

# Fisiologia Speciale

Prof. D'Ausilio

8

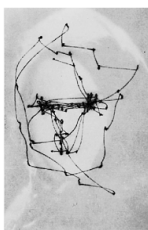
1

## Movimenti oculari

2

### Perché i movimenti oculari sono così importanti?

- La maggiore acuità visiva è limitata alla fovea
- Dobbiamo essere quindi in grado di indirizzare la fovea verso il punto di interesse
- Per far ciò bisogna tener conto dei movimenti degli occhi e del capo
- Fondamentale per stabilizzare l'immagine sulla retina
- Avviene tramite l'integrazione di informazioni vestibolari sulla posizione del capo



3

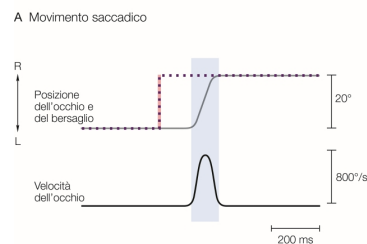
### Tipi di movimenti oculari

- Movimenti oculari saccadici: portano rapidamente la fovea verso un bersaglio visivo disposto alla periferia del campo visivo
- Movimenti lenti di inseguimento: mantengono fissa sulla retina l'immagine di un oggetto in movimento
- Movimenti di vergenza: muovono i due occhi in direzione opposte in modo che l'oggetto si proietti sulle due fovee (movimenti non coniugati)
- Movimenti vestibulo-oculari: mantengono stabili le immagini sulla retina durante movimenti del corpo
- Movimenti optocinetici: mantengono stabili le immagini sulla retina durante movimenti rotatori prolungati del capo. Sono evocati da stimoli visivi
- Sistema di fissazione: provvede a mantenere gli occhi stabili su un bersaglio

4

## Movimenti saccadici

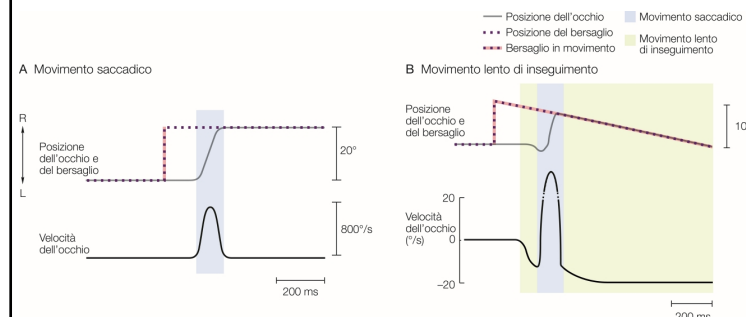
- Movimenti molto stereotipati, caratterizzati da un incremento e decremento della velocità standardizzato
- Durata di una frazione di secondo ed una velocità fino a  $900^\circ/\text{s}$ . La velocità dipende solo dalla distanza
- Possiamo controllare volontariamente solo l'ampiezza e direzione, non la velocità



5

## Movimenti lenti di inseguimento

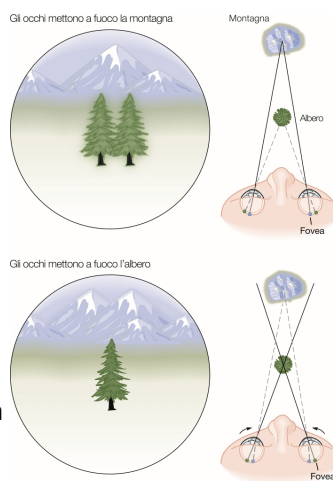
- Velocità massima di  $100^\circ/\text{s}$
- È necessario uno stimolo visivo in movimento



6

## Movimenti di vergenza

- Movimenti disgiuntivi di convergenza/divergenza
- Serve per avere l'oggetto di interesse centrato sulle due fovee
- Al contrario gli altri oggetti formeranno la loro immagine in zone leggermente diverse della retina o disparità retinica
- La disparità retinica viene usata per creare il senso di profondità



7

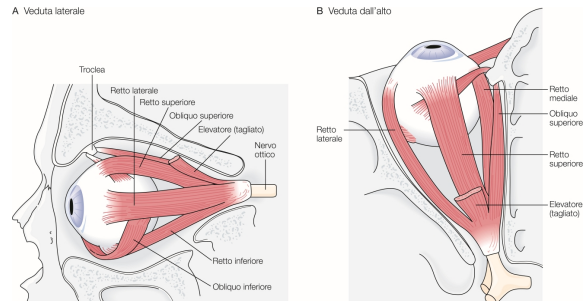
## Movimenti oculari

- La corteccia cerebrale decide i bersagli sulla base degli oggetti visivi di interesse
- I segnali corticali vengono trasmessi ai nuclei motori del tronco attraverso il collicolo superiore
- I circuiti cerebrali ed il collicolo non specificano il contributo di ciascun muscolo al movimento
- La programmazione motoria avviene nel tronco

8

## Rotazione del globo oculare

- Tre coppie complementari di muscoli
  - Muscoli retti (superiore, inferiore, mediale, laterale)
  - Muscoli obliqui (superiore, inferiore)

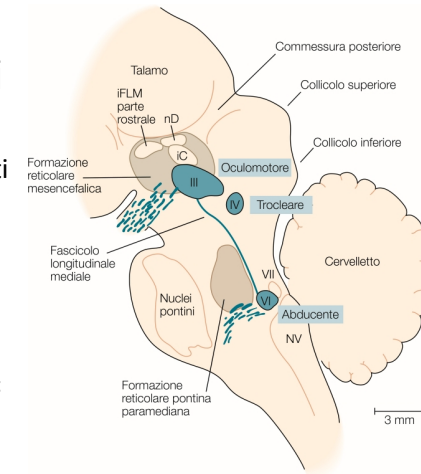


9

## Nervi e Nuclei motori

- I muscoli oculari estrinseci sono innervati da tre gruppi di motoneuroni

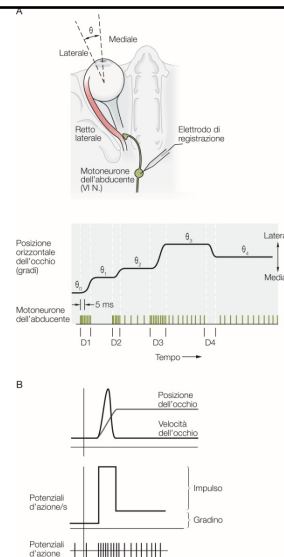
- Nervo abducente (VI): retto laterale
- Nervo trocleare (IV): obliquo superiore
- Nervo oculomotore (III): restanti muscoli



10

## Codifica della posizione e velocità

- In una saccade, quando la velocità passa da 0 a 900°/s, la frequenza di scarica del motoneurone aumenta rapidamente (impulso)
- Dopo l'“impulso” i muscoli oculari intrinseci mostrano una contrazione tonica
- La differenza tra frequenza di scarica iniziale e finale viene definita “gradino” di attività
- Il segnale emesso dai motoneuroni e quindi di tipo impulso-gradino
- L'altezza del gradino determina l'ampiezza del saccadico
- L'altezza dell'impulso determina la velocità
- La durata dell'impulso determina la durata

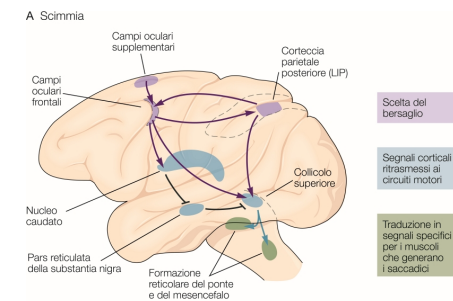


11

## Controllo corticale delle saccadi

- I movimenti oculari sono una componente del comportamento cognitivo dei mammiferi e quindi sono controllati dalla corteccia

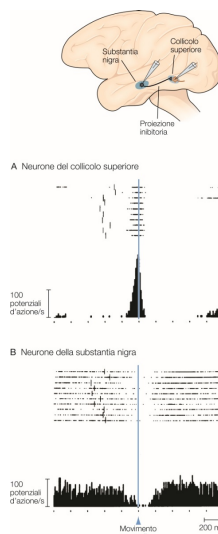
- Il collicolo integra le informazioni visive e motorie e ritrasmette segnali motori al tronco



12

## Collicolo

- Ruolo di integrazione visuomotoria
- Strati superficiali
  - Neuroni in rapporto con la visione: ricevono informazioni visive dell'emicampo controlaterale
  - Metà dei neuroni diventano più attivi prima di una saccade verso uno stimolo nel loro campo recettivo (no risposte attenzionali)
- Strati intermedi e profondi
  - Neuroni in relazione con il sistema oculomotore: ricevono informazioni visive e contengono una mappa della localizzazione dei suoni, scaricano prima di una saccade
  - Formano una mappa dei movimenti oculari possibili che si sovrappone alle mappe recettive visive ed uditive



13

## Corteccia parietale

- Movimenti oculari saccadici ed attenzione sono collegate
- I neuroni della corteccia parietale che rispondono agli stimoli visivi aumentano la loro risposta se questi stimoli costituiscono anche il bersaglio di una saccade
- Aumento della scarica anche senza saccade se attenzione è prestata verso lo stimolo
- La loro scarica è quindi prevalentemente attenzionale dal momento che non costituisce né un segnale di inizio della saccade né un segnale prettamente visivo (a differenza del collicolo)

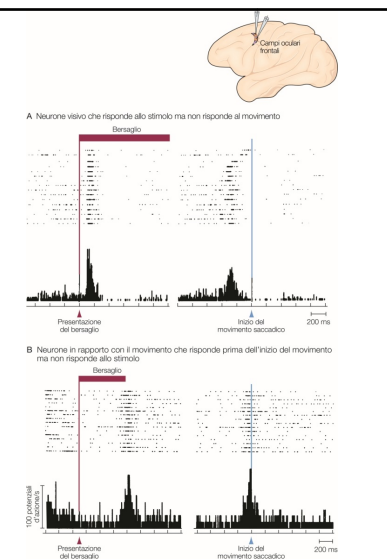
14

## Campi oculari frontali

- Neuroni in queste aree sono in rapporto più stretto con i movimenti oculari
- Neuroni visivi: rispondono a stimoli visivi, ma la metà di essi risponde in modo più vigoroso se tali stimoli saranno bersaglio di una saccade
  - No potenziamento attenzionale
  - No risposte in assenza di stimoli (buio)
- Neuroni in rapporto con il movimento: scaricano prima e durante le saccadi e non agli stimoli visivi che non sono bersaglio di saccadi
- Neuroni visuomotori: proprietà miste delle due popolazioni precedenti

15

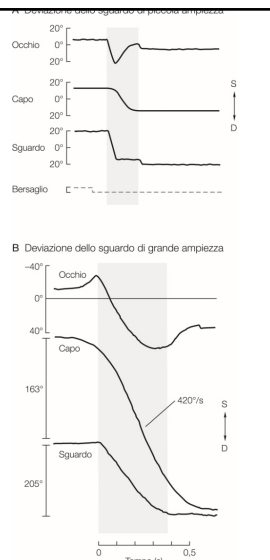
## Neurone visivo e neurone in rapporto con il movimento dei campi oculari frontali



16

## Coordinazione dei movimenti degli occhi e della testa

Quando si intende dirigere la fovea verso un oggetto mentre il capo si sta muovendo, occorre coordinare i movimenti del capo e degli occhi



17

## Sistema Vestibolare

18

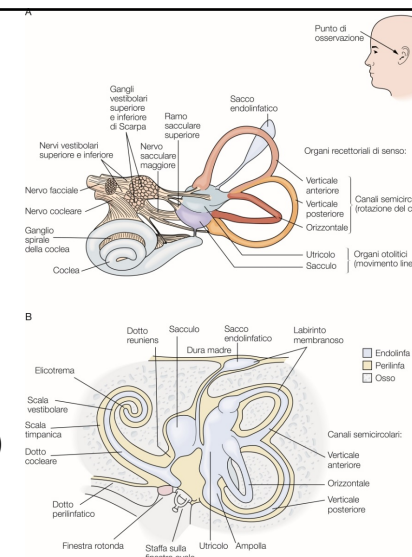
## Funzioni del sistema vestibolare

- Misura le accelerazioni lineari ed angolari del capo mediante un complesso di 5 organi di senso che si trovano nell'orecchio interno
- Equilibrio
- Campo gravitazionale
- Distribuzione tono posturale
- Direzione di spostamento del corpo
- Mantenimento stabilità retinica durante i movimenti della testa

19

## Orecchio interno

- Disposizione anatomica del labirinto vestibolare e cocleare
- L'orecchio interno consta del labirinto osseo, al cui interno è contenuto il labirinto membranoso
- Il L.M. contiene gli organi dell'udito (coclea) e dell'equilibrio (utrículo, sacculo e canali semicirculari)



20

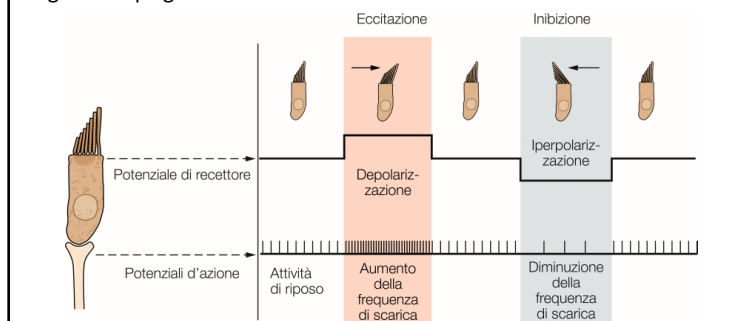
## Labirinto vestibolare

- Gli organi recettoriali si trovano all'interno di uno strato di tessuto connettivo (L.M.)
- Lo spazio tra labirinto osseo e membranoso contiene la perilinfina mentre il LM contiene l'endolinfa
- Gli organi di senso sono rivestiti da una lamina di cellule epiteliali, alcune delle quali producono tramite pompe ioniche, l'endolinfa ricca di  $K^+$  e povero di  $Na^+$

21

## Le cellule ciliate

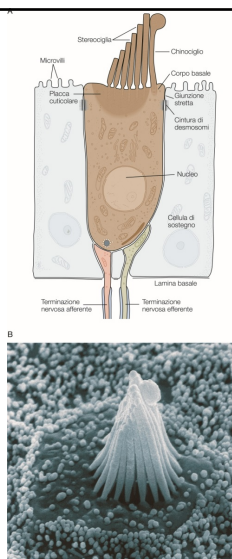
- Trasducono stimoli meccanici in potenziali di recettore
- Sulla superficie apicale di ogni cellula è presente un fascetto di ciglia la cui lunghezza è decrescente
- Il potenziale di membrana della cellula dipende alla direzione verso cui le ciglia sono piegate



22

## Stereociglia e chinociglio

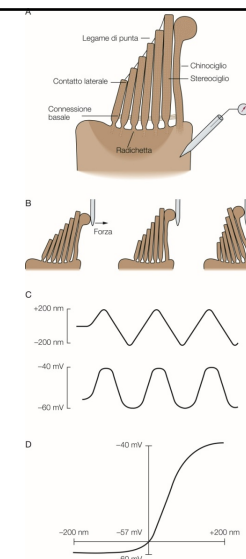
- Le stereociglia si assottigliano in prossimità della loro base di inserzione
- Una forza applicata sulla punta determinerà una rotazione a perno sulla base di inserzione
- Il chinociglio funge da leva che trasmette la forza stimolante alle stereociglia



23

## Potenziiale di recettore

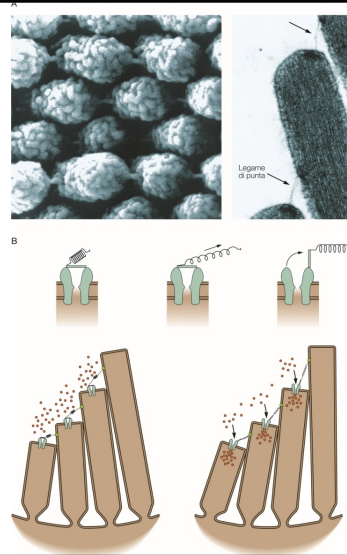
- Una forza meccanica fa deflettere la sua struttura delle ciglia
- L'apertura e chiusura di canali sensibili alle forze meccaniche da origine ad un potenziale di recettore oscillatorio
- La relazione tra inclinazione delle ciglia e il potenziale è di forma sigmoidale



24

### Modello di trasduzione mecano-elettrica

- L'apertura e la chiusura dei canali ionici è regolata da una porta d'accesso molecolare controllata da un elemento elastico sensibile alla deflessione delle ciglia
- L'aumento della tensione determina l'apertura di canali permeabili al  $Ca^{2+}$  e  $K^+$ , con effetto depolarizzante



25

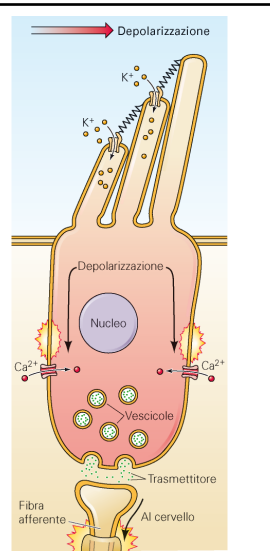
### Un modello dell'adattamento delle cellule ciliate

- Il  $Ca^{2+}$  si lega alla calmodulina e attiva una serie di motori molecolari che riducono la tensione del tip-link con conseguente chiusura dei canali

26

### Differenza di potenziale tra endolinfa e perilinfia

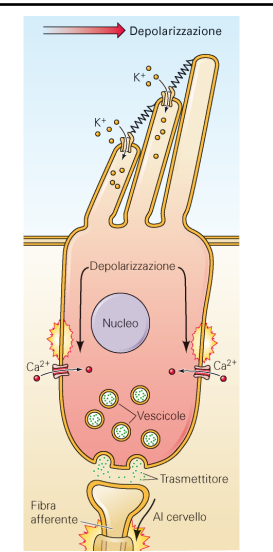
- L'estremità apicale è esposta all'*endolinfa*, ricca di  $K^+$  e povera di  $Na^+$  (concentrazione prodotta dalle dark cells)
- L'estremità basale è immersa nella *perilinfia*, povera di  $K^+$  e ricca di  $Na^+$  (simile ai liquidi extracellulari)
- L'endolinfa è 80 mV più positiva rispetto alla perilinfia
- L'interno della cellula ciliata (-57mV) è 45mV più negativo della perilinfia e 125mV più negativo dell'endolinfa



27

### Rilascio neurotrasmettitore

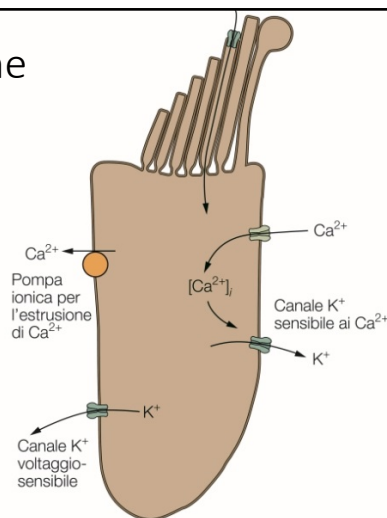
- Il gradiente elettrico, nella porzione apicale, promuove l'ingresso di  $K^+$  anche se contro il gradiente di chimico
- Depolarizzazione elettrotonica a cui segue l'apertura di canali voltaggio-dipendenti del  $Ca^{2+}$  e  $K^+$  sul soma
- L'ingresso di  $Ca^{2+}$  favorisce il rilascio di neurotrasmettitore



28

## Ripolarizzazione

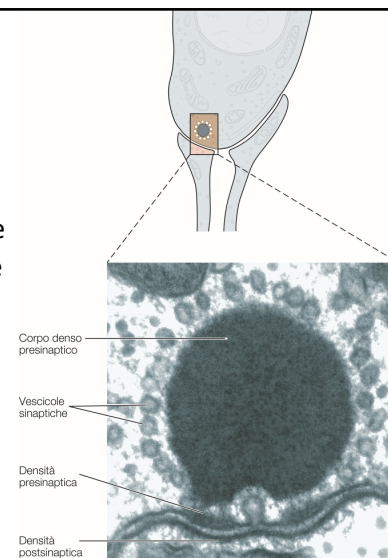
- I canali  $K^+$  favoriscono l'uscita degli ioni e la ripolarizzazione
- L'ingresso di  $Ca^{2+}$  favorisce la ripolarizzazione
- L'aumento della concentrazione di  $Ca^{2+}$  attiva altri canali  $K^+$  la cui apertura è mediata dal  $Ca^{2+}$  intracellulare



29

## Trasmissione sinaptica

- Le cellule ciliate non sono solo recettori ma anche terminazioni presinaptiche
- La membrana basolaterale contiene numerose zone attive a livello delle quali viene liberato neurotrasmettitore
- Liberano trasmettitore anche a riposo, ed aumenta o diminuisce in funzione del potenziale di membrana



30

## Tipi di cellule ciliate

- Cellule di I tipo (a forma di fiasco) o di II tipo (cilindro)
- L'innervazione Tipo I: le afferenze, a calice, avvolgono quasi completamente la cellula e sono contattate dalle terminazioni efferenti
- L'innervazione Tipo II: è costituita da numerosi terminali nervosi a bottone, sia afferenti che efferenti
- Tipo I: scarica fasica a rapido adattamento
- Tipo II: scarica basale a frequenza più elevata, risposta tonica con scarso adattamento

31

## Nervo vestibolare

- Le cellule ciliate del labirinto vestibolare inviano i loro segnali ai nuclei vestibolari del tronco
- I corpi cellulari sono nel ganglio vestibolare
- Le cellule afferenti scaricano sia in modo tonico che fasico, in tal modo fornendo informazioni sia sugli stimoli di lunga durata (ad es. gravità) che le brusche variazioni
- Ricevono proiezioni efferenti dal tronco che ne modificano il guadagno

32



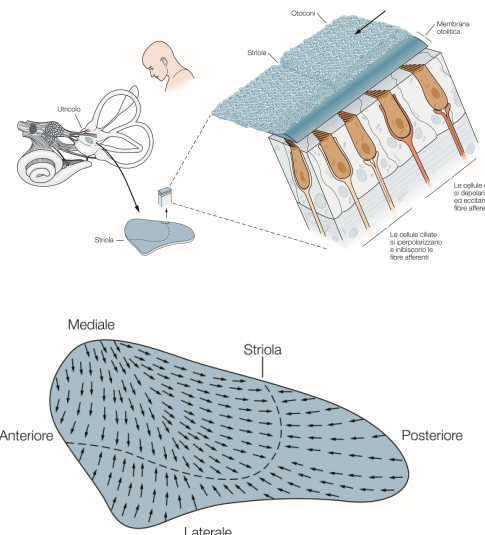
## Utricolo e sacco (organi otolitici)

- 2 sacchi ovoidali di circa 3mm
- Utricolo: 30k cellule cigliate
- Sacculo: 16k cellule cigliate
- La macula presenta un epitelio disposto su una superficie piana contenente cellule cigliate
- Sulle ciglia si attacca una membrana gelatinosa (membrana otolitica)
- Nella membrana sono presenti piccoli granelli solidi (otoconi) di max 10micron
- Con un accelerazione lineare, il capo e gli organi otolitici si muovono, mentre la membrana è libera di spostarsi
- Il movimento degli otoconi è trasmesso alla membrana che flette le ciglia
- In posizione eretta la macula dell'utricolo sarà orizzontale, quella del sacco verticale

33

## Organi otolitici

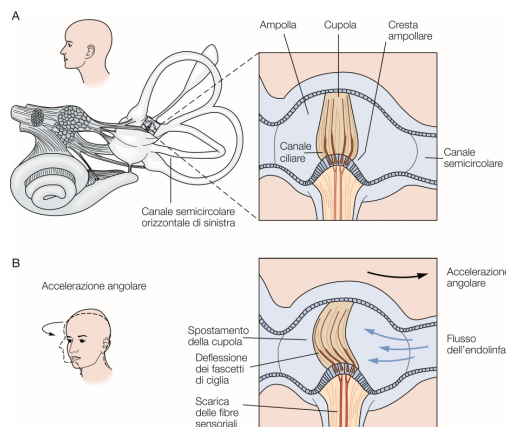
- Le ciglia delle cellule ciliate si dispongono su tutti gli orientamenti in modo da poter segnalare tutte le direzioni di movimento



34

## Ampolle dei canali semicircolari

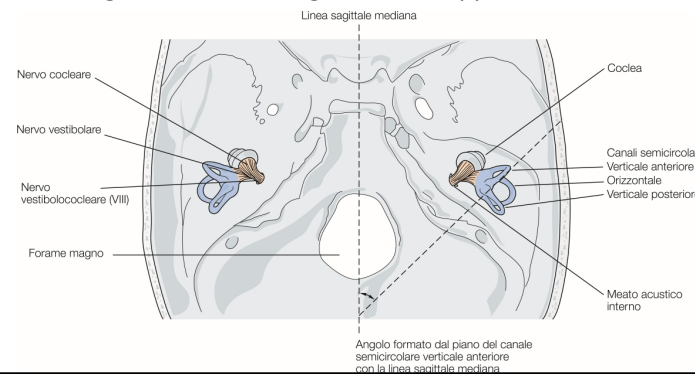
- Le accelerazioni angolari prodotte dalla rotazione del capo o del corpo sono rilevate dai canali semicircolari
- Le cellule ciliate si trovano nell'ampolla, in un diaframma detto cupola
- Quando il capo si muove, l'inerzia del endolinfa distorce le ciglia



35

## Integrazione dei segnali

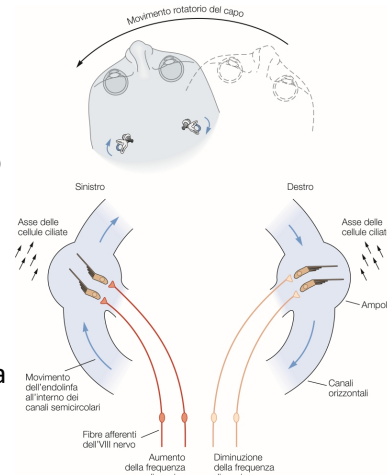
- I segnali vestibolari agiscono in coppia



36

## Un esempio: canali semicircolari orizzontali

- Rotazione del capo anti-oraria
- Endolinfa si muove in senso orario
- Inclinazione delle ciglia di sinistra in direzione eccitatoria
- Inclinazione delle ciglia di destra in direzione inibitoria



37

## Nervo e nuclei vestibolari

- Il nervo vestibolare uscendo dal ganglio dello Scarpa si unisce al nervo cocleare formando l'VIII nervo cranico
- L'VIII entra nella cavità cranica attraverso il meato acustico interno e nel tronco dell'encefalo a livello del ponte, nei nuclei vestibolari superiore, mediale, laterale (Deiters) e discendente (o inferiore)

38

## Proiezioni

- **PROIEZIONI VESTIBOLO-CEREBELLARI**
  - verso il flocculo e lo spinocerebello
  - coinvolti nel mantenimento dell'equilibrio e della postura
- **PROIEZIONI VESTIBOLO-CORTICALI**
  - Verso i nuclei ventrali (laterale e posteriore) del talamo e da qui alle aree 3 e 2 della corteccia S1
- **PROIEZIONI VESTIBOLO-OCULARI**
  - Verso i nuclei oculomotori del ponte e del mesencefalo
  - riflesso vestibolo-oculare
- **PROIEZIONI VESTIBOLO-SPINALI**
  - Il tratto laterale discende ipsilateralmente ed eccita i muscoli anti-gravitari degli arti
  - Il tratto mediale, bilateralmente, eccita gli estensori del collo e del tronco

39

## Riflessi vestibolari

- **R. vestibolo-spinali (N. vestibolare laterale)**
  - Permettono al sistema scheletro-motorio di compensare movimenti del capo
- **R. vestibolo-oculari (N. vestibolare superiore e mediale)**
  - Mantengono fissi gli occhi quando il capo si muove

40

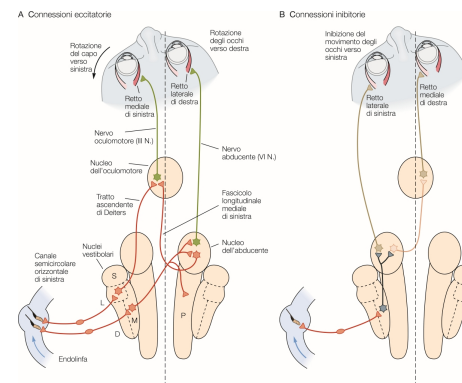
## Riflesso vestibolo-spinale

- Generano movimenti del corpo compensatori per mantenere stabilità posturale e quindi prevenire le cadute
- Ad es., mantenere una posizione eretta anche sul ponte di una barca
- **Riflesso vestibolare tonico**
  - organi otolitici -> nucleo vestibolare laterale -> tratto vestibolo-spinale -> motoneuroni spinali = controllo muscoli delle gambe per il mantenimento della postura
- **Riflesso vestibolare cinetico**
  - canali semicirculari -> nucleo vestibolare mediale -> fascicolo longitudinale mediale -> motoneuroni del tronco e i muscoli del collo = reazioni motorie complesse intese a correggere velocemente, durante i movimenti rapidi del capo, gli sbilanciamenti del corpo rispetto alla normale posizione di equilibrio

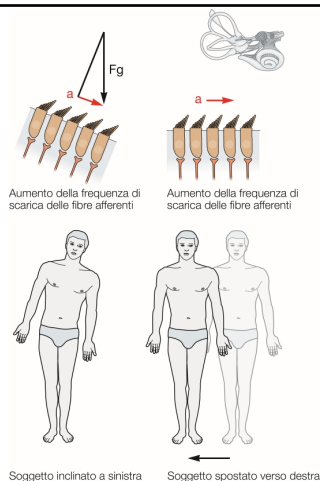
41

## Riflesso vestibolo-oculare orizzontale

- Importante per tutti i tipi di movimenti coniugati degli occhi
- Rotazione antioraria
- Eccitazione canale semicirculari orizzontale di sinistra
- Eccita i neuroni che fanno muovere gli occhi verso destra ed inibisce quelli che li muoverebbero verso sinistra



42

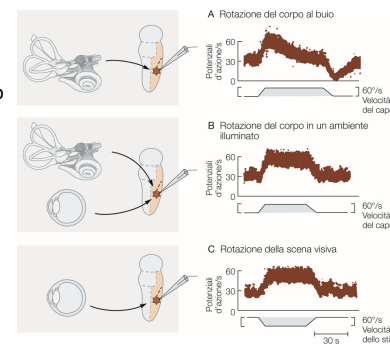


I segnali afferenti vestibolari che forniscono informazioni sulla postura e sul movimento del corpo possono essere ambigui

43

## Sistema optocinetico: convergenza di segnali visivi

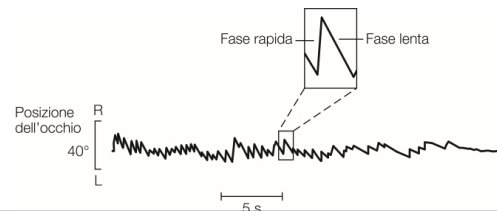
- Funzione: stabilizzare scena visiva
- I segnali vestibolari
  - sono soggetti ad adattamento
  - non sono sensibili ai movimenti lenti
- Il segnale visivo ha risposta lenta ma è sensibile ai movimenti lenti
- Il segnale vestibolare viene integrato da quello visivo
- *Attività di un neurone del nucleo vestibolare mediale ->*



44

## Nistagmo

- In una rotazione continua, si arriva al limite della deflessione oculare ed emerge il Nistagmo -> alternanza movimenti oculari lenti e rapidi durante la rotazione del corpo
- La fase lenta è prodotta dal segnale vestibolare
- Se la velocità angolare del capo è costante il nistagmo cessa
- Nistagmo quando il capo è fermo è un segno di alterazione patologica del sistema vestibolare



45