



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Master di posturografia
10 mag 2015

Sistema vestibolare e equilibrio

Giovanni Ralli

Dipartimento di Organi di Senso , Università di Roma

“La Sapienza”

L'adattamento dell'uomo sul pianeta Terra ha richiesto il perfezionamento di alcune sensibilità specifiche che sono assolate dall'orecchio: si tratta della sensibilità del campo gravitazionale e in generale alle variazioni di forza (accelerazione).

Per raggiungere questo risultato utilizza una strategia complessa che comporta la codifica delle stimolazioni ambientali in segnali bioelettrici

L'orecchio è un sistema complesso che mette in comunicazione l'ambiente esterno con il sistema nervoso traducendo in sensazioni nervose forze fisiche quali le forze gravitazionali.

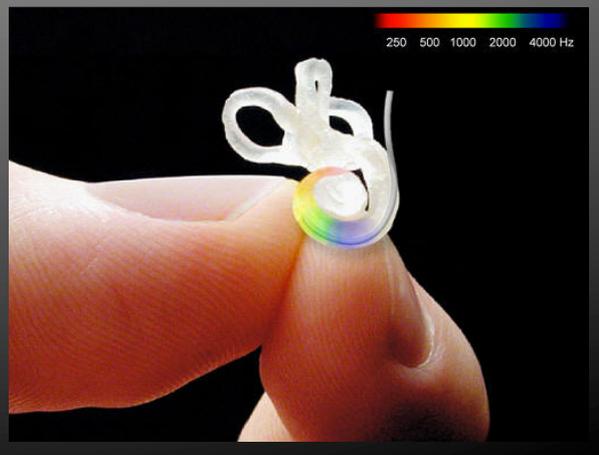
Il labirinto posteriore contribuisce alle seguenti funzioni :

Controllo dei movimenti dei bulbi oculari

Controllo della postura e della locomozione

Controllo degli aspetti cognitivi dell' equilibrio quali

l' orientamento e la navigazione spaziale



**RIFLESSI
VESTIBOLARI**

V.O.R.
(Vestibular
Oculomotor
Reflex)

**Riflesso
Vestibolo
Collico
o
Cervicale**

V.S.R.
(Vestibular
Spinal
Reflex)

Riflessi per mantenere la
fissazione dell'immagine retinica

V.O.R.
(Vestibular
Oculomotor
Reflex)

a testa e corpo
fermi

**Riflesso
visuo-oculomotore**

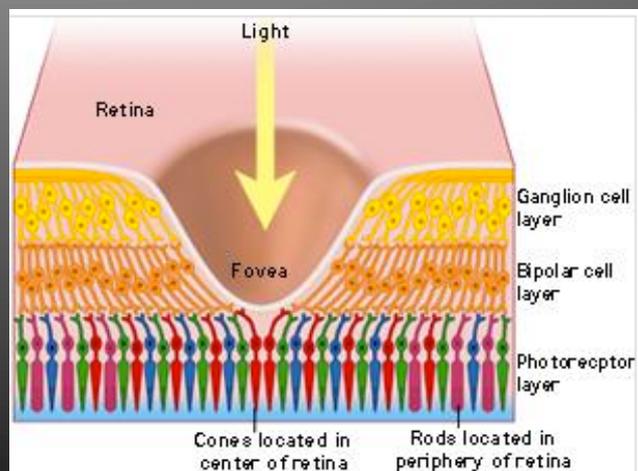
- 1 saccadi
- 2 inseguimento
lento
- 3 nistagmo
optp-cinetico
(O.K.N.)

a testa e corpo
in movimento

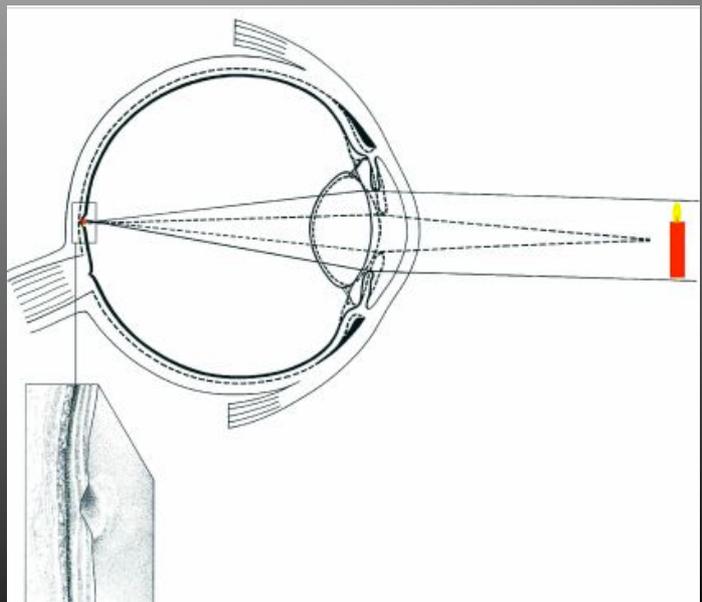
**Riflesso
vestibolo-oculomotore**

Nell'uomo la zona di massima acuità visiva è rappresentata da una piccola depressione della retina chiamata fovea del diametro inferiore al mezzo millimetro.

Nella fovea è presente un forte addensamento di coni, mentre le cellule bipolari e gangliari sono ripiegate.



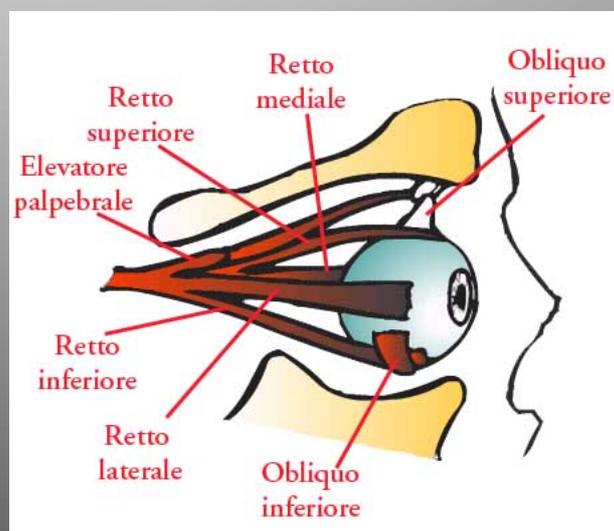
Per mantenere l'immagine all'interno della fovea, i bulbi oculari sono in costante movimento.



I movimenti dei globi oculari sono possibili grazie alla attività dei muscoli oculomotori

1. Retto inferiore
2. Retto superiore
3. Retto mediale
4. Retto laterale
5. Obliquo inferiore
6. Obliquo superiore

Superior rectus	Superior branch of oculomotor nerve
Inferior rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Lateral rectus	Abducens nerve
Medial rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Superior oblique	Trochlear nerve
Inferior oblique	Inferior branch of oculomotor nerve



I muscoli oculomotori operano in sinergia e sono in grado di contrarsi più rapidamente degli altri muscoli

I movimenti dei bulbi oculari sono volontari o sono attivati attraverso alcuni riflessi

Riflesso opto-cinetico:

mantengono stabile l'immagine sulla retina durante i movimenti lenti rotatori prolungati del capo

Inseguimento lento:

mantengono fissa sulla retina l'immagine di un oggetto in movimento

Saccadi :

portano rapidamente la fovea verso bersagli posti perifericamente nel CV

Vergenza :

movimenti dei due occhi in direzione opposta al fine che l'immagine dello stesso bersaglio si proietti su entrambe le fovee

Riflesso vestibolo-oculare:

mantengono immagine sulla retina durante i movimenti rapidi del capo

Il riflesso opto-cinetico viene attivato da una immagine in movimento che provoca un movimento consensuale dei bulbi oculari.

Il riflesso serve a stabilizzare l'immagine a livello della fovea durante i movimenti degli oggetti .

Il riflesso opto-cinetico è sotto il controllo di strutture corticali e sottocorticali; fra queste ultime sono comprese anche i nuclei vestibolari che ricevono informazioni dalla retina.

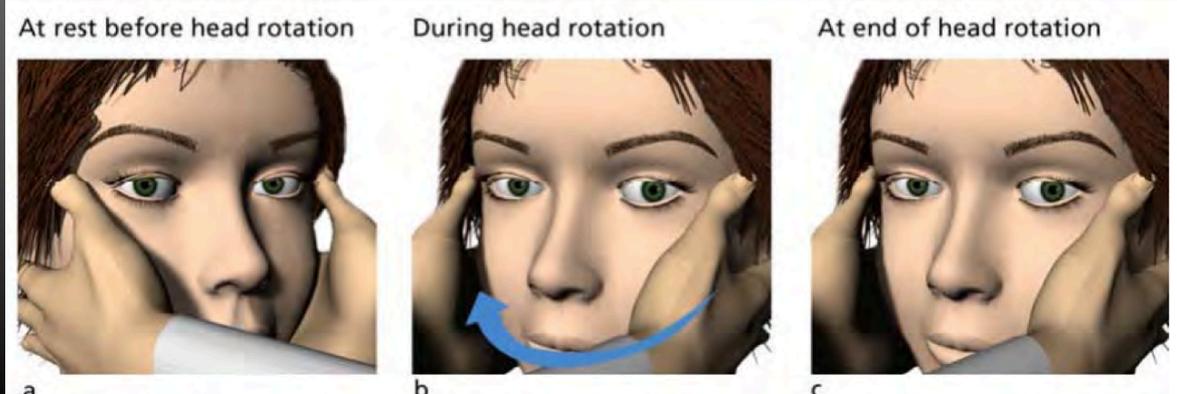
La componente corticale comprende l'area visiva primaria, ed altre aree visive corticali.

Il riflesso vestibolo-oculare (VOR) viene attivato da un movimento del capo che provoca un movimento di senso opposto dei bulbi oculari .

Controllo dei movimenti dei bulbi oculari

Il sistema vestibolare coopera nella stabilizzazione dell'immagine retinica al fine di permettere una visione nitida del mondo quando siamo in movimento .

Tale finalità è raggiunta attraverso il VOR che stabilizza l'immagine durante i movimenti del capo (Riflesso dinamico)

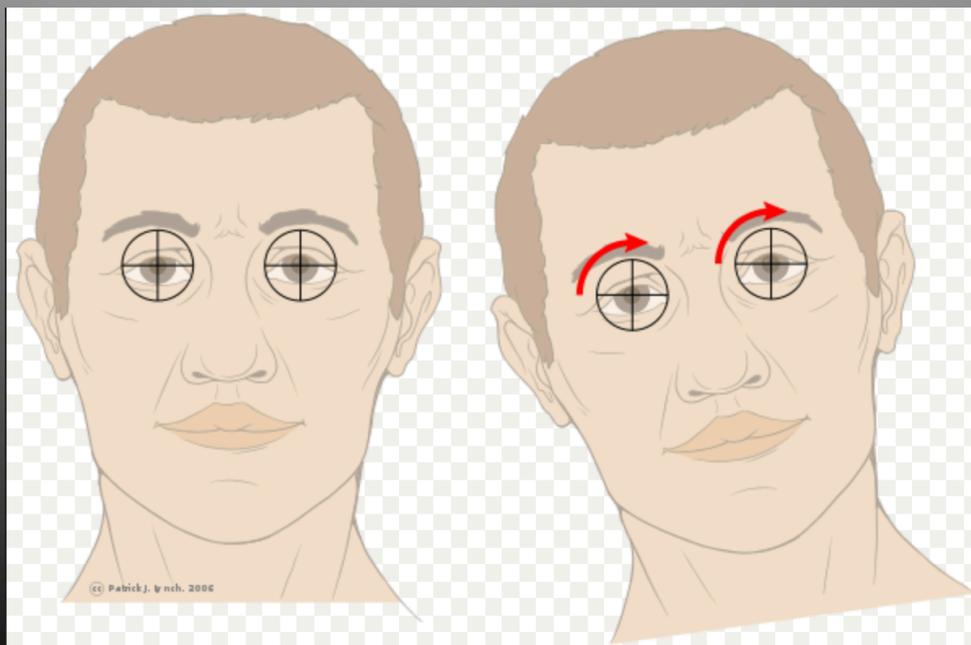


Un movimento rotatorio del capo sul piano dei canali semicircolari orizzontali induce quindi la contrazione del muscolo retto laterale (n.abducente) contralaterale e del retto mediale ispilaterale (n.oculomotore) ed il contemporaneo rilasciamento dei relativi muscoli antagonisti, producendo così un movimento coniugato degli occhi sul piano orizzontale in direzione contraria al movimento della testa.



Controllo dei movimenti dei bulbi oculari

o dopo un cambiamento di posizione (Riflesso statico)



Si può dimostrare l' esistenza dei due riflessi:

Muovendo la testa si stimola il riflesso vestibolo-oculare

Ruotando il campo visivo intorno alla testa si stimola il riflesso opto-cinetico.

I due riflessi collaborano a mantenere entro livelli accettabili lo scivolamento dell' immagine visiva sulla retina.

Il riflesso opto-cinetico funziona come un servo-meccanismo a feedback negativo che minimizza lo scivolamento retinico.

Lo scivolamento retinico è la differenza fra la velocità dell'occhio e la velocità di uno stimolo in movimento (o stazionario).

La **saccade** è un movimento dell'occhio del tipo più frequente

Consiste in rapidi movimenti degli occhi eseguiti per portare la zona di interesse a coincidere con la fovea

Vengono eseguite in media 3-4 saccadi al secondo. In media, durante la veglia, vengono quindi eseguite circa 150.000 in un giorno.

Sono un movimento di tipo coniugato

Sono ESTREMAMENTE VELOCI – La loro velocità può raggiungere i 600-700 °/sec. e ciò è molto utile in quanto durante la loro esecuzione la visione viene sospesa per evitare il disturbo causato dal movimento dell'immagine sulla retina

Sono ESTREMAMENTE RAPIDI – Il movimento dura frazioni di secondo, ed in particolare inizia 0.2 secondi (latenza) dopo l'individuazione del bersaglio e viene portato a termine in circa 0.05 secondi (tempo d'esecuzione)

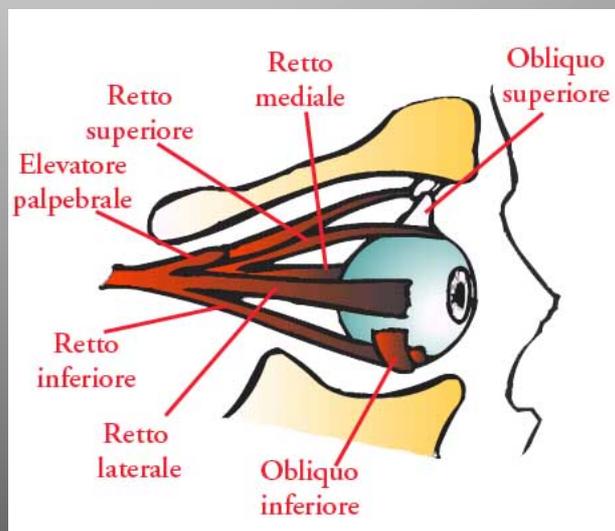
Sono di NATURA BALISTICA - Una volta iniziato un movimento di questo tipo può essere corretto con molta difficoltà nel corso del suo svolgimento. Infatti, una volta che il processo neuronale che provoca un saccadico è iniziato, il sistema di controllo non è in grado di generarne un altro prima di 0.2 sec. indipendentemente dal comportamento del bersaglio

i movimenti di vergenza che permettono di mantenere sulla fovea stimoli visivi che si avvicinano o si allontanano.



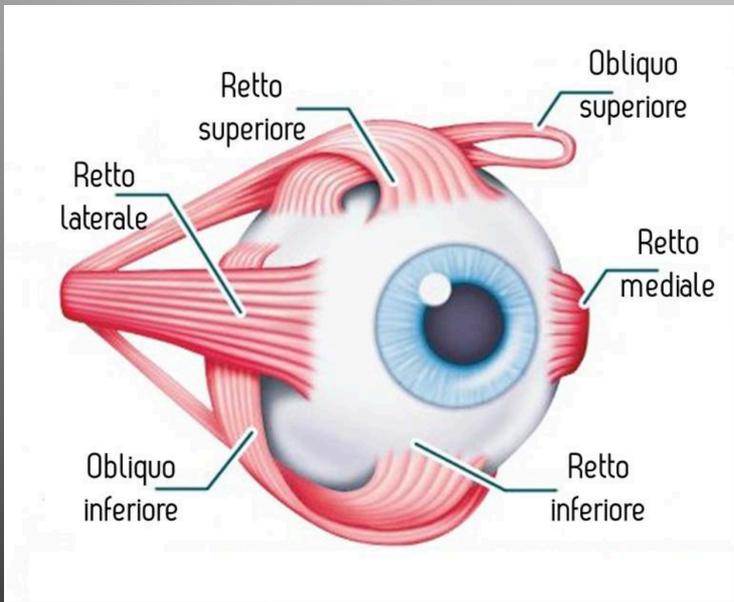
I movimenti dei globi oculari sono possibili grazie alla attività dei muscoli oculomotori

1. Retto inferiore
2. Retto superiore
3. Retto mediale
4. Retto laterale
5. Obliquo inferiore
6. Obliquo superiore



Superior rectus	Superior branch of oculomotor nerve
Inferior rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Lateral rectus	Abducens nerve
Medial rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Superior oblique	Trochlear nerve
Inferior oblique	Inferior branch of oculomotor nerve

I muscoli oculomotori operano in sinergie e sono in grado di contrarsi più rapidamente degli altri muscoli

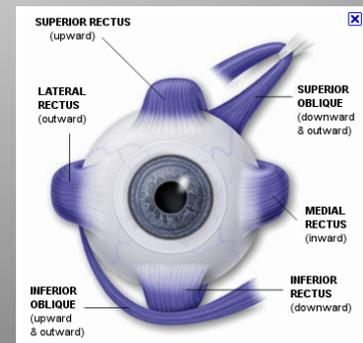


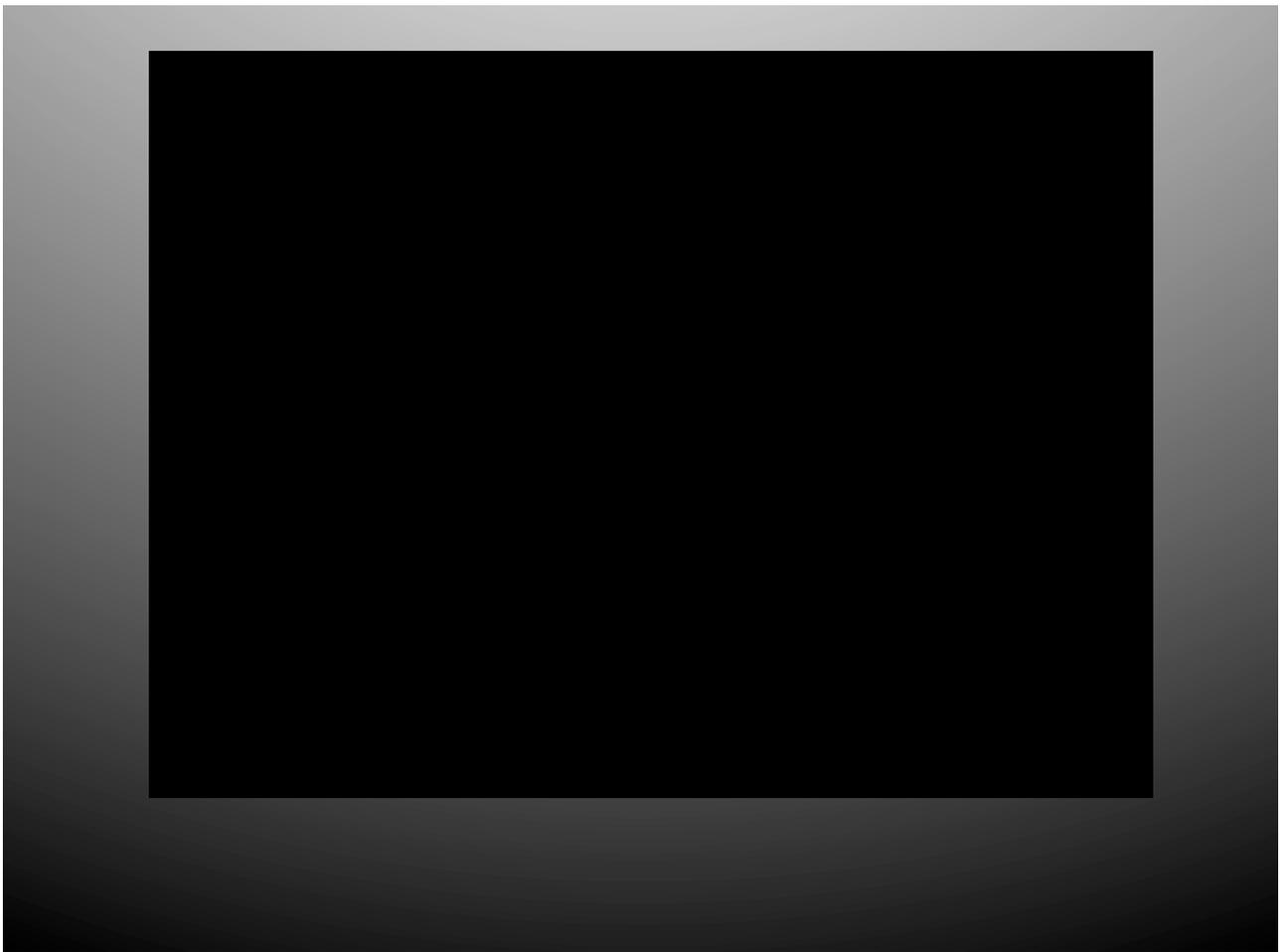
Superior rectus	Superior branch of oculomotor nerve
Inferior rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Lateral rectus	Abducens nerve
Medial rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Superior oblique	Trochlear nerve
Inferior oblique	Inferior branch of oculomotor nerve

The abducens nerve contains only somatic efferent fibers that supply the lateral rectus muscle.

Because of the bilateral projections of the nucleus abducens, nuclear palsy of cranial nerve VI usually implies some difficulty in adducting the contralateral eye.

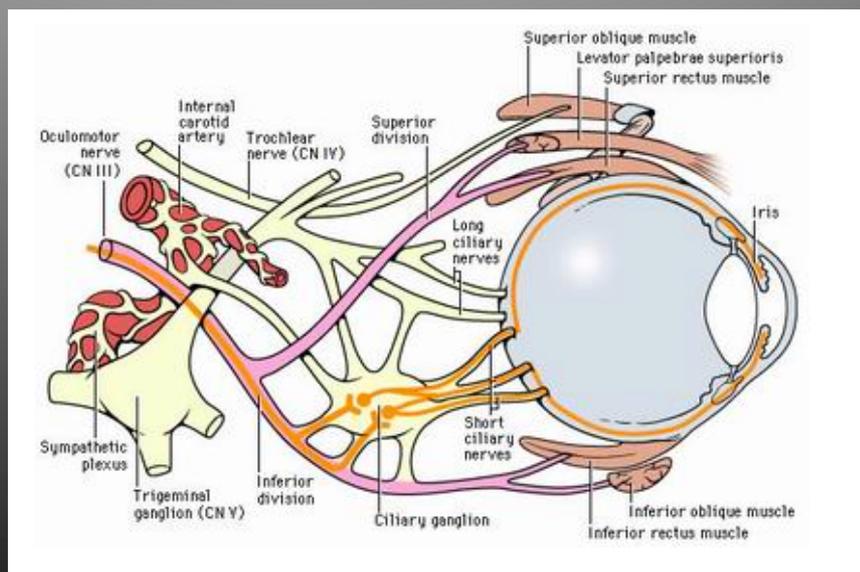
Symptoms include binocular horizontal diplopia when looking to the side of the paretic eye. Because the tonic action of the medial rectus muscle is unopposed, the eye is slightly adducted when the patient looks straight ahead.





The oculomotor nerve is the third of twelve paired cranial nerves. It controls most of the eye's movement and constriction of the pupil, and maintains an open eyelid.

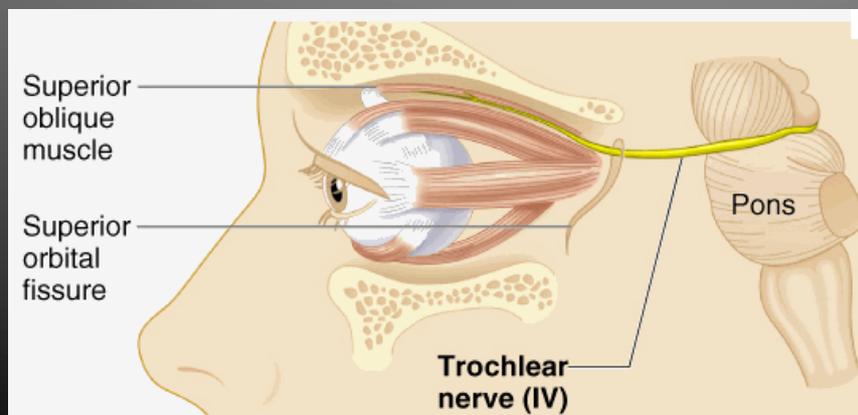
Superior rectus	Superior branch of oculomotor nerve
Inferior rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Lateral rectus	Abducens nerve
Medial rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Superior oblique	Trochlear nerve
Inferior oblique	Inferior branch of oculomotor nerve





The trochlear nerve (the fourth cranial nerve) is a motor nerve (a “somatic efferent” nerve) that innervates a single muscle: the superior oblique muscle of the eye.

Superior rectus	Superior branch of oculomotor nerve
Inferior rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Lateral rectus	Abducens nerve
Medial rectus	Inferior branch of oculomotor nerve
Superior oblique	Trochlear nerve
Inferior oblique	Inferior branch of oculomotor nerve



Trochlear paralysis is the hardest cranial nerve palsy to diagnose .

These patients have an upward deviation of the affected eye and a “cyclotorsion” twisting of the eye that makes them tilt their head away from the lesion.



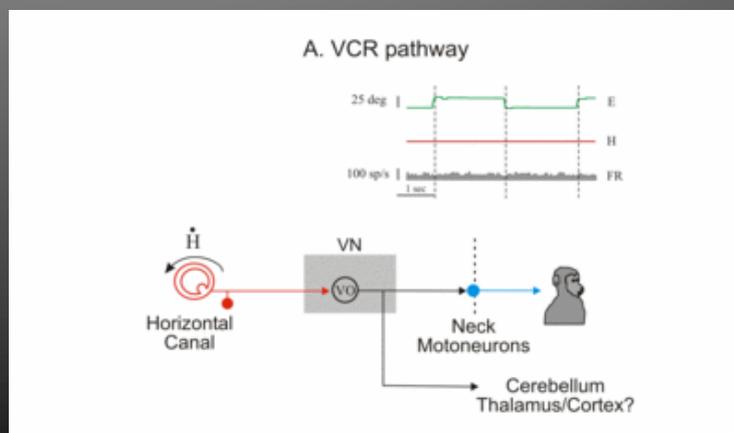
riflesso vestibolo-collico (VCR)

Il riflesso vestibolo-collico modula la muscolatura del collo per stabilizzare la posizione della testa durante il cammino .

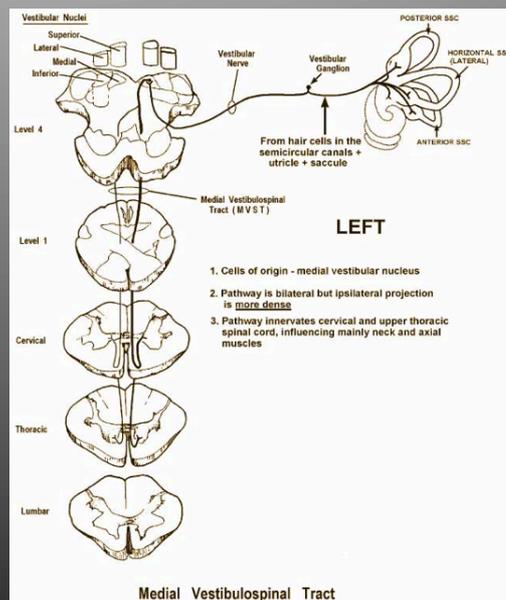
Stabilizza i movimenti del capo generando un comando che muove la testa nella direzione opposta del movimento nello spazio della testa .

Il riflesso vestibolo-collico è attivato dai neuroni dei nuclei vestibolari che ricevono informazioni dai canali semicircolari e si proiettano bilateralmente ai motoneuroni spinali che attivano la muscolatura del collo di un lato e disattivano la muscolatura del controlaterale .

Si tratta di un arco composto da tre neuroni attivato dai movimenti rotatori della testa



Le informazioni dai nuclei vestibolari discendono ai motoneuroni dei muscoli del collo attraverso il fascio vestibolo spinale mediale che si incrocia .



Il riflesso vestibolo-collico si coordina con il riflesso cervico-collico che stabilizza la testa nello spazio attraverso le informazioni rispettivamente del vestibolo e dei recettori muscolari di contrazione.

riflesso vestibolo-spinale (VSR)

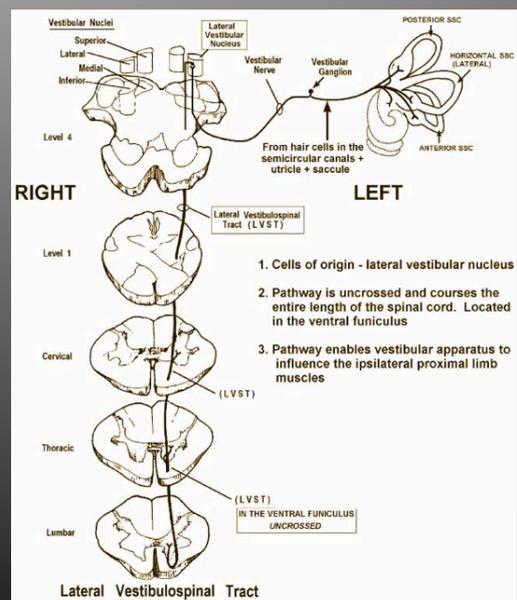
Il riflesso vestibolo spinale mantiene l'allineamento verticale del tronco e quando la testa si piega in una direzione permette al corpo di allungarsi in un lato e accorciarsi nell'altro ovvero compensa attraverso aggiustamenti posturali il movimento della testa

Riflessi vestibolo-spinali (VSR)

Prevedono la tendenza a cadere sotto l'accelerazione di gravità.

Rispettano il principio dell'innervazione reciproca: all'attivazione degli estensori corrisponde il rilasciamento dei flessori. Si tratta di riflessi più complessi rispetto ai precedenti in quanto vi è un numero maggiore di muscoli implicanti ed una maggiore possibilità di movimenti nello spazio.

Il riflesso vestibolo-spinale viene attivato dalle macule e attraverso il fascio vestibolo spinale laterale raggiungono il motoneuroni - La via è ipsilaterale





SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Master di posturografia
10 mag 2015

Sistema vestibolare e equilibrio

Giovanni Ralli

Dipartimento di Organi di Senso , Università di Roma

“La Sapienza”



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Master di posturografia
11 mag 2015

Recettori sensoriali

Giovanni Ralli

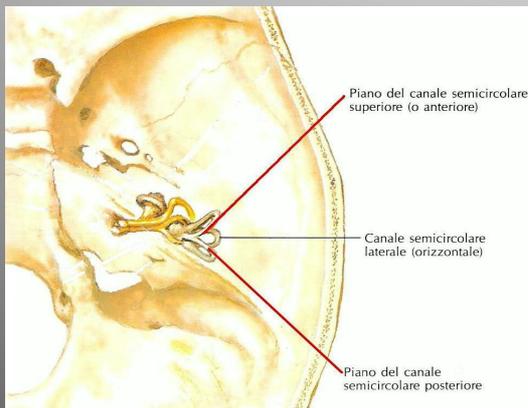
Dipartimento di Organi di Senso , Università di Roma

“La Sapienza”

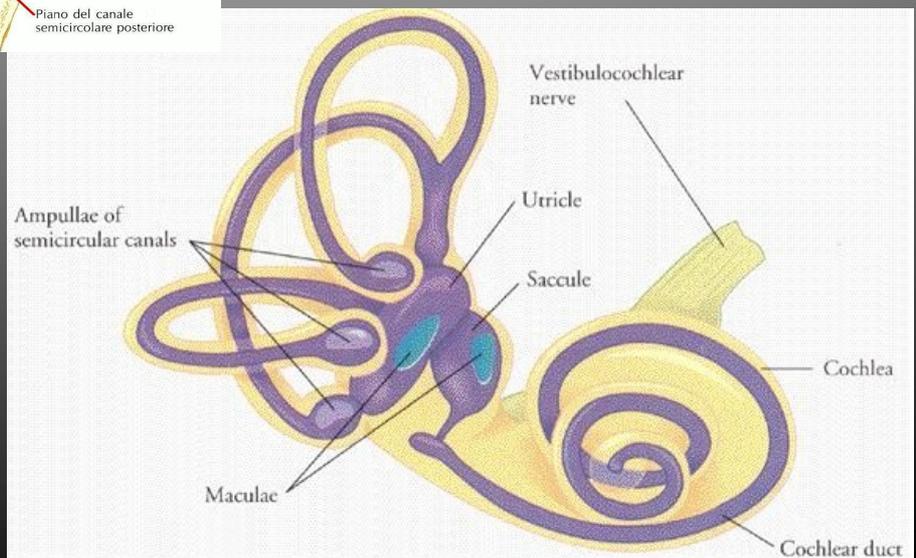
I recettori sono inglobati in una struttura che ne potenzia la sensibilità specifica .

Il labirinto posteriore è formato dal vestibolo e dai canali semicircolari





All'interno del labirinto osseo sono presenti cinque organi cavi (i tre canali semicircolari membranosi, l'utricolo e il sacco) comunicanti tra loro e contenenti endolinfa. In ciascuna di queste strutture è presente un sensore specifico deputato alla sensibilità propriocettiva stato cinetica.



Fluidi labirintici



- Il labirinto e' bagnato da due fluidi diversi:
 - Perilinfina (nello spazio perilinfatico, in giallo): alto Na, basso K
 - Endolinfa (all'interno del labirinto membranoso, in azzurro): alto K, basso Na, bassissimo Ca

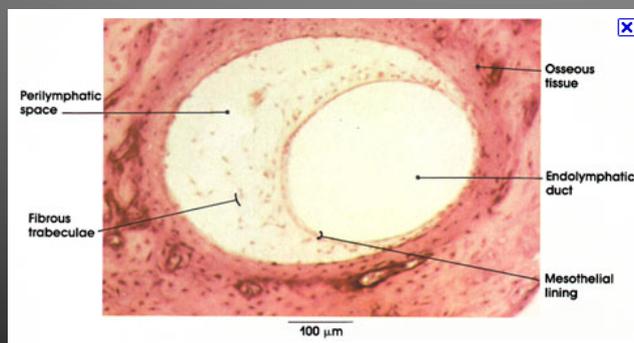
L'endolinfa viene continuamente prodotta dall'azione delle cellule della **stria vascolare** (coclea) e dalle **dark cells** (vestibolo) e riassorbita dal sacco endolinfatico

The endolymphatic spaces of the saccule, utricle and semi-circular canals show much smaller resting potentials of a few mV.

Tra l'endolinfa e la perilinfa c'è una differenza di potenziale di + 80 mv

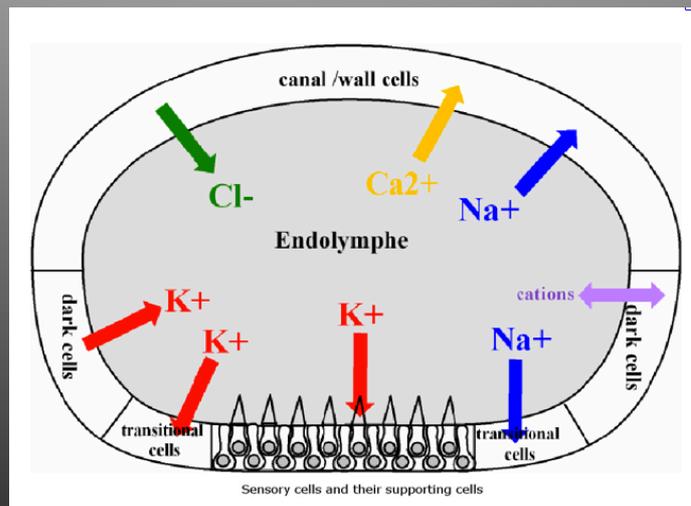
La differenza tra il potenziale della cellula e la perilinfa è di -60 mv .

La differenza tra la cellula e l'endolinfa è di -140mv



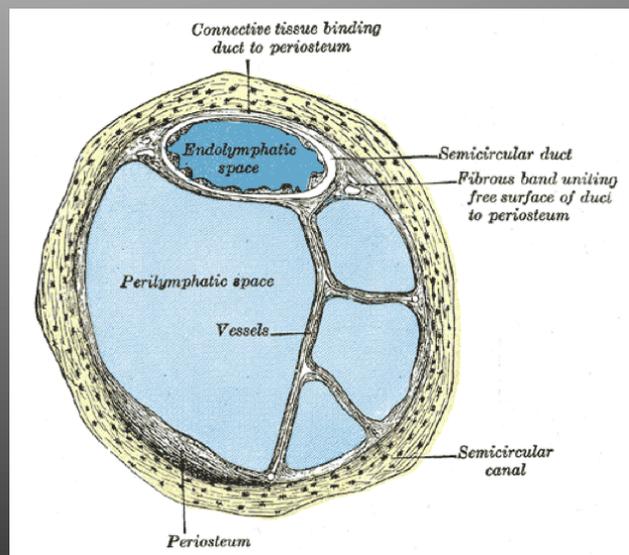
Sezione di un canale semicircolare

The boundary of this compartment is composed of several cell types: sensory cells (or hair cells), supporting cells, transitional cells, dark cells and canal/wall cells. Each cell type is involved in different ion fluxes that result in the ion homeostasis of the endolymph. The high K^+ concentration (± 140 mM) is necessary for the genesis of the vestibular sensory information.

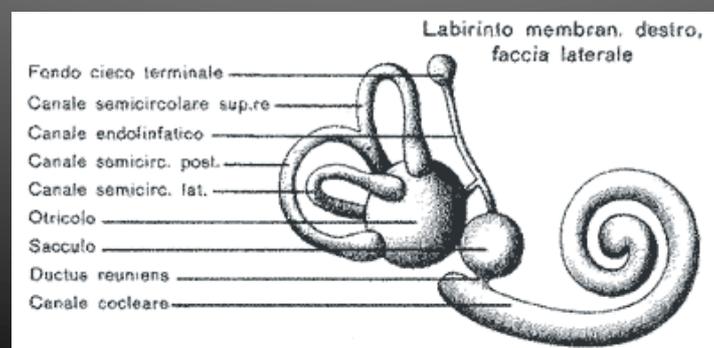


Sezione della ampolla di un canale semicircolare

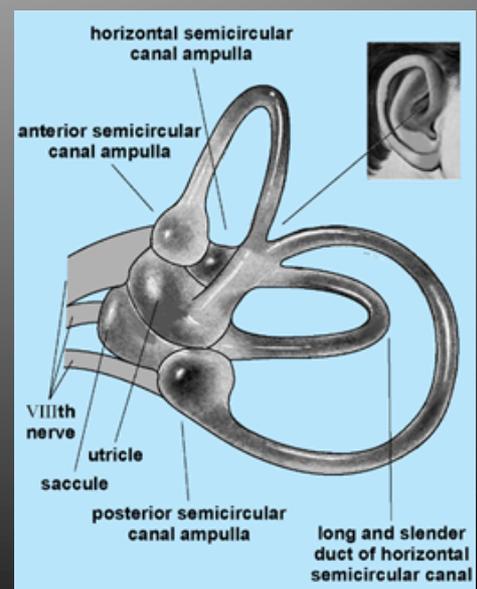
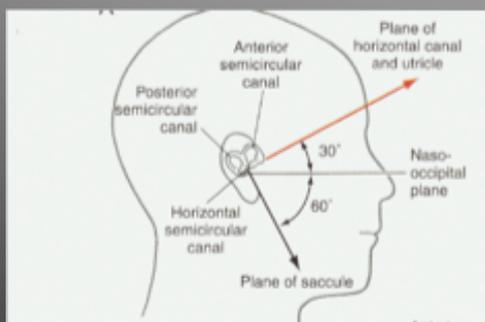
Canali semicircolari



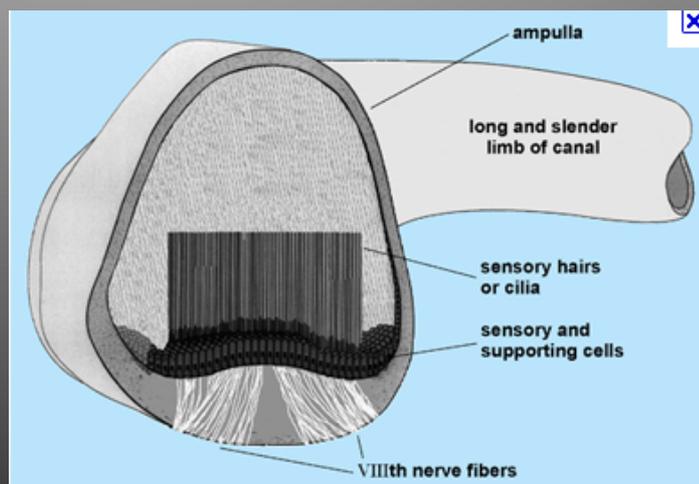
I canali semicircolari hanno la forma di un semicerchio. Il canale semicircolare laterale è orientato sul piano orizzontale mentre gli altri due sono orientati rispettivamente sul piano verticale anteriore (canale semicircolare superiore) e posteriore (canale semicircolare posteriore).



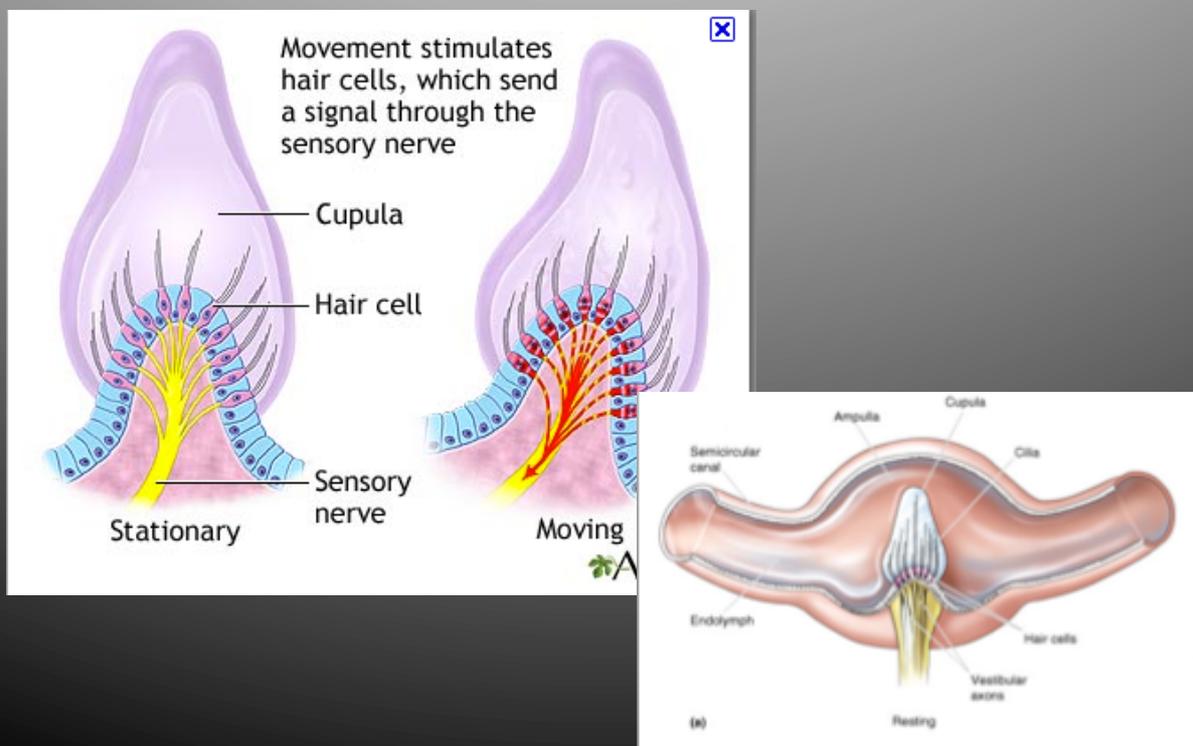
I tre canali sono disposti secondo tre piani perpendicolari tra loro con una inclinazione di circa 30° sul piano orizzontale .



In prossimità di uno dei loro sbocchi nell' utricolo ogni canale presenta una dilatazione , ampolla , nel quale è contenuto l' epitelio sensoriale disposto ortogonalmente all' asse del canale "Cresta ampollare "

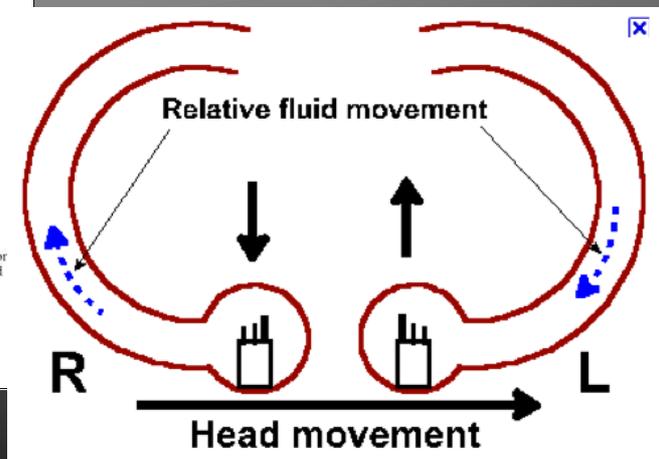
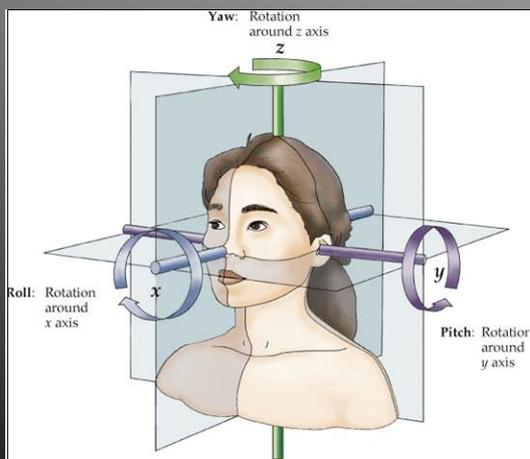


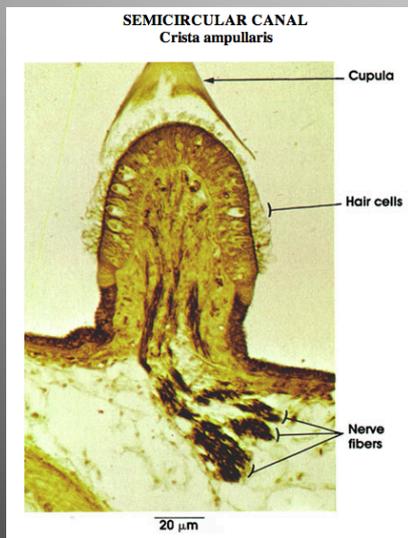
La cupola ha la stessa densità della endolinfa e le ciglia dell'epitelio sensoriale sono inglobate in essa



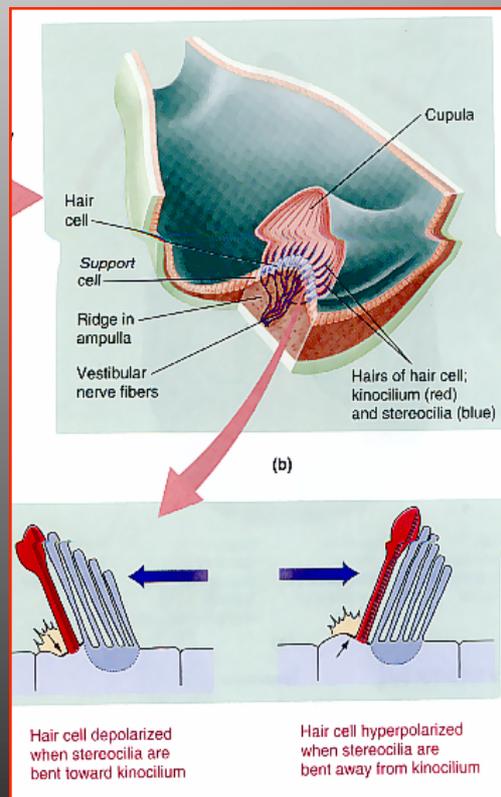
I canali semicircolari rappresentano un sistema in grado di potenziare senza turbolenze le correnti di endolinfa indotte da un movimento angolare del capo sullo stesso piano del canale .

Un movimento sul piano orizzontale provoca correnti nei due canali orizzontali e non nei canali posti sugli altri piani .





Le cellule alla sommità della cupola rispondono alle accelerazioni ad alta frequenza mentre quelle ai margini della cupola alle accelerazioni a bassa frequenza



La cresta è sensibile alle accelerazioni angolari .

Quando il capo ruota sullo stesso piano di un canale , l' endolinfa a causa della sua inerzia , segue con ritardo il movimento del dotto membranoso in cui è contenuta .

Si genera una corrente endolinfatica diretta lungo l' asse del canale di movimento opposto a quello del capo . Questa induce una distorsione della cupola e quindi una stimolazione delle cellule sensoriali .

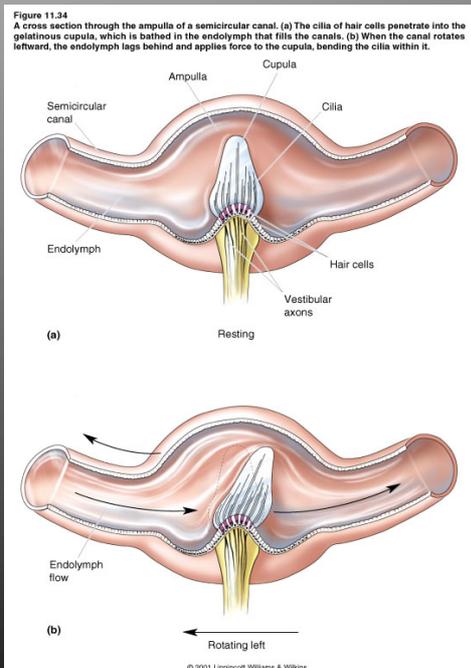
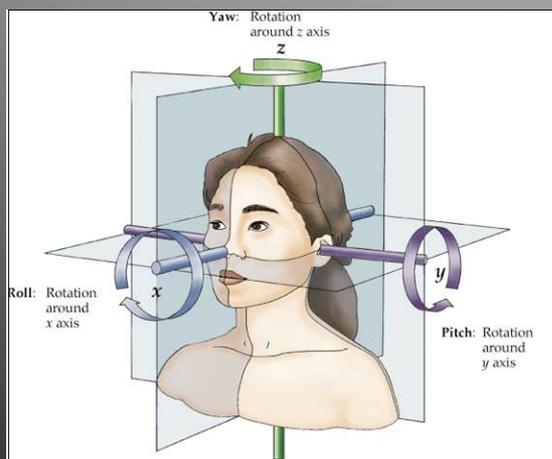
Al termine del movimento , l' endolinfa continua per un breve tempo il suo movimento e quindi stimolerà nuovamente in senso opposto le cellule cigliate .

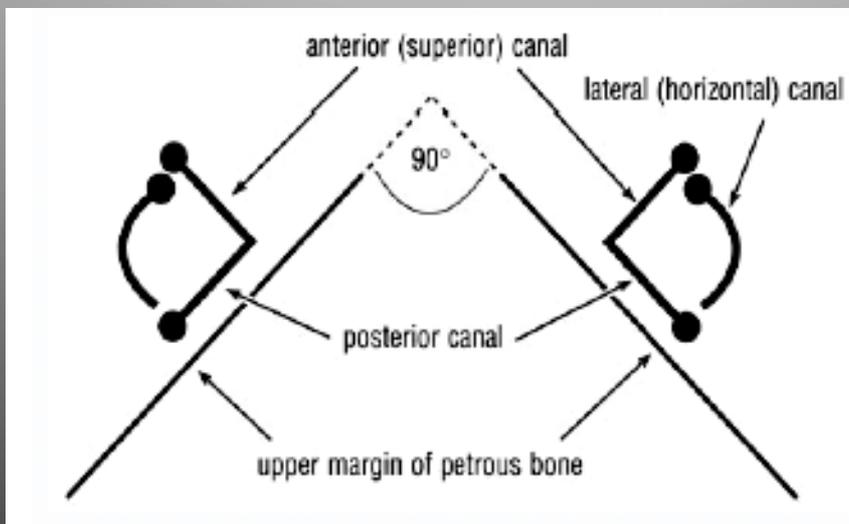
I ciuffi delle ciglia hanno lo stesso orientamento parallelo all'asse del canale .

Il recettore è sensibile ad accelerazioni angolari pari a $0,1^\circ/\text{sec}$.

La deflessione della cupola è maggiore nella sua parte centrale e pertanto i recettori centrali sono sensibili a stimoli di bassa intensità mentre i periferici vengono reclutati solo per stimolazioni più intense .

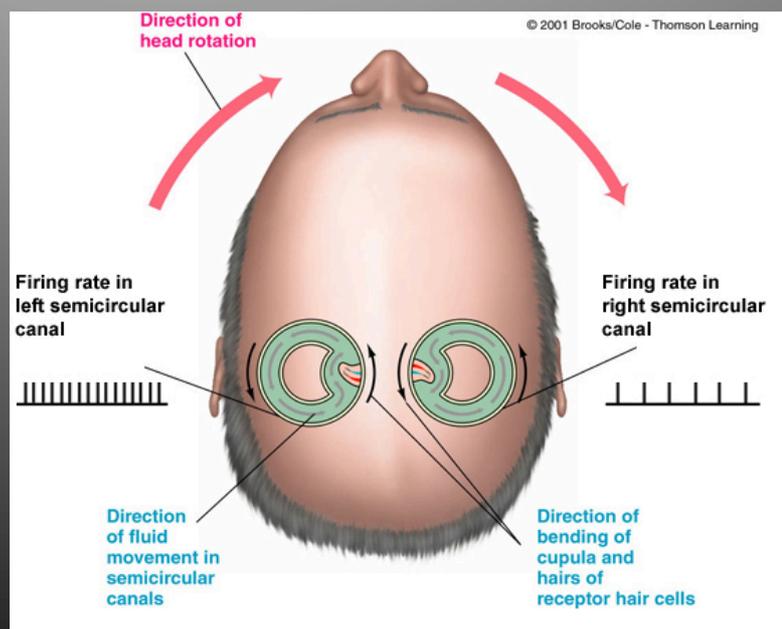
Le correnti endolinfatice sono in grado di provocare movimenti della cupola contenuta nella cresta ad una estremità del canale .





I canali semicircolari operano in coppia in maniera opposta

Ogni movimento della testa è in grado di sollecitare entrambi i canali posti sullo stesso piano



Utricolo e Sacculo

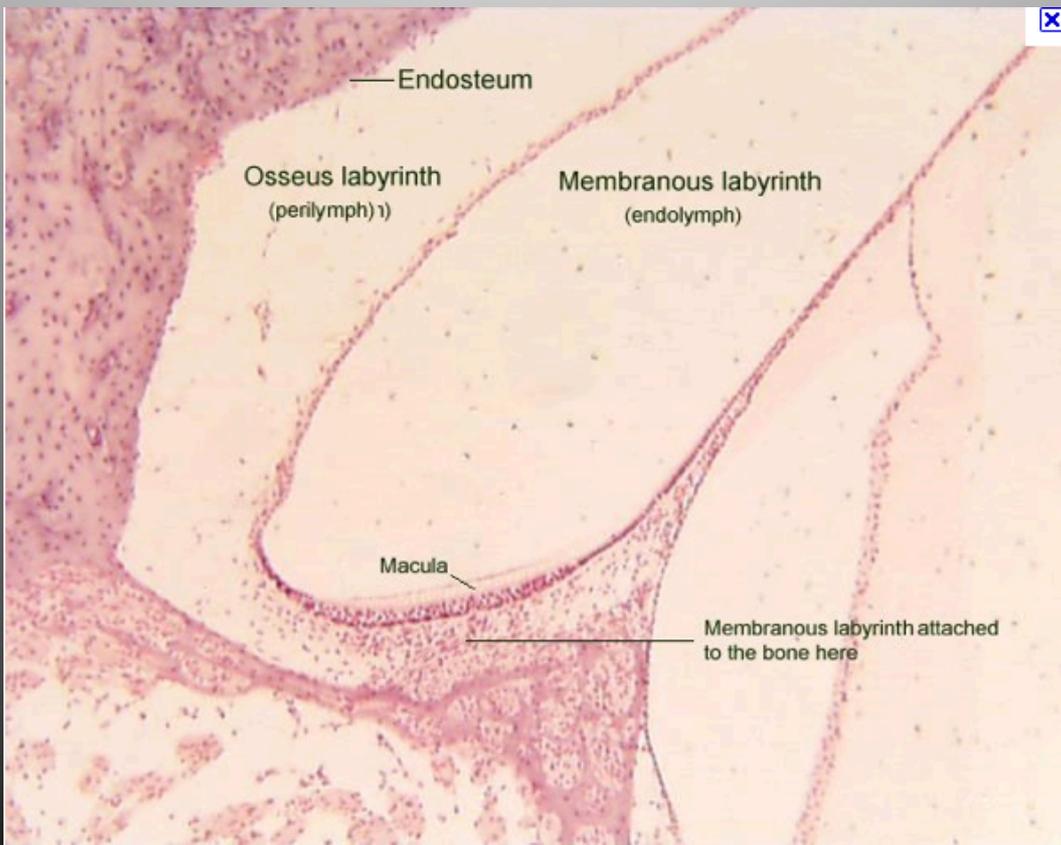
L' utricolo forma ovoidale è lungo 3-4 mm, situato nella parte superiore del vestibolo; riceve lo sbocco dei canali semicircolari e medialmente presenta l' orifizio di imbocco del ramo utricolare del dotto endolinfatico.

Nella parte mediale dell' utricolo si trova una zona discoidale in cui l' epitelio di rivestimento si differenzia in cellule recettrici e in cellule di sostegno. La zona prende il nome di macula dell' utricolo e in essa sono accolti i recettori neurosensoriali. La macula dell' utricolo è posta sul piano orizzontale.

Il sacculo è più piccolo dell' utricolo ed è situato al di sotto di questo; presenta medialmente l' orifizio d'imbocco del dotto endolinfatico e inferiormente l' orifizio del canale reuniente che lo collega al condotto cocleare. Il ramo utricolare e quello sacculare del dotto endolinfatico si uniscono nel canale endolinfatico che termina nel sacco endolinfatico .

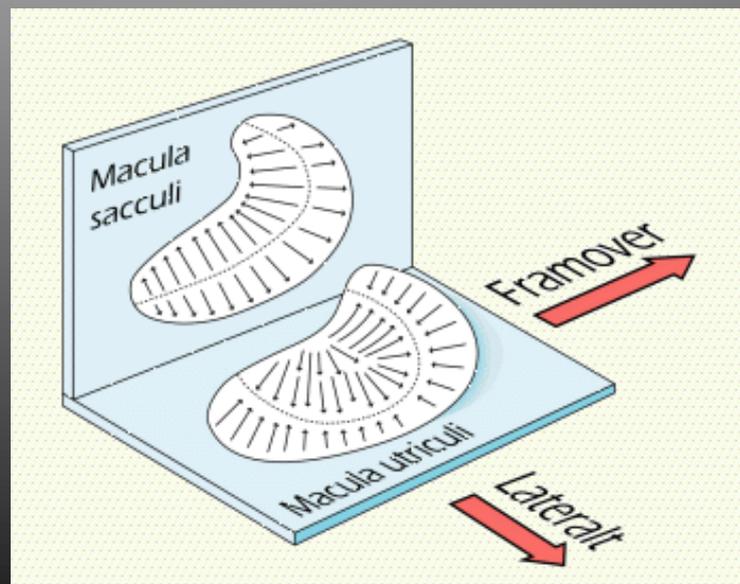
Anche nel sacculo si trova una struttura chiamata macula del sacculo composta da cellule neurosensoriali.

La macula del sacculo è posta sul piano verticale.



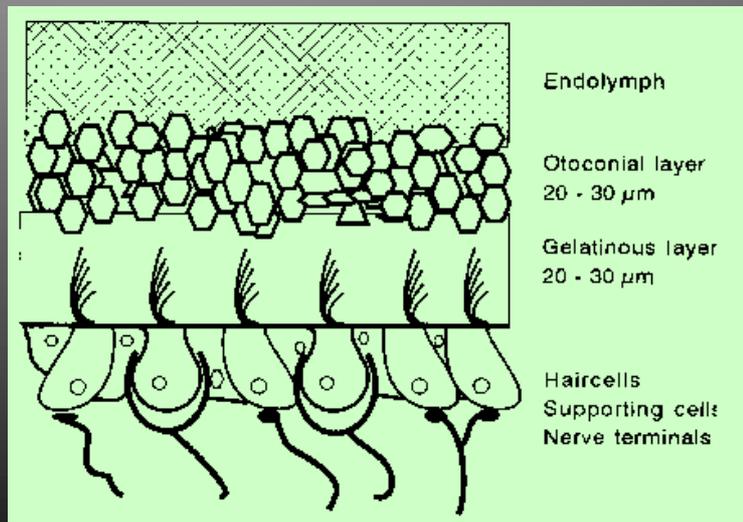
Vestibular part of the ear showing the osseus and membranous labyrinths

Le macule non sono sensibili alle correnti endolinfatiche

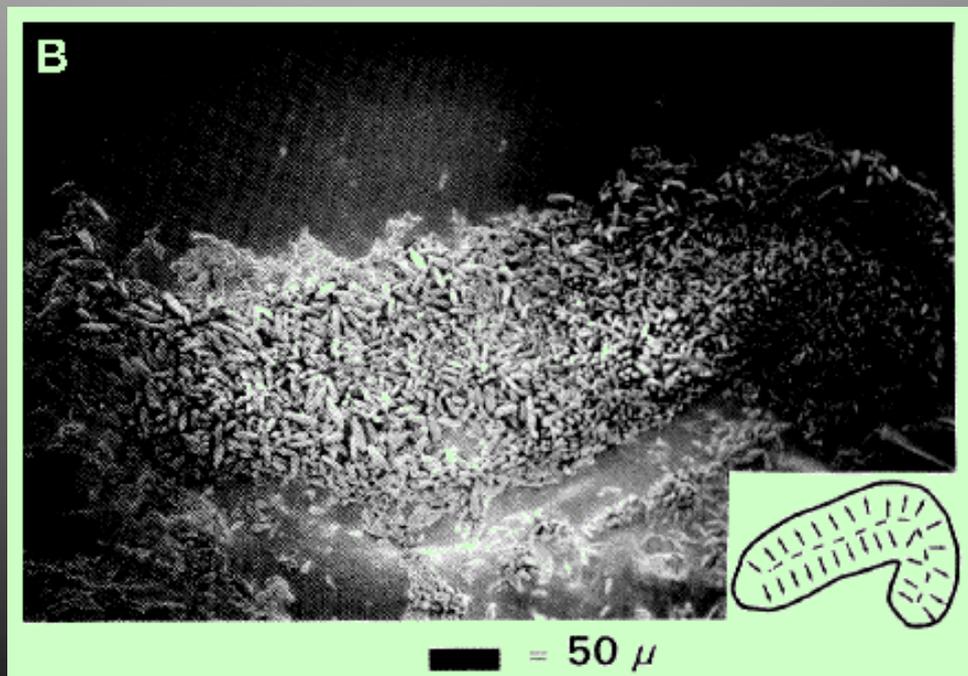


The maculae in mammals are covered with otoconia or statoconia, which are calcite crystals, a calcium carbonate structure with a specific weight of 2.95 grams per cubic centimeter (Parker, 1980). The shape of the otoconia is mostly hexagonal, but variations in shape exist. The size of the otoconia can vary from 3 to 30 μm and regional differences exist in both the utricle and the saccule (Lim et al. 1973).

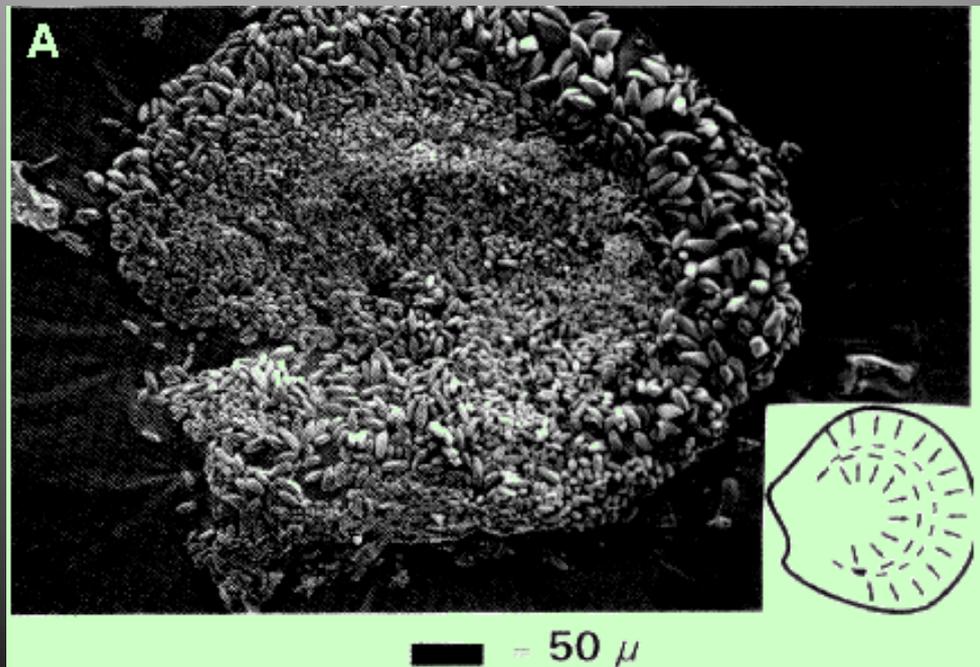
The underlying structure is called the otolith or gelatinous membrane.



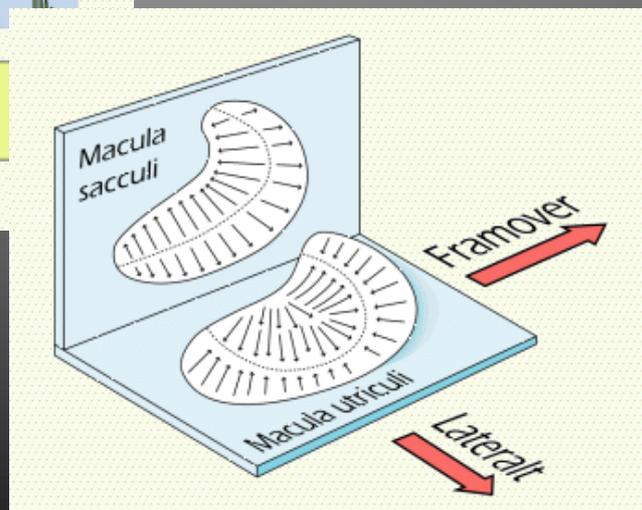
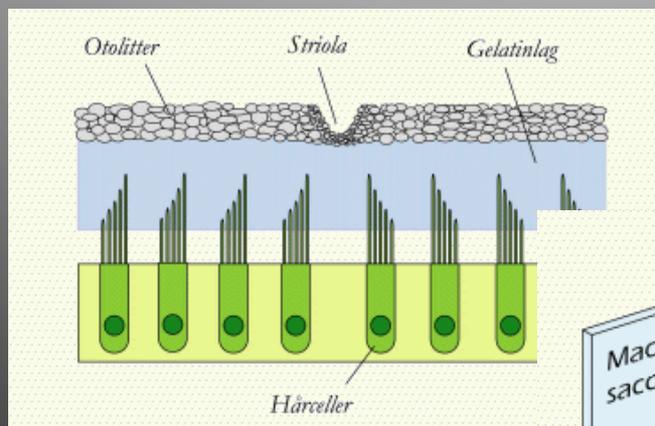
Macula del sacco



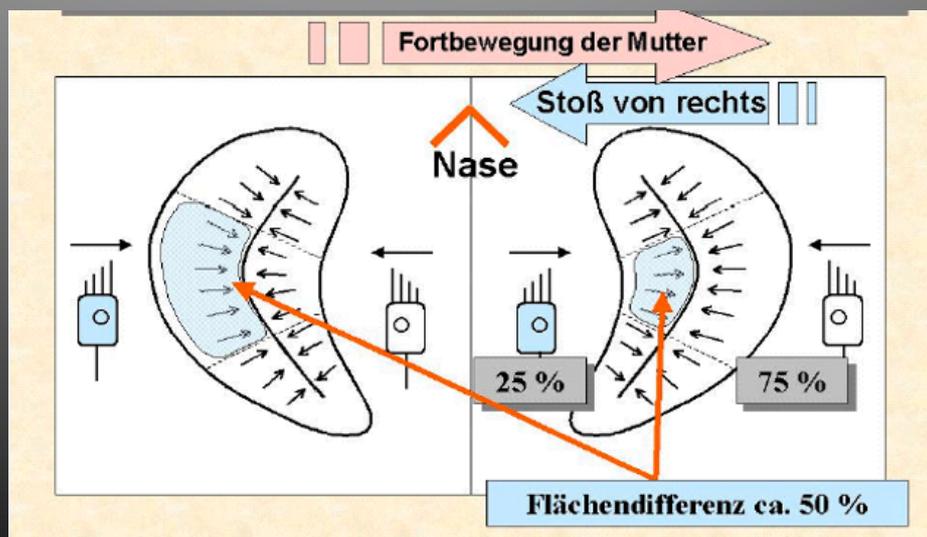
Macula dell' utricolo

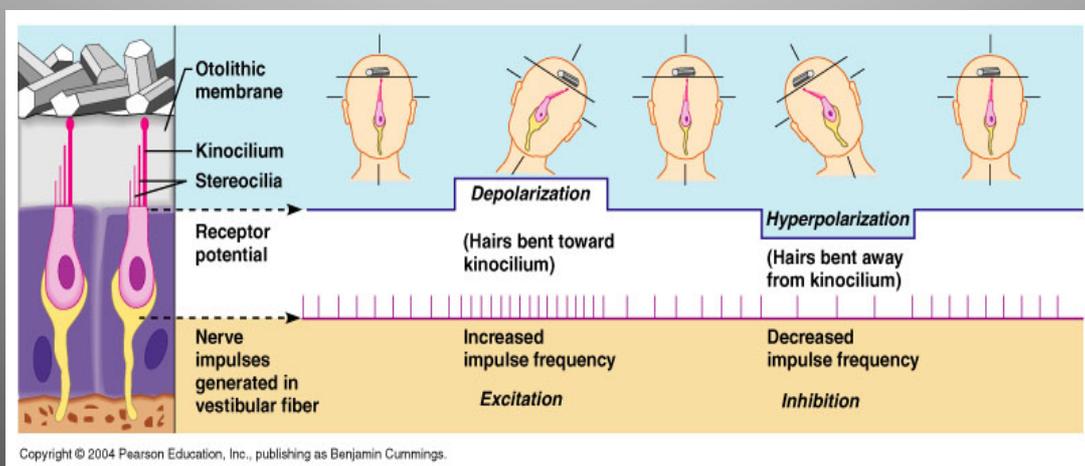


Disposizione dell'epitelio sensoriale



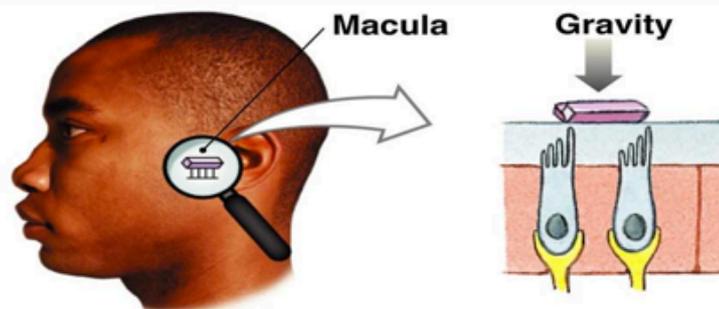
La disposizione speculare dei ciuffi permette la stimolazione (depolarizzazione) di un gruppo di cellule e la contemporanea iperpolarizzazione dell'opposto. Le macule dei due lati sono speculari e quindi si comportano sempre in modo opposto.



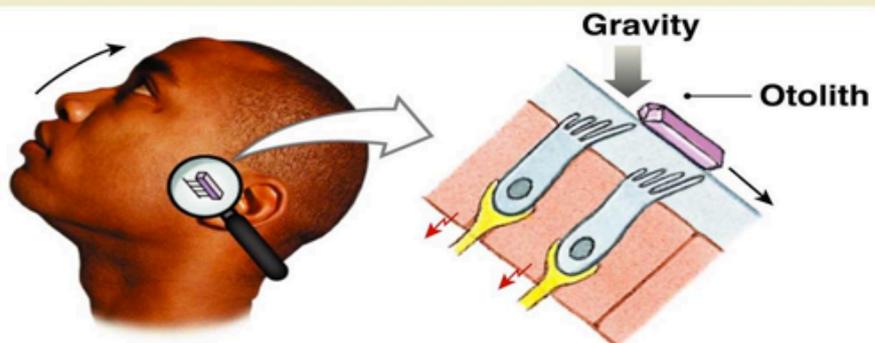


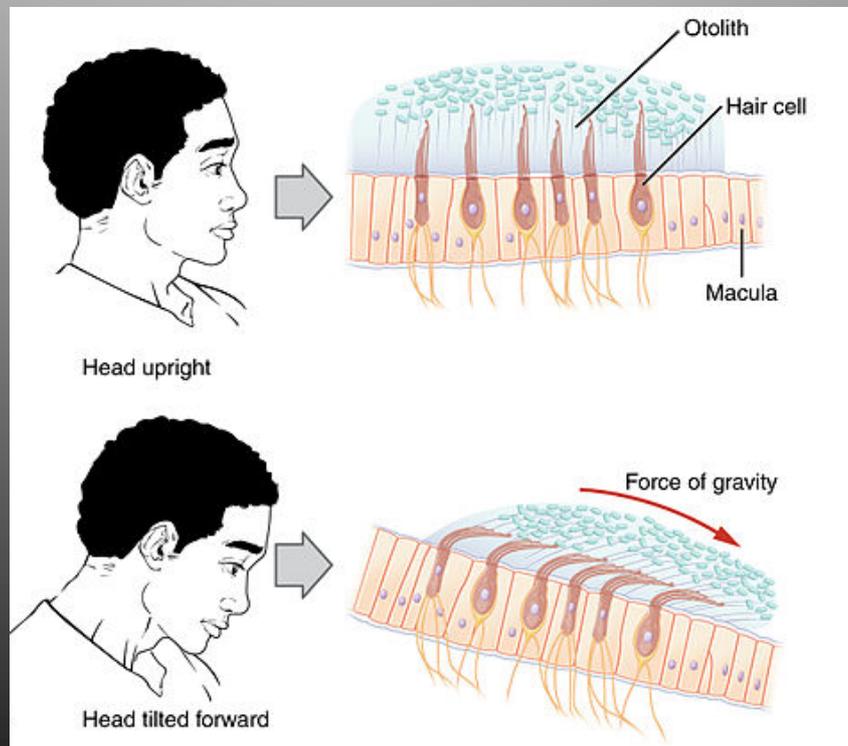
Gli organi otolitici segnalano sia la posizione statica della testa nello spazio , sia le caratteristiche dinamiche dei suoi movimenti traslatori.

(a) Head in neutral position

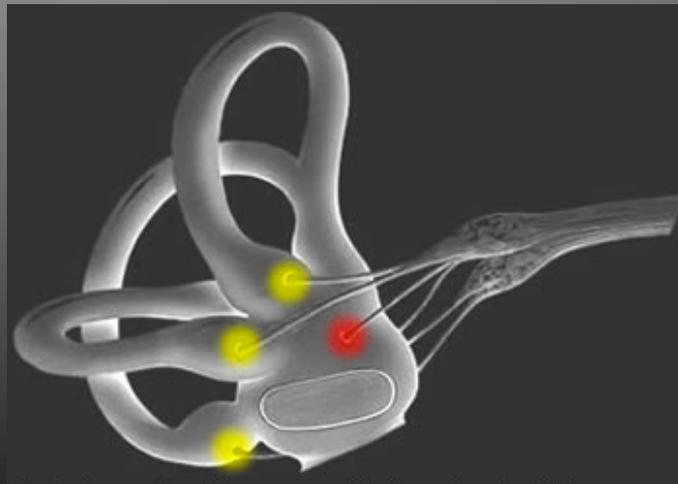


(b) Head tilted posteriorly





Le afferenze labirintiche tramite il nervo vestibolare penetrano nel tronco encefalico a livello della fossetta laterale del bulbo e si distribuiscono al complesso dei nuclei vestibolari.



Organo	cellule ciliate	assoni del nervo vestibolare
Utricolo	30.000	} 20.000
Sacculo	16.000	
Canale orizzontale	7.000	
Canale anteriore	7.000	
Canale posteriore	7.000	

Il nervo vestibolare contiene circa 20.000 fibre afferenti

Il ganglio di Scarpa comprende il corpo dei neuroni bipolari .

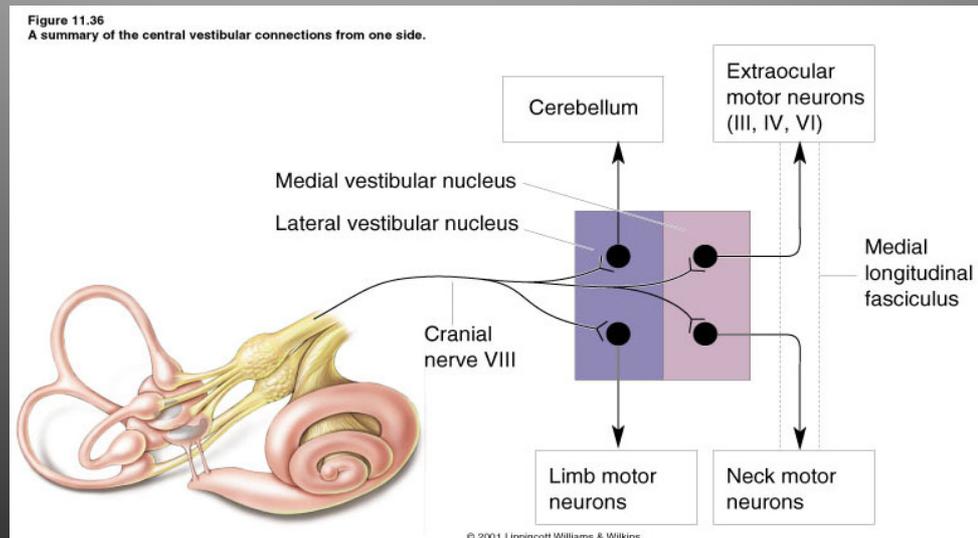
Consiste di un gruppo di cellule superiore e inferiore associati al nervo vestibolare superiore e inferiore .

Il nervo vestibolare superiore si connette con le creste dei canali semicircolari superiore e laterale , la macule dall' utricolo .

Il nervo vestibolare inferiore si connette alla cresta del canale semicircolare posteriore e la macula del sacco .

Il nervo vestibolare contiene anche fibre efferenti

Il nervo vestibolare si connette ai quattro nuclei vestibolari (superiore, mediale, laterale, discendente).



I nuclei vestibolari sono interconnessi tramite fibre commisurali, che per la maggior parte sono mutuamente inibitorie. Le connessioni commisurali permettono lo scambio di informazioni tra i nuclei vestibolari dei due lati con quelle visive.

I nuclei vestibolari integrano le afferenze vestibolari ipsilaterali e controlaterali con quelle propriocettive, corticali, cerebellari, al fine di controllare le uscite motorie complesse sia involontarie riflesse che volontarie.



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Master di posturografia
11 mag 2015

Recettori sensoriali

Giovanni Ralli

Dipartimento di Organi di Senso , Università di Roma

“La Sapienza”



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Master di posturografia
24 giu 2013

Il compenso labirintico

Giovanni Ralli

Dipartimento di Organi di Senso , Università di Roma

“La Sapienza”

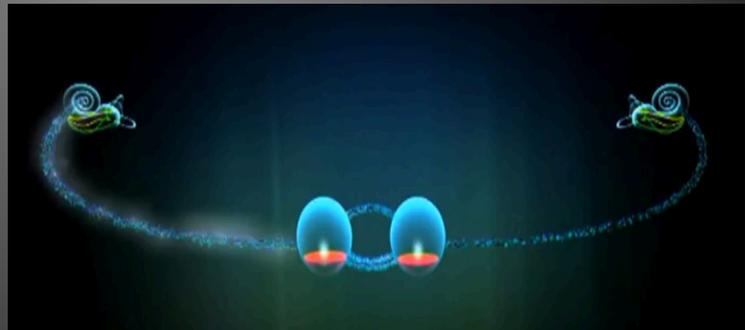
Nel caso di una perdita improvvisa di funzione di un labirinto compaiono

Sintomi statici:

sbilanciamento tra i due lati del sistema vestibolare

Sintomi dinamici:

Alterazione dei riflessi vestibolari per l'esclusione funzionale di un labirinto



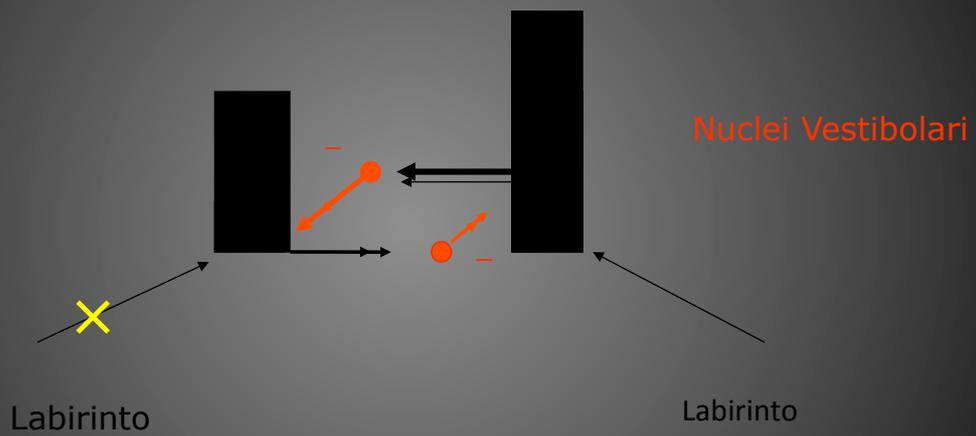
Sintomi statici oculari e spinali

- Nistagmo oculare spontaneo a prevalente direzione orizzontale con fase rapida diretta verso il lato sano
- Torsione oculare, skew deviation
- Inclinazione della testa in roll e sua deviazione in yaw verso il lato della lesione
- Torsioni orizzontali e frontali del corpo
- Estensione degli arti anteriori controlaterali
- Sono presenti anche movimenti di rotazione e di rotolamento
- Vertigine

Sbilanciamento nell'attività dei nuclei vestibolari

- 1) La riduzione dell'attività di scarica spontanea dei neuroni di tipo I dal lato della lesione per l'abolizione dell'input labirintico
- 2) La riduzione della scarica dei neuroni tipo I diminuisce l'inibizione sui neuroni di tipo II del lato opposto e determina incremento della scarica dei neuroni tipo I controlaterali
- 3) I neuroni di tipo I del lato sano, più attivi, inibiscono con maggiore efficacia i neuroni vestibolari del lato leso

Ruolo del sistema inibitore crociato



Sbilanciamento vestibolare

Compenso vestibolare

- Recupero del bilanciamento tra i nuclei vestibolari
- Recupero dei riflessi

Meccanismi per il compenso

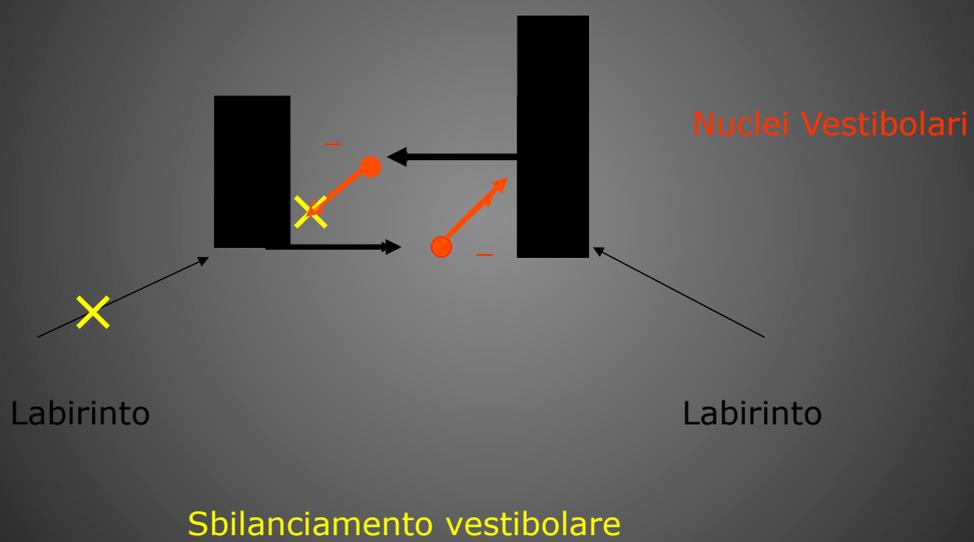
- Sono essenziali i segnali di errore e la plasticità del sistema nervoso centrale
- Modificazione dell'attività intravestibolari
- Processi sostitutivi da parte di altri inputs
- Cambi di strategia.

Compenso intravestibolare

-La connessione tra i due lati, che si attua con il "cross inhibitory system", ha un rilevante ruolo nel compenso perché consente ai due nuclei di mettersi in qualche modo a confronto e di reagire allo sbilanciamento

-Le variazioni di eccitabilità, di plasticità sinaptica Gabaergica e di plasticità al glutammato sarebbero i fattori più importanti nei momenti iniziali del compenso. In tempi successivi è possibile che LTP o LTD avviino cambiamenti nel sistema genetico di produzione di proteine in grado di fornire stabilità al processo plastico

Ruolo del sistema inibitore crociato: Down regulation dei recettori del Gaba



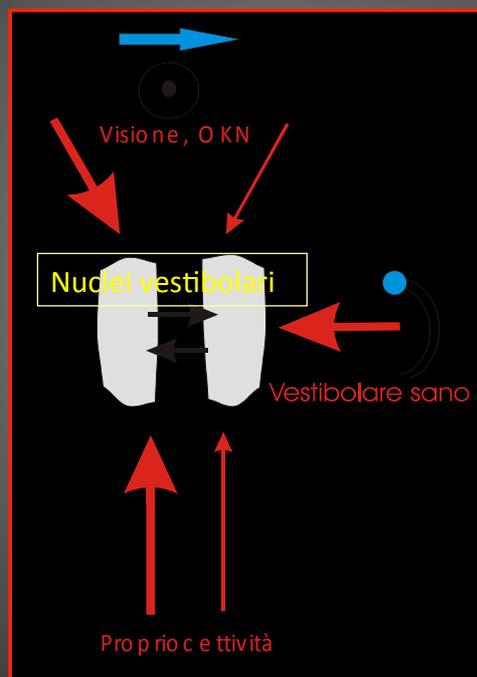
Compenso intravestibolare

- Down regulation dei recettori al Gaba A e B del lato leso.
- La trasmissione glutamatergica cambia in corso di compenso e può indurre LTP and LTD.
- Variazione di conduttanza nei canali voltaggio dipendenti.

Processi sostitutivi

- E' necessario l'intervento di strutture connesse con i nuclei vestibolari che mediano non solo segnali vestibolari ma anche informazioni propriocettive e visive.
- Agiscono come segnali utili al bilanciamento vestibolare e al processo di sostituzione dell'informazione labirintica dinamica
- Strutture importanti sono : oliva inferiore, vestibolo-cerebello, midollo spinale.

Segnali afferenti sostitutivi



- Segnali propriocettivi: ruolo sostitutivo dei sintomi statici e dei sintomi dinamici.
- Il riflesso cervico-collico e il riflesso cervico-oculare

Cambi di strategia

- La terza modalità si realizza tramite l'intervento di strutture più lontane e complesse coinvolte in aspetti cognitivi. Il sistema nervoso è infatti in grado di costruire attraverso vari segnali esterni ed interni nuove strategie di postura e movimento che consentono di ovviare ad alcuni deficit labirintici.
- Esempio a livello dei movimenti oculari.
A parziale sostituzione del movimento lento compensatorio si verificano movimenti oculari saccadici di tipo compensatorio in grado di riposizionare gli occhi sul target visivo. Il cambio di strategia non annulla il deficit funzionale, ma certamente ne riduce gli effetti negativi.

