudale. Spostandoci dall'asse rostro-caudale verso le strutture più rostrali (anteriori), l'asse ruota e curva fino ad arrivare nell'encefalo. A questo punto avremo l'asse rostrale verso l'osso frontale, caudale verso l'osso occipitale, dorsale verso l'osso parietale e ventrale verso il mento. Quando osserviamo il SN lo guardiamo suddiviso in 3 sezioni:

- **Sezione Coronale:** sezione perpendicolare all'asse rostro-caudale. I piani rappresentano aree diverse se presi nel midollo spinale o nell'encefalo. Può essere tracciata lungo diversi punti lungo l'asse rostro-caudale. Nel piano della sezione coronale si hanno altre due assi: medio-laterale e ventro-dorsale.
  - **Sezione Sagittale:** utilizzata per l'encefalo ed è parallela (leggermente più laterale) al piano che divide i due emisferi. E' dunque fatta a diverse posizioni lungo l'asse medio-laterale. Si visualizza un solo emisfero e gli assi rimanenti nella sezione sagittale sono rostro-caudale e dorso-ventrale.
  - **Sezione Orizzontale:** perpendicolare al piano che divide gli emisferi. Si può fare a diversi livelli dell'asse dorso-ventrale e si possono vedere tutti gli emisferi e gli assi che rimangono sono rostro-caudale e medio-laterale.
- Il Sistema Nervoso Centrale può essere diviso in macrosezioni:
1. **Midollo Spinale:** componente più caudale del SNC, suddivisibile in sezioni (dalla sezione più rostrale -> cervicale, toracica, lombare e sacrale). Nella sezione coronale si ha la sostanza grigia al centro e la sostanza bianca all'esterno. La parte ventrale è dedicata al movimento e contiene i corpi cellulari dei motoneuroni spinali e interneuroni che mediano i riflessi spinali. In sintesi, il MS è dedicato ai riflessi ed è coinvolto nel movimento e nella sezione somatica.
  2. **Tronco dell'Encefalo:** struttura rostrale al MS. Suddivisibile in 3 strutture:
    - **Bulbo:** sezione a contatto con il MS; responsabile di digestione, respiro, controllo del ritmo cardiaco ed insieme al Ponte regola la pressione sanguigna.
    - **Ponte:** posto sopra al bulbo; trasporta info relative al movimento che arrivano dagli emisferi cerebrali e sono destinate al cervelletto.
    - **Cervelletto:** posto rostro-dorsalmente al ponte ed è connesso al tronco encefalico tramite fasci nervosi (peduncoli); modulatore di forza, ampiezza e apprendimento dei movimenti.
    - **Mesencefalo:** posto rostralmente al ponte; controlla funzioni sensitive e motorie (es. Movimenti oculari) ed importante stazione per stimoli visivi ed acustici.
  3. **Diencefalo:** posto sopra il tronco encefalico; suddiviso in:
    - **Talamo:** analisi preliminare sulle info sensoriali che raggiungono la corteccia mediata da nuclei talamici appositi. Se non funziona -> assenza di consapevolezza cosciente della presenza di stimolazioni esterne.
    - **Ipotalamo:** svolge integrazione tra sistema autonomo, sistema ormonale, comportamento e stimolazione esterna per mantenimento dell'omeostasi (fame, sete, temperatura corporea ecc.) Inoltre controlla la ghiandola pituitaria che svolge un ruolo fondamentale nella secrezione degli ormoni.
  4. **Emisferi Cerebrali:** comprendono la corteccia cerebrale e tre strutture:
    - **Nuclei della base:** regolazione prestazioni motorie
    - **Ippocampo:** coinvolto in alcuni aspetti delle tracce mnemoniche
    - **Nucleo dell'Amigdala:** coordina risposte endocrine del sistema nervoso autonomo in rapporto con gli stati emotivi.
- Gli emisferi si dividono in 4 lobi (con funzioni diverse):
- Occipitale: più rostrale; in corrispondenza dell'osso occipitale
  - Frontale: in corrispondenza dell'osso frontale
  - Parietale: separata da quello frontale dal solco centrale
  - Temporale: separata da quello parietale dalla Scissura di Silvio.
- Lo schema tipico per il flusso delle info nei vari sistemi sensoriali è:
1. **Trasduzione:** trasformazione dell'energia dello stimolo in segnale nervoso attraverso cellule specializzate (cellule recettoriali o recettori). In esse si ha un cambiamento del potenziale di membrana in risposta ad uno stimolo e generazione di un messaggio nervoso.

2. *Trasmissione ed Elaborazione*: il messaggio viene inviato a neuroni successivi (di primo, secondo, terzo ... ordine, in base al numero di sinapsi di distanza dal recettore). Il messaggio viene poi inviato ai neuroni sensoriali talamici (passaggio obbligato).

3. *Elaborazione a livello corticale*: il messaggio giunge alla corteccia sensoriale primaria che lo proietta alle aree associative unimodali ed infine viene proiettato alle aree associative polimodali che integrano modalità diverse (es. Visiva e uditiva).

**Il Sistema Nervoso Periferico**: Definito periferico poiché i neuroni spinali si trovano all'interno del MS, quindi nel SNC, ma gli assoni fuoriescono fino al muscolo; formato da due sezioni:

- **Sezione Somatica**: comprende neuroni (anche motoneuroni) delle radici dorsali e dei gangli annessi ai nervi cranici che innervano cute, muscoli e articolazioni fornendo al SNC info sensitive sullo stato dei muscoli, posizione degli arti e ambiente esterno.
- **Sezione Autonoma (o Sistema Motorio Autonomo)**: Formata dagli assoni delle cellule dei neuroni pregangliari che vanno ad innervare cellule che si trovano nei gangli. L'assone termina nel ganglio prescelto, fa sinapsi su di esso e quest'ultimo va ad innervare un bersaglio (es. Muscolatore del cuore, ghiandole sudoripare ecc); controlla gli organi interni, la muscolatura liscia (quella il cui movimento è involontario) e le ghiandole esocrine. Suddiviso in:

- *Sistema Simpatico* (coinvolto nella risposta somatica allo stress): organizzato in due catene di gangli parallele al MS; gli assoni dei neuroni pregangliari vanno ad innervare i neuroni dei gangli, i quali con i loro assoni formano i nervi simpatici (che innervano strutture come occhio, ghiandole lacrimali ecc). I neuroni pregangliari sono nella sezione centrale dell'asse neurale, nel MS e innervano la catena sinaptica (ad eccezione di quelli che vanno direttamente in periferia).

- Alcune fibre gangliari non terminano nei gangli, ma vanno direttamente in gangli spostati in periferia (composti da cellule e non da neuroni) che controllano i visceri (es. Ghiandola midollare del surrene -> secerne ormone adrenalina). -> differenza ormone / neurotrasmettitore.

- *Sistema Parasimpatico* (conserva le risorse dell'organismo e lo stato di riposo (omeostasi)): i neuroni pregangliari con il loro assone raggiungono l'organo bersaglio perché il ganglio di questo sistema è sull'organo -> non c'è una catena parasinaptica come nel sistema simpatico (es. Il cuore, innervato da una fibra pregangliare (10° nervo cranico -> nervo vago)). I neuroni pregangliari sono rostrali, nel tronco dell'encefalo oppure molto caudali.

- *Sistema Enterico*: controllo muscolatura liscia dell'apparato digerente.

#### **I 4 principi cardine dell'organizzazione anatomica dei sistemi cerebrali**

1. *Ogni sistema contiene stazioni di ritrasmissione*: esistono dei nuclei di ritrasmissione che non solo ritrasmettono l'informazione ma anche partecipano alla sua elaborazione. Possono contenere sia intraneuroni locali (mediatori sinaptici eccitatori/inibitori) che neuroni di proiezione che portano l'informazione a stadi di elaborazione successivi.
2. *Ogni sistema contiene vie diverse*: All'interno del sistema visivo, per esempio, c'è una distinzione netta tra le vie.
3. *Ogni via è organizzata in maniera topografica*: Per esempio, organizzazione retinotopica del sistema visivo
4. *La maggior parte delle vie sono crociate*: Molte vie nervose sono bilaterali e simmetriche.

- *Decussazioni*: incroci di vie che avvengono del tronco encefalico.

- *Commessure*: fibre che si formano dalle decussazioni (commessura anteriore, posteriore ecc)

### **IL SISTEMA VISIVO**

La visione è un processo cognitivo (come tutti gli altri processi sensoriali) perché c'è un'elaborazione attiva. Noi percepiamo ciò che ci interessa, ma vediamo anche quello che abbiamo imparato a percepire, per cui la visione è un processo attivo e conoscitivo.

Tutti i processi percettivi iniziano con la trasduzione. Questa segna il passaggio fra evento esterno ed evento sensoriale e pone il primo limite all'intervallo del percepibile -> percepiamo ciò che le nostre cellule ci consentono di percepire.

Il sistema visivo è in grado di fornire il livello di descrizione di un oggetto richiesto in quel momento. Per esempio, a seconda dei casi, la caratteristica di maggior interesse può essere la sua forma, il colore, distanza o posizione. A seconda delle richieste, il sistema visivo sembra recuperare dalla stessa distribuzione di luminanza in ingresso diversi tipi di informazione, mettendone altre in secondo piano. -> il sistema visivo è in grado di compiere molteplici azioni ed è in grado di focalizzare l'attenzione sul risultato di uno o più processi simultanei.

**Acuità Visiva (o Risoluzione Spaziale)** distanza minima che ci consente di discriminare due stimoli adiacenti. Questa non è limitata dall'ottica dell'occhio (se "cattiva" la correggo e l'acuità torna normale). Il fattore limitante è neurale: la massima acuità visiva si raggiunge nella fovea perchè si ha la massima densità di fotorecettori e non c'è convergenza. L'acuità declina nella parte periferica del campo visivo, a causa della minore densità dei fotorecettori e diminuisce anche a causa della molta convergenza poiché siamo passati al sistema dei bastoncelli.

- *Angolo Limite*: angolo visivo che sottende la distanza fra i due punti è caduto al di sotto della nostra capacità di risoluzione spaziale. Nella fovea è la distanza tra la fila di coni e il suo secondo vicino (nell'uomo è di 5micron e corrisponde a 1/60 grado)

### Organizzazione Anatomico Funzionale del Sistema Visivo

Occhio: organo periferico della visione. E' formato da:

- **Retina**: parte nervosa dalla quale esce il nervo ottico che si dirige verso le altre strutture visive. Avviene grazie a lei la traduzione del segnale luminoso in segnale nervoso.
- **Cornea**: lente a menisco, curva che viene attraversata dalla luce. Il potere diottrico della cornea è di 20 diottrie. Tra di essa e l'iride c'è un piccolo spazio -> Camera Anteriore.
- **Iridente**: muscolo che, con il suo stato di tensione, delimita il diametro del diaframma del sistema ottico -> la pupilla (riflesso pupillare).
- **Pupilla**: attraverso di essa, i raggi luminosi entrano nella parte posteriore dell'occhio e incontrano il cristallino.
- **Riflesso pupillare**: controllato dal sistema simpatico che aggiusta il suo diametro in base allo stato di arousal del soggetto e dal sistema parasimpatico che controlla il diametro in funzione della quantità di luce ambientale. Così facendo, regola l'apertura del diaframma e quindi dell'iride (muscolo dell'iride molto contratto -> pupilla piccola; poco contratto -> pupilla dilatata).
- **Cristallino**: lente bi-convessa che, insieme alla cornea, genera il Potere Diottrico (60 diottrie (1 diottria è l'inverso di 1 metro)).
  - La cornea da sola, senza l'ausilio del cristallino, non è sufficiente per mettere a fuoco l'immagine di un punto all'infinito.
  - *Emmetrope*: mezzi diottrici sono sufficienti a portare a fuoco il punto all'infinito sulla retina. Accade poiché la potenza della cornea più quella del cristallino fa sì che in un occhio sano, un oggetto all'infinito, formi la sua immagine sulla retina ed in particolare sullo strato delle cellule che trasducono il segnale elettromagnetico in segnale nervoso.
  - *Miope o Ipermetrope*: i mezzi diottrici sono insufficienti a portare a fuoco il punto all'infinito sulla retina per la presenza di un difetto di rifrazione.
- Nell'occhio miope, la potenza combinata di cornea e cristallino è troppo elevata e allora l'immagine va a fuoco davanti alla retina. Il grado di miopia indica quanto davanti alla retina si forma l'immagine. Un occhio miope vedrà un punto all'infinito sfuocato perché sulla retina va un dischetto e non un punto nitido.
- Nell'occhio ipermetrope, la potenza combinata è minore e quindi non si genera la potenza opportuna per mettere a fuoco sulla retina, quindi il punto all'infinito va dietro la retina.
  - *Astigmatico*: i mezzi diottrici non sono a simmetria sferica, quindi non hanno la stessa potenza su tutti gli assi.

**Rifrazione**: fenomeno che accade alla superficie di contatto fra due mezzi ottici con indici di rifrazione differenti.

**Punto di Fissazione (Punto P)**: punto in cui gli assi dei due occhi convergono. Nel sistema ottico ed in particolare all'interno del cristallino, esiste il Punto Nodale (N) -> la luce che passa per questo punto non viene deviata. Quindi, congiungendo un punto-oggetto con il punto-nodale e proseguendo, si va ad incontrare la retina.

- **Linea di Direzione**: linea che congiunge un punto-oggetto con la sua immagine sulla retina.

- **Asse Visivo**: linea di direzione che parte dal punto di fissazione. Il punto di fissazione va a fuoco in una struttura specializzata chiamata Fovea. Quindi, l'asse visivo parte dalla fovea, passa dal punto nodale e va ad incontrare il punto di fissazione.

**Aberrazione Cromatica**: differenza della posizione del fuoco a seconda della lunghezza d'onda della luce. Questo perché la luce è composta da diverse lunghezze d'onda (la luce visibile comprende lunghezze d'onda che vanno da circa 400 a circa 700 nanometri). Per queste lunghezze d'onda la potenza dell'occhio non è la stessa, in quanto l'indice di rifrazione della lente e la sua curvatura determinano la potenza della lente stessa. Quindi una lente ha una potenza diversa per lunghezze d'onda diverse.

Per esempio, il fatto che il punto all'infinito per l'occhio emmetrope vada a fuoco sulla retina è parzialmente vero. Quello che veramente va a fuoco sulla retina, sono le lunghezze d'onda che corrispondono al giallo/arancio. Per il rosso, per esempio, siamo ipermetropi, quindi l'immagine di un punto rosso va a fuoco non sulla retina ma leggermente indietro.

**Angolo Visivo:** angolo, poco distante dalla cornea, sotto cui è visto un oggetto ed è l'angolo formato da due semirette che escono dal vertice della cornea e vanno ad intersecare gli estremi dell'oggetto. Questo angolo serve per valutare la capacità di risoluzione dell'occhio e le dimensioni dell'immagine retinica. Nell'uomo la distanza del punto nodale dalla retina è di 16,5 millimetri.

**Accomodazione:** consente di mettere a fuoco oggetti vicini a noi. Per consentire ad oggetti a distanze brevi di andare a fuoco sulla retina è necessaria più potenza nelle lenti dell'occhio, altrimenti l'oggetto va a fuoco dietro la retina. La lente che cambia la sua potenza è il cristallino. Questo è avvolto da un muscolo ciliare che, quando si contrae, lo schiaccia causandone il gonfiore (perché è elastico) e aumentando il raggio di curvatura, quindi aumenta la potenza. L'accomodazione necessaria per vedere nitidamente un oggetto posto a distanza  $X$  dall'occhio è di  $1/X$  diottrie. Il potere di accomodamento massimo è di circa 12-14 diottrie (nei bambini; consente di mettere a fuoco oggetti fino a 7cm di distanza). Con l'età, il cristallino si irrigidisce causando un minor gonfiore e un potere accomodativo minore. Questo è un processo automatico.

- *Presbiopia:* mancanza di accomodazione; causata da una mancanza di potenza nella cornea o nel cristallino che impedisce di mettere a fuoco un oggetto all'infinito.
- *Sfuocatura Minima:* immagine di un punto non a fuoco sulla retina; si vede un disco (chiamato Disco di Confusione) anziché un puntino netto. Le minime dimensioni del disco di confusione corrispondono ad una sfuocatura di 0,2 diottrie (corrispondenti a 5 metri -> oggetto all'infinito).

## La retina

Struttura nervosa nella parte posteriore dell'occhio, dietro la quale vi è l'epitelio pigmentato. La retina è una struttura a strati dove le cellule sono collocate in strati nominati a partire da quello a contatto con l'epitelio (detto esterno) a quello più vicino al corpo vitreo (che riempie la camera posteriore dell'occhio) più interno. I fotorecettori, essendo posti più all'esterno, ricevono la luce per ultimi perché questa prima passa da vari strati cellulari.

- *Epitelio Pigmentato:* struttura vascolarizzata nella quale sono immersi i segmenti esterni dei fotorecettori con funzione di assorbimento della luce, quando questa non viene assorbita dai fotorecettori (non permettendo di essere riflessa e quindi di essere assorbita in secondo momento dai fotorecettori (come avviene nei gatti, per esempio, che sono dotati di tappeto pellucido).
- *Fovea:* avvallamento della retina poiché è presente solo uno strato di fotorecettori (solo coni (disposti vicini e a mosaico; i più grossi assorbono il blu, i più piccoli il rosso e il verde), non bastoncelli). Per questo, in questa zona, va a fuoco l'immagine del punto di fissazione. Non c'è distorsione dell'immagine perché non ci sono strati di cellule interposte tra i fotorecettori e la direzione di provenienza dei raggi luminosi. Questa zona non è vascolarizzata.

- Nella retina vi sono 5 strati cellulari:

1. *Fotorecettori:* cellule che compiono il lavoro di fototrasduzione. Assorbono la luce e cambiano il potenziale di membrana. Queste trasmettono sinapticamente il loro segnale alle cellule bipolari.
2. *Cellule Bipolari:* trasmettono sinapticamente il segnale alle cellule gangliari.
3. *Cellule Gangliari:* dotate di assoni che vanno a formare il Nervo Ottico. L'assone decorre verso il punto d'uscita delle cellule gangliari che corrisponde alla testa del nervo ottico. In questa zona non ci sono fotorecettori (zona chiamata Disco Ottico o Macchia Cieca), quindi non si ha fototrasduzione e di conseguenza è un punto cieco.
  - Questi 3 strati formano la catena diretta di trasmissione dell'informazione.
4. *Cellule Orizzontali:* modulano la trasmissione dell'informazione fra fotorecettori e cellule bipolari
5. *Cellule Amacrine:* modulano la trasmissione dell'informazione fra cellule bipolari e cellule gangliari.

-

**Fototrasduzione:** avviene grazie ai fotorecettori che sono di 2 tipi:

- *Coni e Bastoncelli:* ciò che li distingue è il segmento esterno -> più lungo e affossato nei bastoncelli (forma di dischi impilati), più corto nei coni (con ripiegamenti della membrana) -> il risultato di queste due differenti strategie (disco o ripiegamento) è che nel piccolo segmento esterno c'è tantissima superficie di membrana, questo perché è il segmento esterno che contiene le molecole che catturano la luce e ne trasducono l'energia in segnale nervoso. Scopo del segmento esterno è dunque quello di catturare i fotoni.
  - Il corpo cellulare di entrambi contiene il nucleo e quanto serve per produrre gli RNA-messaggeri; abbiamo poi un terminale sinaptico per entrambi sotto il quale ci sono i dendriti delle cellule bipolari; la trasmissione dell'informazione sinaptica è chimica, quindi i fotorecettori, hanno le vescicole che contengono NT (glutammato); nel segmento esterno vi sono una serie di organelli come i mitocondri per la produzione di energia.
    - Per evitare che si rovinino, a causa dell'esposizione prolungata ad energia elevata, e dunque non siano più in grado di svolgere il compito, la parte più esterna di entrambi si stacca, finisce nell'epitelio pigmentato, viene digerita e le molecole utilizzate eventualmente per riscotruire gli strati esterni. Dalla parte interna vengono aggiunti altri dischi nei bastoncelli o altri ripiegamenti nei coni.

- *Bastoncello:* sensibilità elevata per la presenza di molto fotopigmento (molecola che assorbe i fotoni); soglia

bassa per la luce (basta 1 fotone per generare un segnale nervoso); amplificazione del segnale (l'energia del singolo fotone viene amplificata). La soglia minima (quanti fotoni devo assorbire affinché il  $V_m$  cambi) dipende dall'ambiente (molto o poco luminoso), perché la sua sensibilità non è costante -> se molta luce è meno sensibile e quindi la soglia si innalza; viceversa se poca luce, sensibilità maggiore e soglia assoluta ridotta. I bastoncelli hanno bassa risoluzione temporale: assorbono il fotone in 1 picosecondo ed il  $V_m$  rimane cambiato per 1/2 secondo -> segnale lento. I bastoncelli hanno il ruolo di permetterci di vedere quando le condizioni di luminosità sono basse, per fare ciò sono molto sensibili e molti di loro convergono sulla stessa cellula bipolare (convergenza elevata), questo porta, però, a non avere una risoluzione spaziale buona (non posso sapere se la luce è stata assorbita dal bastoncello 1 o 2 perché convergono sinapticamente sullo stesso bersaglio postsinaptico (cellula bipolare). Nei bastoncelli vi è un solo fotopigmento -> sistema acromatico: non analizza le diversità di lunghezze d'onda tra luci riflesse dai diversi oggetti (mi appariranno più o meno luminosi ma non di colore diverso).

- *Cono*: sensibilità bassa -> per generare segnale nervoso necessaria più energia luminosa; meno molecole di fotopigmento; tempo di esposizione minore; risoluzione temporale bassa; tempo medio di integrazione circa 50-100 msec -> necessario un tempo minimo tra un evento luminoso e uno successivo per poterli discriminare usando solo i coni. Il sistema dei coni non ha convergenza: ogni cono ha il suo bersaglio ed è un sistema cromatico perché si possono individuare tre popolazioni di coni (contraddistinte dal tipo di fotopigmento -> rosso, verde o blu).

- La fototraduzione parte con un cambiamento di  $V_m$  di un fotorecettore: situazione di buio totale ->  $V_m$  35 mV; fotorecettori depolarizzati perché nella membrana della cellula vi sono CI permeabili al Na e parzialmente al Calcio aperti al buio (conduttanza di membrana a riposo elevata al Na). Na entra e K esce -> equilibrio mantenuto dalle pompe (fotorecettori cellule con bisogno metabolico elevato). I canali sono aperti al buio a causa della concentrazione di una molecola GMPciclico elevata che si lega al CI di membrana e ne mantiene elevate le probabilità di apertura. Alla luce il GMPciclico viene distrutto, i CI si chiudono, non entra più Na e quindi il fotorecettore di iperpolarizza. L'iperpolarizzazione aumenta con l'aumentare della quantità di assorbimento della luce. Quando sono stati chiusi tutti i canali abbiamo raggiunto il massimo dell'ampiezza di segnale che il fotorecettore può fornire (fenomeno della saturazione).

- Intervallo di Funzionamento: parte dalla soglia (minima quantità di luce che dobbiamo assorbire per dare un segnale apprezzabile (iperpolarizzazione di ampiezza accettabile) e con l'aumentare dell'intensità dello stimolo arriva alla saturazione.

- Nel momento in cui la luce viene assorbita si ha una cascata biochimica: la luce viene assorbita dal pigmento visivo, composto da una parte proteica (diversa tra coni e bastoncelli) e una parte chiamata Retinale (molecola che interagisce con la luce). Nel momento in cui il retinale assorbe un fotone cambia la sua conformazione di base da CIS a TRANS -> *Isomerizzazione*. Ogni molecola di retinal può assorbire un solo fotone, dopo non è più in grado di interagire con la luce. La proteina con la quale il retinale è legato, in seguito al cambiamento di conformazione va incontro ad una modifica di conformazione che la porta ad interagire con una Proteina G (Trasducina). Il retinale si stacca dalla parte proteica, esce dal fotorecettore e finisce nell'epitelio pigmentato. Successivamente la Proteina G attiva un effettore primario (molecola di fosodiesterasi). Questa determina la distruzione del secondo messaggero che al buio è molto elevata. Per tornare indietro, la proteina G si disattiva da sola, legherà il GTP invece che il GDP, questo non è più attivo e un altro enzima, che continuamente produce GMPciclico, ripristinerà la concentrazione, i canali si aprono ed il fotorecettore ritornerà al potenziale di riposo. Il retinale a questo punto esce dal fotorecettore, nell'epitelio pigmentato viene isomerizzato di nuovo e passa da TRANS a CIS. Un trasportatore lo trascina nel fotorecettore e si ricostituisce con la sua parte proteica.

- Nei bastoncelli, la Rodospina (fotopigmento dei bastoncelli), una volta assorbita la luce dal retinale ha una modificazione conformazionale e diventa META-rodospina che è in grado di attivare la trasducina e successivamente il processo sarà il medesimo.

- Sbiancamento del Pigmento: quando ogni molecola di retinal disponibile avrà assorbito un fotone, si è isomerizzata, è migrata fuori dal fotorecettore, i pigmenti sono tutti completamente inattivi ed il soggetto è sostanzialmente cieco.

- Il processo di fototrasduzione amplifica l'energia iniziale del singolo fotone. Questa amplificazione non è costante ma variabile in funzione della quantità di luce presente nell'ambiente.

**Adattamento al buio:** adattamento progressivo della sensibilità per la luce e una riduzione progressiva della soglia assoluta per la luminosità con il permanere in un ambiente buio. Ciò avviene perché i fotorecettori diventano più sensibili alla luce. Il processo può avvenire anche al rovescio.

- L'esistenza di due tipi di recettori con soglie e punti di saturazione diversi ed il fatto che entrambi adattino, potendo così lavorare su un ampio intervallo di quantità di luce disponibile, fa sì che siamo in grado di uscire il nostro sistema visivo a fronte di variazioni della quantità di luce disponibile. I fotorecettori lavorano sui cambiamenti della luce nel tempo. Se la luce rimane costante, un fotorecettore adatterà al nuovo livello di luce, riducendo la sua sensibilità, consentendo di lavorare anche a quantità di

luce elevata.

- **Risitesi dei fotopigmenti:** processo presente solo nell'adattamento al buio. I retinali che hanno assorbito la luce si sono isomerizzati e sono fuori dai fotorecettori, devono tornare dentro e ricostruire un fotopigmento integro. Questo processo è più lento per i bastoncelli perchè hanno molti più fotopigmenti rispetto ai coni.

**Eccentricità:** posizione dello stimolo che il soggetto sta cercando di discriminare, espressa in gradi di angolo visivo rispetto al punto di fissazione.

### **Visione dei Colori**

La visione dei colori dipende dal confronto delle tre popolazioni di coni. I coni ci consentono di vedere i colori perché ci sono tre diversi spettri di assorbimento (rosso, verde e blu).

Noi possediamo, salvo patologie, una visione tricromatica.

### **Trasmissione del Segnale**

**Campo Recettivo delle cellule gangliari:** porzione di campo visivo. Se la luce proviene da quella parte del campo visivo colpirà i fotorecettori connessi con quella cellula ed essa cambierà il proprio Vm dando un segnale. Se la luce proviene da zone al di fuori del campo recettivo, la cellula non risponderà. Il campo recettivo è composto da 2 zone diverse: una zona - (riduce la frequenza di scarica) e una zona + (aumenta frequenza di scarica). Le due zone sono antagoniste, se le attivo entrambe si annullano e la cellula non risponde. In ogni punto del campo visivo vi sono centri ON e OFF.

- **Centro ON:** se la luce arriva al centro si ha, nel nervo ottico, un aumento di frequenza di scarica di base, quindi la depolarizzazione del neurone e a livello di terminale assonico si traduce in PdA. Se la luce arriva in periferia si ha una diminuzione delle frequenze di scarica. Se luce fuori dal campo recettivo non si avranno scariche. Se illumino tutto il campo recettivo la risposta sarà nulla.
- **Centro OFF:** opposto del centro ON.

Come si generano centri ON e OFF: il fotorecettore è legato, attraverso le bipolari, a cellule gangliari centro OFF e ON.

- Se la luce arriva al centro:

- **Centro ON ->** La luce iperpolarizza il cono che rilascia poco glutammato. La bipolare Centro ON ha recettori per il glutammato inibitori, quindi ricevendone meno si depolarizza. La bipolare Centro ON depolarizzata lascia più glutammato. La Gangliare Centro ON ha recettori glutammato eccitatori, quindi ricevendone di più dalla bipolare centro ON si eccita (depolarizza) e scarica PdA.

- **Centro OFF->** Luce iperpolarizza cono che rilascia poco glutammato. La bipolare centro OFF ha recettori glutammato eccitatori, quindi ricevendo meno glutammato si iperpolarizza rilasciando meno glutammato. La gangliare centro OFF ha recettori glutammato eccitatori e quindi ricevendone meno si inibisce (iperpolarizza) e scarica meno o non scarica affatto PdA.

- Se la luce arriva in periferia:

- **Centro ON ->** cono periferico illuminato si iperpolarizza lasciando meno glutammato alla cellula orizzontale. Essendo glutammato eccitatoria, riceverne meno causa la iperpolarizzazione ed il rilascio di meno GABA al cono centrale. Per la bipolare centro ON il glutammato è inibitore, per cui riceverne di più la iperpolarizza lasciandone meno alla gangliare centro ON. Questa, essendo glutammato eccitatoria, si iperpolarizza perché ne riceve poco. Si avranno pochi o nessun PdA.

- **Centro OFF->** cono periferico illuminato si iperpolarizza lasciando meno glutammato alla cellula orizzontale. Essendo, questa, glutammato eccitatoria, riceverne poco la iperpolarizza e causa il rilascio di GABA al cono centrale. Per il cono centrale il GABA è inibitorio, per cui riceverne meno causa la depolarizzazione ed il rilascio di più glutammato alla bipolare centro OFF. Questa, essendo glutammato eccitatoria, si depolarizza perché ne riceve molto. La bipolare depolarizzata rilascia più glutammato alla gangliare centro OFF. Essendo, questa, eccitatoria al glutammato si depolarizza generando PdA.

- Per le cellule gangliari, dunque, lo stimolo visivo migliore è quello costituito da un contrasto di luminosità, opportunamente collocato (zone eccitatorie o inibitorie) sul campo recettivo. Con queste cellule siamo in grado di determinare l'orientamento di un bordo di contrasto.

- La differenza sostanziale tra le cellule gangliari e quelle bipolari è che queste ultime non producono PdA. Per il resto, entrambe sono attivate da stimoli visivi di contrasto, non discriminano l'orientamento del bordo di contrasto, i campi recettivi hanno dimensioni variabili ed non sono dotati di zone periferiche opponenti.

- Ci sono cellule gangliari e bipolari che hanno il campo recettivo sempre distinguibile in centro ON e OFF però il centro e la periferia differiscono per la lunghezza d'onda per cui mostrano una risposta. Sono, quindi, in grado di discriminare il colore-> opponenti al colore. La differenza rispetto alle cellule che non discriminano la lunghezza d'onda è che queste ultime mescolano sia nel centro che nella periferia il segnale dei coni sia rossi che verdi, mentre le cellule opponenti per il colore hanno

selettivamente una popolazione di coni che fornisce l'ingresso a centro:

- Parvocellulari (P): piccole, campo recettivo piccolo (maggior acuità visiva) e opponente a rosso/verde.
- Koniocellulari (K): campo recettivo opponente giallo/blu
- Magnocellulari (M): grandi; campo recettivo grande; albero dendritico che integra molti ingressi sinaptici; non opponenti al colore perchè hanno un campo recettivo opponente solo alla luminosità.

La nostra sensibilità al contrasto, ovvero alla differenza di luminosità locale, dipende anche dalla scala spaziale di variazione della luminosità. Siamo sensibili a scale di variazioni intermedie: per scale sottili, siamo meno sensibili (stiamo andando verso l'acuità visiva) e lo siamo anche per scale più grandi. La presenza di una curva di sensibilità al contrasto è dovuta al fatto che i campi recettivi delle nostre cellule sono organizzati con zone eccitatorie e inibitorie separate. Tutto quello che è al di fuori di questa curva non riuscirò a vederlo. Questa curva, dunque, riassume le capacità visive per quanto riguarda la capacità di vedere uno stimolo definito dalla differenza di luminosità.

La nostra visione è l'integrazione delle attività di 3 popolazioni diverse che lavorano su domini diversi: le Magnocellulari sul movimento, le Koniocellulari e le Parvocellulari principalmente sul colore e queste ultime anche sull'acuità visiva.

### Flusso dell'informazione visiva

Da ogni occhio esce un nervo ottico che andranno a convergere, parzialmente, nel Chiasma ottico. Al di là del punto di incrocio emergono due fasci di fibre chiamate Tratto ottico (non più nervo a causa della parziale crociatura). Nel nervo ottico dx si trovano gli assoni delle cellule gangliari della retina dx, nel tratto ottico dx si troveranno gli assoni di cellule gangliari sia della retina dx sia della retina sx. Il tratto ottico proietta a 3 zone sottocorticali: Area prettettale mesencefalica (media i movimenti pupillari), al Collicolo Superiore (media i movimenti saccadici) e in una struttura del talamo, il nucleo genicolato laterale (tratto ottico dx nel nucleo genicolato laterale dx e viceversa) unica delle tre aree ad elaborare i segnali visivi. Ciascun corpo genicolato laterale proietta alla rispettiva corteccia visiva primaria ipsilaterale. Il fascio di fibre che dal corpo genicolato va alla corteccia visiva primaria si chiama Radiazione Ottica.

- Fra le cellule gangliari della retina e la corteccia visiva primaria c'è un solo trasferimento sinaptico, nel corpo genicolato laterale. Ogni corteccia visiva primaria riceve informazioni da entrambi gli occhi, non in modo separato perchè le fibre si sono già parzialmente incrociate nel chiasma. Questa mescolanza è fatta in modo che ogni corteccia visiva primaria riceva informazioni da metà campo visivo: la corteccia visiva primaria dx riceve info dalla metà del campo visivo sx e viceversa.
- La parte della retina che è verso il naso rispetto alla fovea si chiama Retina Nasale; la parte della retina verso la tempia si chiama Retina Temporale. Siccome la fovea si situa a circa metà della retina, possiamo dire che si ha una mezza retina, ovvero l'Emiretina Nasale e l'Emiretina Temporale. Le cellule gangliari che si trovano nella retina nasale, inviano il loro assone controlateralmente al chiasma ottico mentre quelle gangliari che si trovano nella retina temporale mantengono il loro assone ipsilaterale.
- La fovea è mappata in entrambi gli emisferi poiché le cellule gangliari di essa hanno le stesse probabilità di mandare l'assone ipsilaterale o controlaterale.
- Questa crociatura al chiasma ottico fa sì che metà delle cellule gangliari inviino l'assone controlaterale e metà ipsilaterale, facendo in modo che su ciascun emisfero sia mappato l'emivampo visivo contro laterale.

Il nostro campo visivo è binoculare.

**N.B. Domanda compito:** se si lesiona il nervo ottico sx, cosa succede al campo visivo? Si modifica?

- Sì, perchè venendo a mancare il nervo ottico sx si può definire l'occhio sx cieco, come se fosse chiuso. Manca il monoculare di sinistra.

**N.B. Domanda compito:** se si lesiona il tratto ottico sx, il campo visivo si modifica?

- Sì, perchè abbiamo perso l'emivampo dx. Muoiono le cellule gangliari della retina temporale dell'occhio sx e quelle della retina nasale dell'occhio dx, che corrisponde all'emivampo dx.
- Ogni tratto ottico corrisponde all'emivampo contro laterale. Il nervo ottico è diverso dal tratto ottico-> la lesione del nervo ottico non comporta la perdita dell'emivampo contro laterale.
- Le cellule del corpo genicolato laterale sono monoculari. Gli assoni delle cellule gangliari dell'occhio dx e di quello sx non convergono sulla stessa cellula del corpo genicolato laterale.
- I campi recettivi delle cellule del corpo genicolato laterale sono uguali identiche ai campi recettivi delle cellule retiniche.

Nella corteccia visiva primaria (V1) terminano le fibre della radiazione ottica, quindi gli assoni delle cellule del corpo genicolato laterale. Precisamente terminano nello strato 4 (gli strati delle aree corticali sono 6, il 1° è quello più superficiale). Le cellule dello strato 4 proiettano agli altri strati, in particolare 2 e 3, o a strutture più profonde. Questo strato non opera trasformazioni dei campi recettivi poiché gli assoni che arrivano sono monoculari (M o P; i K arrivano negli strati 2 e 3).

Le cellule della corteccia visiva primaria sono diverse da quelle della retina. A livello corticale i tipi di cellule maggiormente rappresentati sono le cellule piramidali, i neuroni di proiezione che con il loro assone lasciano la corteccia e possono proiettare a strutture sottocorticali e gli intraneuroni che con i loro assoni non lasciano mai la corteccia visiva primaria.

Le cellule dello strato 4 proiettano alle cellule degli strati 2 e 3 e a questo punto iniziano a comparire campi recettivi con caratteristiche diverse.

- *Cellule Corticali Visive*: questi neuroni degli strati 2-3 e 5-6 preferiscono sia lo stimolo di contrasto ma deve avere un orientamento preferito, cioè sono selettive per l'orientamento dello stimolo visivo. Questo perché è presente una zona eccitatoria (zona ON) circondata da due zone inibitorie (zone OFF). Al centro c'è una zona allungata fiancheggiata da due zone inibitorie allungate. Queste, rispondono bene anche alla posizione dello stimolo. Alcune cellule corticali visive, sia semplici che complesse, possono essere selettive anche ai margini di arresto, ovvero se lo stimolo copre di più del campo recettivo. Se invece copre esattamente il campo recettivo, allora, la cellula risponde.
- *Cellule Semplici*: vedi descrizione sopra ("cellule corticali visive")
- *Cellule Complesse*: differiscono da quelle semplici perché hanno un campo recettivo che non ha una zona ON e a fianco una zona OFF ma tutto il campo recettivo è simultaneamente ON e OFF.
- *Cellule Binoculari*: se viene presentato uno stesso stimolo sia all'occhio destro sia a quello sinistro, la cellula emetterà PdA da entrambi gli occhi. Possiamo avere cellule perfettamente binoculari, ovvero che generano la medesima risposta da entrambi gli occhi. Queste cellule possono essere perfettamente bilanciate o dominanti (nell'uomo, la maggior parte delle cellule sono binoculari ma dominanti). Queste cellule compaiono esclusivamente nella corteccia e ci consentono di utilizzare la Disparità Retinica.
- *Disparità Retinica*: leggere divergenze delle immagini retiniche dovute al fatto che i due occhi, essendo distanti l'uno dall'altro, osservano il mondo da due punti di vista lievemente differenti, ad eccezione del punto di fissazione.
- *Oroptero*: tutti i punti in cui l'immagine si forma in punti corrispondenti delle due retine e corrisponde al piano che contiene il punto di fissazione.
  - *Cellule Dominanti*: cellule che rispondono maggiormente ad uno stimolo in un occhio rispetto all'altro.
  - *Cellule Monoculari*: rispondono solo alla stimolazione di un occhio.
- Questi campi recettivi, selettivi per l'orientamento e che compaiono nella corteccia visiva primaria, ci consentono di fare ciò che non è possibile fare con le cellule della retina e del genicolato, ovvero discriminare l'orientamento di un bordo di contrasto.
  - Le cellule corticali visive sono selettive per la disparità retinica. Alcune cellule rispondono solo se la disparità retinica è 0, altre se è presente una disparità retinica positiva (punti vicini al punto di fissazione) ed altre solo ad una disparità retinica negativa.
  - Inoltre, le cellule corticali visive sono selettive anche per la direzione del movimento.

### Organizzazione modulare della corteccia visiva primaria

Le cellule che preferiscono lo stesso orientamento, ovvero che hanno il campo recettivo orientato secondo la stessa linea, si raggruppano insieme nella corteccia e danno origine ad una piccola colonnina che va dallo strato 2 allo strato 6, ma si interrompe allo strato 4 perché le cellule presenti in questo strato non sono selettive per l'orientamento. Queste colonnine si dispongono come le pale di una "girandola", ogni pala è la sezione di una colonna di cellule che preferiscono lo stesso orientamento. Ogni girandola analizza un pezzo di campo visivo.

- *Ipercolonna*: tutta la corteccia visiva primaria è schematizzabile come la ripetizione di un modulo sempre uguale a se stesso. Con un'ipercolonna si può analizzare un pezzetto di campo visivo completamente, perché al suo interno ci sono le cellule con tutte le possibili dominanze oculari, con campo recettivo sovrapposto (tutte rivolte verso lo stesso punto del campo visivo), con tutti i possibili orientamenti e cellule selettive per l'analisi del colore, contenute in zone chiamate Blob (queste cellule hanno il campo recettivo organizzato in zone eccitatore ed inibitore per lunghezze d'onda).
    - Cellule che appartengono ad ipercolonne diverse, che quindi analizzano punti diversi del campo visivo, sono connesse tra loro attraverso connessioni orizzontali.
  - *Connessioni Orizzontali*: decorrono parallele alla superficie corticale e connettono colonne diverse. Permettono di integrare l'informazione su zone di campo visivo molto più grandi delle dimensioni dei campi recettivi delle singole cellule corticali. Queste sono responsabili della Continuità Percettiva e degli Effetti Contrasto.
- In conclusione, con le cellule V1 siamo in grado di "vedere": orientamento locale di bordi di contrasto, la visione del contrasto "orientato" locale su scale diverse, la visione locale del contrasto cromatico e la percezione locale della disparità retinica (necessaria per la visione binoculare in 3D).

### Corteccia Visiva Secondaria (V2)

I neuroni di V1 proiettano quasi tutto a V2.

- Da V2 partono due vie di proiezione, quindi assoni di cellule di V2 che si dirigono verso il lobo temporale (Via Ventratale) e verso la corteccia parietale (Via Dorsale).
- *Via Ventratale*: ci consente di riconoscere gli oggetti, analizzarne la forma, il colore e di consentire ai sistemi di memoria di recuperare le informazioni. E' la cosiddetta visione del "cos'è?". In questa via prevale l'informazione Parvo e Koniocellulare anche se è presente una piccola parte di Magnocellulare.
- *Via Dorsale*: ci consente di localizzare gli oggetti e nella stereopsi. In questa via prevale l'informazione Magnocellulare.

## IL SISTEMA ACUSTICO

Il tipo di stimolo che origina la percezione acustica sono le Onde di Pressione.

- *Onde di Pressione*: onde che si formano periodicamente a causa di episodi di compressione e di rarefazione. Questi seguono un andamento periodico e fra un episodio e l'altro passerà un intervallo di tempo -> Periodo dell'onda di pressione.

- Intervallo dell'udibile: intervallo di frequenze per cui le onde di pressione possono essere utilizzate dal sistema acustico.
- L'onda è caratterizzata da un'ampiezza, ovvero il massimo ed il minimo della pressione locale che si discosteranno dalla pressione media di un certo valore. Maggiore sarà questo valore e maggiore sarà l'ampiezza dell'onda. -> determina l'intensità del suono. La frequenza è l'opposto del periodo: quindi se un'onda ha un periodo di 100 msec, la sua frequenza sarà di 10 periodi/sec.
- Le onde possono avere una frequenza. Quindi, fra due picchi di pressione locale può trascorrere un periodo più o meno lungo. Questa determina l'altezza del suono percepito: frequenze basse corrispondono a suoni gravi, frequenze alte corrispondono a suoni acuti.
- Forma d'onda: determina il timbro del suono, ed è data dalla cassa armonica dello strumento.
- Le particelle non viaggiano e vibrano localmente, quella che viaggia è l'energia.
- Hertz: unità di misura che corrisponde al ciclo al secondo. -> 1 Hz = 1 ciclo/sec
- Noi siamo in grado di percepire come suono un intervallo di onde di vibrazione che si propagano con frequenze che vanno da circa 20 Hz a circa 20000 Hz (il massimo della sensibilità si ha intorno ai 4000 Hz).
- Decibel: misura relativa; rapporto tra pressione di riferimento (minima variazione di un suono per renderlo udibile) e la pressione dell'onda di cui si vuole conoscere l'ampiezza. ->  $L(\text{dB}) = 20 \cdot \log P/\text{Pr}$  (P= pressione in esame; PR= pressione di riferimento; L(dB)= livello della pressione del suono.

### L'orecchio

L'orecchio è costituito da una parte visibile, l'orecchio esterno, e da due parti invisibili, l'orecchio medio e l'orecchio interno.

- *Orecchio Esterno*: è costituito dal padiglione auricolare, il meato acustico e la membrana del timpano. Quest'ultima chiude il meato acustico, segnando il confine tra l'orecchio esterno e quello medio. La funzione dell'orecchio esterno è quella di convogliare le onde di pressione alla prima struttura che entra in vibrazione nel sistema uditivo, il timpano.
- Il padiglione auricolare non è liscio, possiede delle pieghe (o pliche). Queste ci permettono di localizzare una sorgente sonora lungo il meridiano verticale.
- *Orecchio Medio*: situato dietro la membrana del timpano ed è costituito da una cavità che comunica con la bocca attraverso la Tromba di Eustachio. Questa comunicazione consente di avere nell'orecchio medio la stessa pressione che c'è all'esterno. La membrana del timpano deve essere libera di vibrare per poter trasmettere la vibrazione agli altri mezzi vibratile dell'orecchio.
- Catena degli Ossicini: martello (poggia sulla membrana del timpano), incudine e staffa (poggia sulla membrana dalla finestra ovale). Grazie a questa catena si la trasmissione delle vibrazioni del timpano.
- *Orecchio Interno*: scavato nell'osso temporale ed è costituito da una serie di cunicoli ossei, riempiti da turbini membranosi (canali membranosi pieni di liquido). I cunicoli ossei sono: labirinto osseo e labirinto membranoso.
- Nell'orecchio interno è presente una parte vestibolare ed una parte acustica: la componente vestibolare permette di rimanere in asse rispetto alla direzione della forza di gravità. La parte acustica si chiama Coclea (o chiocciola).
- *Coclea*: costituita da un tubo che si avvolge su se stesso. All'interno sono situate le cellule che trasducono l'onda di pressione in cambiamenti di Vm e successivamente danno origine alla percezione uditiva.
- Dotto Cocleare: composto da Scala vestibolare, Scala timpanica e Scala media (presenza di cellule che trasducono il segnale meccanico in acustico). In ciascuna di queste parti si proiettano le fibre nervose del nervo acustico.
- Membrana di Reisner: separa la scala media da quella vestibolare.

- Membrana Basilare: separa la scala media da quella timpanica. Su di essa poggia l'Organo dei Corti, struttura che contiene le cellule che operano la trasduzione acustica.

Organo dei Corti: costituito da una serie di cellule ciliate che poggiano sulla membrana basilare che hanno un "tettuccio" chiamato membrana tettoria. Le ciliate si estendono su tutta la lunghezza del canale cocleare. Tutte le cilia sono in grado di operare la trasduzione meccanico-elettrica, da vibrazione a cambiamento di Vm. -> sono tutte potenzialmente recettori acustici. Le altre cellule dell'organo dei Corti svolgono un ruolo di sostegno fisico per le altre cellule.

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

#### **Meccanica della vibrazione:**

- Compressione: aumenta la pressione locale, il timpano flette verso l'interno, la catena degli ossicini spinge sulla membrana della finestra ovale, questa affonda, successivamente la staffa spinge la membrana della finestra ovale verso l'interno della sede vestibolare. Poiché i liquidi non incomprimibili, grazie alla membrana della finestra rotonda, la pressione può evacuare. Questa, sporge verso l'esterno facendo muovere i liquidi in modo da abbassare la membrana basilare.
- Rarefazione: il timpano si muove verso l'orecchio esterno, la catena degli ossicini tira via la membrana della finestra ovale dall'interno della scala vestibolare. La membrana della finestra rotonda viene risucchiata dentro la scala timpanica e la membrana basilare oscilla verso l'alto. L'oscillazione avanti-indietro della membrana del timpano ad ogni ciclo dell'onda sonora si traduce in una oscillazione alto-basso della membrana basilare (questa permette il movimento delle cellule ciliate e, quindi, la trasduzione acustica).

**Meccano-Trasduzione:** Le cellule ciliate sono dotate di un fascetto di cilia che sporge sulla parte alta della cellula e tocca la membrana tettoria. Le cilia non sono tutte della stessa lunghezza, bensì sono degradanti (da una cilia più bassa si arriva a quella più alta). Ciascun cilio viene anche chiamato Stereocilio, esso è legato al suo vicino attraverso un legame (detto legame di punta) costituito da molecole di Actina, quindi è elastico. A riposo, i canali ionici a controllo meccanico sono parzialmente aperti. Da questi canali, passerà la corrente di trasduzione che è trasmessa dal Potassio (K<sup>+</sup>). Il liquido che riempie la scala media, dove sono immerse le ciliate, è a composizione ionica diversa dai liquidi extracellulari ed ha una concentrazione di K<sup>+</sup> elevata. Quindi, essendo K<sup>+</sup>, più concentrata fuori quando i canali sono aperti, segue la sua forza elettromotrice ed entra nella cellula ciliata, depolarizzandola. Quindi, la cellula ciliata a riposo depolarizza.

- Se la membrana oscilla verso l'alto? Il fascetto va a battere contro la membrana tettoria, questa si piega ulteriormente flettendosi verso il cilio più alto. I legami di punta tirano di più facendo aumentare la tensione locale sulla membrana, facendo aprire ulteriori canali meccanici. La corrente di trasduzione aumenta e la cellula depolarizza.
- Se la membrana oscilla verso il basso? Le cilia si raddrizzano o si piegano verso il cilio più basso. I legami di punta si afflosciano ed i canali meccanici si chiudono completamente. La corrente depolarizzante viene a mancare e quindi la cellula iperpolarizza.

- La membrana basilare non ha vasi sanguigni perché, essendo fatta per misurare le vibrazioni che provengono dall'esterno, evita il suono delle vibrazioni interne.

**Mappa delle frequenze acustiche:** le singole cellule ciliate sono selettive per le frequenze delle onde di pressione. Vi è una mappa ordinata delle frequenze udibili lungo la membrana basilare. Questa mappa si estende dalle frequenze alte (alla base) fino a quelle basse (all'apice) con tutte le frequenze intermedie ordinatamente disposte. Le cellule ciliate esterne svolgono il ruolo di amplificatori della vibrazione della membrana basilare, anche se sono dei recettori acustici.

#### **Dall'orecchio alla corteccia uditiva**

Il nervo acustico è costituito dagli assoni delle cellule bipolari che si trovano nel ganglio, all'interno dell'orecchio interno ed in particolare nel ganglio dei Corti o nel ganglio spinale. Queste cellule hanno un corpo cellulare privo di arborizzazione dendritica. Dal corpo cellulare emerge un prolungamento che si divide a "T", uno dei due rami contatta le cellule ciliate e l'altro forma il nervo acustico. Tutti questi assoni si riuniscono, escono dall'orecchio interno e formano il nervo acustico. La cellula ciliata trasmette sinapticamente, rilasciando glutammato e, dal momento che la meccano-trasduzione determina di per sé un cambiamento periodico di PdA delle cellule ciliate, anche il rilascio di NT sarà modulato nel tempo. Quindi anche la frequenza di scarica delle cellule del nervo acustico verrà modulata nel tempo (fino a 300 Hz). Superati i 300 Hz si ha la presenza di un periodo refrattario che impedisce una modulazione della scarica portando le cellule del nervo acustico a generare PdA sul picco del periodo di

depolarizzazione, ma non ad ogni periodo di depolarizzazione. Quindi le prime cellule lungo le vie acustiche che generano PdA sono le cellule del nervo acustico. Il nervo acustico esce dalla coclea e dall'orecchio interno si dirige verso la sua stazione terminale, i Nuclei Cocleari (il nervo acustico di dx termina nei nuclei cocleari di dx e viceversa).

- Nucle Cocleari: situati nel tronco dell'encefalo e all'interno è possibile visualizzare una mappa tonotopica. Le cellule del nervo acustico che innervano la corteccia cerebrale avranno tutte la stessa frequenza (quella della CC). -> Se siamo verso l'apice, la frequenza caratteristica sarà nell'intervallo delle frequenze acustiche basse; se siamo verso la base della coclea, le cellule del nervo acustico avranno frequenza caratteristica nell'intervallo delle frequenze acustiche alte.
  - Sordita Sensorineurale: assenza di cellule che trasducono il segnale ma il resto delle vie acustiche è intatto. E' possibile risolvere il problema con protesi acustiche (impianto cocleare). Se è il nervo acustico o la corteccia ad essere danneggiato detto impianto non servirà.
  - I nuclei cocleari sono 3: Dorsale, Postero Ventrare e Antero Ventrare. Ciascun nucleo ha una mappa tonotopica completa. Le cellule dei nuclei cocleari sono tutte monoaurali (ricevono ingresso da un solo orecchio (dx per dx e viceversa)). Il nervo acustico termina nei nuclei cocleari Ipsilaterali (nervo acustico dx nel nucleo cocleare dx e viceversa). Queste cellule hanno morfologie e funzioni diverse:
    - Cellule a Cespuglio: hanno un corpo cellulare nudo, dal quale emerge un solo grosso dendrite dall'alto che origina una serie di dendriti secondari e terziari. Queste cellule codificano con precisione il tempo di arrivo del suono. Emettono un solo PdA (collocato nel picco del primo periodo di deflessione del primo fascetto di cilia) per ogni potenziale post-sinaptico eccitatorio generato. Segnalano l'arrivo del suono e sono importanti per la direzione di provenienza del suono sul meridiano orizzontale.
    - Cellule Fusiforme: hanno un campo recettivo (con zona eccitatoria ed intorno due zone inibitorie) che risponde ad un intervallo ristretto di frequenze acustiche, per esempio una curva tonale di selettività per le frequenze acustiche caratteristiche. Intorno a questa frequenza, la cellula risponde in maniera sempre meno vigorosa ma mano che la frequenza si allontana dalla sua frequenza caratteristica ed il neurone cambierà la sua frequenza di scarica. Sono importanti per la localizzazione del suono lungo il meridiano verticale.
    - Cellule Stellate: codificano l'intensità e la frequenza del suono.
    - Cellule Octopus: codificano l'intensità.
      - Punto di Saturazione: punto oltre il quale l'intensità è massima e le cellule del nervo acustico non aumentano le frequenze di scarica.
      - Adattamento: se un suono ha un'intensità elevata e la mantiene nel tempo, l'adattamento inizia dalle cellule ciliate che daranno un'oscillazione meno ampia. Questo perché, se l'intensità dura a lungo, dai canali meccanici che fanno passare potassio, ma sono permeabili anche al calcio, se l'oscillazione è ampia si aprono completamente e per molte volte al secondo. La concentrazione di calcio all'interno delle cilia aumenta e questo punto di ancoraggio del legame di punta "scarroccia" verso il basso e si affloscia. I canali si chiudono e le cellule ciliate, anche se le cilia continuano ad oscillare, non danno più segnale elettrico -> la frequenza è la stessa ma è l'ampiezza a cambiare. La situazione recupera quando il livello interno di calcio torna normale, salvo danneggiamenti delle ciliate (si crea un buco nell'audiogramma).

La curva di sensibilità all'ampiezza del suono è diversa da cellula a cellula. Man mano che l'intensità aumenta viene reclutata la cellula con soglia maggiore e quindi percepirò un'intensità maggiore perché ho più cellule che scaricano. Nell'orecchio, a differenza del sistema visivo, non ci sono vie parallele che partono da questo organo. Le vie parallele partono dai nuclei cocleari. Queste vie analizzano o la composizione spettrale del suono o la sua posizione. Queste vie partono dai nuclei e non dalla membrana basilare.

- Nella coclea il nervo acustico termina nei nuclei cocleari ipsilaterali. Da ciascun nucleo partono tre vie di proiezione diverse che sono originate da cellule diverse dei nuclei cocleari:

1. Stria Acustica Dorsale
2. Stria Acustica Ventrare
3. Via del Corpo Trapezoide

- Le prime due crociano completamente. L'unica differenza è che crociano in punti differenti: la prima, crocia nel bulbo e la seconda a livello del ponte. Sono vie di proiezioni

controlaterali e terminano nel collicolo inferiore dopo un passaggio nei nuclei del Lemnisco laterale. Le due strie proiettano al collicolo inferiore di destra (si trova nel mesencefalo).

- La terza termina in due strutture del tronco dell'encefalo, in particolare del ponte: le Olive Superiori (sia a dx che a sx perché hanno una crociatura parziale). Quindi i nuclei dell'oliva superiore contengono cellule binaurali. Queste proiettano al collicolo inferiore ipsilaterale che poi proietta al nucleo talamico acustico, ovvero il corpo genicolato mediale. Da qui partono per la corteccia acustica primaria, situato nel lobo temporale nel giro di Heschl.
- Per localizzare il suono sono necessari sia indizi monaurali che binaurali.
  - Monoaurali: vengono dalla trasformazione di frequenze operata dalle pieghe del padiglione auricolare su suoni emessi da sorgenti sonore in punti diversi del meridiano verticale.
  - Binaurali: utilizzati per localizzare sul piano orizzontale. Gli indizi binaurali sono la differenza di tempo di arrivo del suono e l'intensità ad un orecchio rispetto all'altro.
- Differenza di tempo interaurale: differenza tra il tempo di arrivo e ciascun orecchio.
  - Questi indizi binaurali sono utilizzati per la prima volta dalle prime cellule binaurali che si trovano lungo i Nuclei Olivari Superiori ed in particolare:
    - Gli indizi relativi alla differenza di tempo di arrivo -> parte mediale dell'oliva superiore
    - Gli indizi relativi alla differenza dell'intensità neurale -> suddivisione laterale dell'oliva superiore.
  - Gli indizi monoaurali sono elaborati lungo le vie acustiche a livello corticale.
  - *Circuito degli indizi binaurali di differenza di intensità*: i nuclei cocleari, supponiamo di sx, danno origine ad una via del corpo trapezoide che termina sia sul nucleo olivare superiore di sx che in quello di dx. La proiezione per il nucleo olivare superiore ipsilaterale è eccitatoria. I neuroni dei nuclei cocleari, quelli contro laterali, proiettano prima al corpo trapezoide e poi i neuroni di questo corpo proiettano ai neuroni dell'oliva superiore. Questa proiezione sinaptica è inibitoria perché i neuroni del corpo trapezoide sono Gabaergici o Glicinergici (in entrambi i casi il NT è ad azione inibitoria).

Se il suono è localizzato a dx, l'ampiezza a livello dell'orecchio sarà maggiore per l'orecchio dx che per il sx. Per questo neurone prevale l'ingresso inibitorio.

Se il suono arriva di fronte, l'onda sonora avrà la stessa intensità per l'orecchio dx e sx. In questo caso, eccitazione ed inibizione si bilanciano, quindi il neurone potrebbe iniziare a produrre qualche PdA.

- *Circuito degli indizi binaurali per differenza di tempo*: I neuroni dell'oliva superiore ricevono l'ingresso sia dei nuclei cocleari contro laterali sia dai nuclei cocleari ipsilaterali. Gli assoni del nucleo cocleare ipsilaterale entrano dall'alto del nucleo olivare, quelli che provengono dal contro laterale arrivano dal basso. Le fibre delle vie del corpo trapezoide, nonché del nervo acustico sono fibre grandi che trasmettono velocemente. Nel momento in cui le fibre della via del corpo trapezoide entrano nei nuclei olivari diventano molto sottili e non mielinizzate.

Se prendiamo un neurone G, supponendo che il suono sia tutto a dx e che dx sia ipsilaterale. Il suono arriva all'orecchio dx, partono i PdA lungo il nervo acustico, arrivano ai nuclei cocleari in cui vi è trasmissione sinaptica. Partono i PdA lungo il corpo trapezoide che arriveranno lentamente.

Se orecchio sx: il suono arriva leggermente dopo all'orecchio contro laterale, quindi i PdA partono in ritardo.

Successiva trasmissione ai nuclei cocleari, via del corpo trapezoide ed arriveranno al neurone G senza fare molta strada nel nucleo olivare. Il neurone G successivamente somma i segnali dell'orecchio dx e sx. -> i neuroni dei nuclei olivari rispondono in maniera ottimale quando il suono è tutto a dx, perché la collocazione lateralizzata compensa il ritardo nervoso indotto dalla via a lenta conduzione dei nuclei cocleari.

- Questa Linea di Ritardo ci permette di sapere la precisione temporale dei neuroni dell'oliva superiore. Questo ci permette, poi, di costruire una mappa dei ritardi neurali, che corrisponde ad una mappa dello spazio acustico.
- I neuroni del collicolo inferiori sono binaurali, perché ricevono l'ingresso dalle cellule dell'oliva superiore che sono binaurali. Sono sensibili al ritardo interaurale e alla differenza di intensità interaurale, quindi proseguono l'elaborazione di tutte e due le informazioni che consentono la localizzazione lungo il piano orizzontale.

## Corteccia Acustica Primaria

I neuroni del genicolato mediale proiettano alla Corteccia Acustica Primaria, suddivisa in tre zone (ciascuna con la sua mappa tonotopica) situate nel lobo temporale superiore.

Le cellule della corteccia acustica primaria sono caratterizzate da una selettività per la frequenza acustica. Per come sono fatte le crociature, ogni corteccia acustica è dominata dall'orecchio contro laterale. Queste cellule proiettano alle cellule della Corteccia Acustica Secondaria. Da qui, come per la vista, partono due vie: dorsale per l'analisi della localizzazione e ventrale per l'analisi della forma. In più, parte una via di proiezione al lobo temporale che analizza il tipo di suono e la forma del suono. L'altra via proietta alla Corteccia Parietale, che rileva la sorgente del suono ("dov'è il suono"). Successivamente viene proiettato il tutto alle Cortecce Acustiche Associative.

## IL SISTEMA SOMATOSENSORIALE

La sensibilità somatica ha origine dai recettori distribuiti nella pelle, nei muscoli, nelle articolazioni e negli organi interni. A differenza dei recettori del sistema visivo ed acustico, che trasducono un solo tipo di energia (luminosa o fotorecettori e meccanica le cellule ciliate), i recettori della sensibilità somatica sono suddivisibili in meccanorecettori, termorecettori e chemorecettori, a seconda del tipo di energia dello stimolo. Distinguiamo, quindi, all'interno della sensibilità somatica modalità diverse:

- *Tattile*: tipo di energia dello stimolo meccanica; recettori meccanorecettori cutanei
- *Propriocezionale*: tipo di energia dello stimolo meccanica; recettori meccanorecettori muscolari, tendinei e articolari
- *Termica*: tipo di energia dello stimolo termico; recettori termorecettori cutanei del caldo e freddo.
- *Nocicettiva*: tipo di energia dello stimolo meccanico, termico e chimico; recettori meccanorecettori, termomeccanici e polimodali cutanei.

La percezione somatosensoriale permette di rilevare i danni (dolore), determinare la posizione delle parti del corpo (propriocezione), determinare dove e come si stanno muovendo i muscoli (cinestesia), rilevare i cambiamenti di temperatura, le deformazioni, le vibrazioni a basse e alte frequenze, la pressione sostenuta sulla pelle (tatto), manipolare attivamente oggetti (percezione aptica) e afferrare con presa adeguata (graping).

- Ognuna di queste modalità è mediata da un sistema specifico di recettori e di vie centrali. Tuttavia, indipendentemente dalla modalità, la sensibilità somatica del tronco e degli arti è convogliata dalla stessa classe di neuroni sensoriali: le cellule dei gangli delle radici dorsali. Ognuna di queste cellule, risponde selettivamente ad un tipo di stimolo e trasporta informazioni su una sola modalità, grazie alla specializzazione morfologica e molecolare del suo terminale periferico. L'informazione somatosensoriale dalle strutture craniche è trasportata dai neuroni del V nervo cranico, il Trigemino. I neuroni sensoriali del trigemino sono omologhi, sia funzionalmente sia morfologicamente, alle cellule dei gangli delle radici dorsali. I terminali periferici dei neuroni dei gangli delle radici dorsali sono di due tipo:

1. Terminazioni Nervose Nude: mediano sensazioni termiche e dolorifiche ed hanno fibre afferenti sottili, poco o non mielinizzate e conducono PdA più lentamente

2. Terminazioni Nervose Incapsulate: mediano la modalità del tatto e della propriocezione. Sono meccanorecettori, hanno fibre afferenti grandi e ben mielinizzate. Conducono PdA a velocità elevata.

I recettori tattili sono meccanorecettori: lo stimolo che li eccita è una pressione esercitata sulla pelle. Tale pressione indenta la pelle e deforma meccanicamente il terminale periferico dei recettori tattili, che possiede numerosi canali ionici a controllo meccanico. Questa deformazione determina l'apertura dei canali e quindi la depolarizzazione del terminale stesso (potenziale di recettore). Due tipi di meccanorecettori tattili nella pelle glabra:

Recettore di Merkel e recettore di Meissner: collocati negli strati superficiali della pelle; sensibili alla deformazione delle creste in cui si trovano. Sono a lento adattamento.

Recettori del Pacini e recettori del Ruffini: collocati nel tessuto sottocutaneo; sensibili alla deformazione di una larga zona di cute. Questi sono a rapido adattamento (cessano rapidamente di rispondere ad uno stimolo)

Campo recettivo di un neurone dei gangli delle radici dorsali: zona di cute la cui stimolazione, con una lieve pressione, evoca la risposta del neurone. Questi sono di forma circolare. Una pressione applicata al loro interno evoca una depolarizzazione del neurone.

- I campi recettivi che innervano gli strati superficiali sono più piccoli di quelli dei neuroni degli strati profondi. La densità e la dimensione dei recettori superficiali varia con la mappa corporea -> alta intensità recettoriale = alta densità di innervazione (responsabile della alta acuità tattile delle punta delle dita).

Durante l'esplorazione degli oggetti, è l'attività integrata di popolazioni di recettori tattili che ci consente di estrarre le proprietà tattili dagli oggetti e di coordinare la loro manipolazione.

- www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari
- SA 1 Cellule di Merkel: feature di massima sensibilità: frequenza molto bassa; funzione primaria di percezione delle texture e della forma; canale utilizzato per la lettura del Braille.
  - FA 1 Corpuscoli di Meissner: feature di massima sensibilità: cambiamenti temporali nella deformazione della pelle. Funzione primaria di percezione delle vibrazioni a basse frequenze. Canale utilizzato per correggere, per esempio, la presa di un oggetto che sta scivolando dalle dita perché risulta essere più peso del previsto.
  - FA 2 Corpuscoli di Pacini: feature di massima sensibilità: cambiamenti temporali nella deformazione della pelle. Funzione primaria di percezione delle vibrazioni ad alte intensità. Canale utilizzato ogni qual volta un oggetto viene a contatto per la prima volta con la pelle o per regolare l'utilizzo di un oggetto che stiamo tenendo e che fa contatto con un'altra superficie.
  - SA 2 Terminazioni di Ruffini: feature di massima sensibilità: pressione sostenuta (verso il basso), stiramento della pelle e scivolamento sulla pelle. Bassa sensibilità alle vibrazioni. Funzione primaria di posizionamento delle dita e presa stabile. Canale utilizzato per il grasping.

Nel somatosensoriale, per localizzare uno stimolo, non ci si basa su quanti PdA ci sono al secondo (non si usa la frequenza di scarica), ma quando arriva il primo. Questo perché, il PdA non si genera subito poiché la parte periferica del neurone è amielinica. Quando arriva al primo nodo di Ranvier, si genera il primo PdA che permette, quindi, di localizzare e di comprendere la direzione.

**Propriorecettori:** Le informazioni sul senso di posizione, dei movimenti dei propri arti e del proprio corpo tipiche di questi recettori, sono essenziali per il controllo dei movimenti e della postura, ma sono anche importanti per la percezione del nostro corpo. Tre tipi di meccanorecettori con funzione propriocettive nei muscoli e nelle articolazioni:

- *Propriorecettori dei fusi neuromuscolari:* si avvolgono intorno a fibre muscolari specializzate, situate nel Fusso neuromuscolare che si trova nel muscolo. Tali recettori segnalano la lunghezza del muscolo.
- *Recettori tendinei del Golgi:* collocati all'interno dei tendini e segnalano la tensione esercitata sul tendine ad un gruppo di fibre muscolari.
- *Recettori Articolari:* collocati nelle capsule articolari e segnalano la flessione o l'estensione dell'articolazione.
- La propriocezione cutanea è importante per il controllo dei movimenti delle labbra e nell'articolazione del linguaggio.

**Nocicettori:** Possono rispondere sia direttamente allo stimolo nocivo (nocicettori meccanici) sia al danno tissutale, essendo sensibili alle sostanze rilasciate dalle cellule del tessuto traumatizzato. Rispondono a stimoli meccanici intensi e dolorosi e determinano l'insorgenza di una sensazione dolorifica, pungente e ben localizzata.

I nocicettori termici sono eccitati da temperature eccessivamente elevate o fredde. Entrambi rispondono anche a stimoli meccanici intensi.

I nocicettori polimodali rispondono a stimoli meccanici, termici e chimici e producono una sensazione di dolore a lenta insorgenza, urente e diffuso.

**Termorecettori:** suddivisibili in recettori del caldo e del freddo. La loro frequenza di scarica, a temperatura costante, dipende dal valore di questa temperatura. Essi segnalano la differenza della temperatura di un oggetto o dell'aria rispetto alla temperatura della pelle. Sono sensibili ad un rapido cambiamento della temperatura locale. Per temperature superiori ai 50°, i termorecettori sono silenti -> temperatura percepita come dolore.

## Vie Somatosensoriali

Vi sono due distinti sistemi che convogliano l'informazione per le diverse modalità somatosensoriali:

- Sistema delle colonne dorsali-lemnisco mediale: convoglia informazioni per modalità tattili e propriocettiva. -> cellule dei gangli delle radici dorsali proiettano ai nuclei gracile e cutaneo -> questi proiettano al talamo -> questo proietta ad S1; la crociata si ha nel bulbo.
- Sistema Anterolaterale: convoglia informazioni termiche e nocicettive. -> cellule dei gangli delle radici dorsali proiettano ad interneuroni spinali, che danno origine a vie spino talamiche, spino reticolari o spino tattili; solo le informazioni che, tramite il talamo, giungono alla corteccia, danno origine a sensazioni coscienti.

## Corteccia Somatosensoriale Primaria (S I)

Le informazioni somatosensoriali dal talamo raggiungono la corteccia somatosensoriale primaria (S I) nel lobo parietale, nel giro post-centrale S I ed è connessa principalmente con S II, localizzata sopra il solco laterale.

Gli assoni dei neuroni talamici delle modalità tattili e propriocettiva proiettano ad S I.

Gli assoni dei neuroni talamici della modalità nocicettiva proiettano:

- ad S I -> localizzazione ed analisi sensoriale dello stimolo nocivo
- alla Corteccia Insulare (CI) e alla Corteccia Cingolata Anteriore (CCA) -> strutture del

"network nocicettivo"; mediano la componente affettiva dell'esperienza nocicettiva, ovvero la connotazione negative e le reazioni emotive ad uno stimolo dolorifico.

Le fibre talamiche somatosensoriali terminano in S I. Questa è suddivisa in 4 aree: 3a, 3b, 1 e 2. Le aree 1 e 2 ricevono un ingresso anche dalle aree 3a e 3b. Le aree di S I proiettano alla Corteccia Somatosensoriale Secondaria (S II) e alla Corteccia Parietale Posteriore (PPC). S II proietta tramite la corteccia insulare, ad aree del lobo temporale -> importante per memoria tattile. PPC integra info tattile, propriocettiva e ingressi visivi. Importante per riconoscimento di un oggetto nella sua globalità.

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari