



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

*Master di posturografia*  
*17 mar 2016*

# Adattamento alla forza gravitazionale

Giovanni Ralli

Dipartimento di Organi di Senso, Università di Roma

“La Sapienza”

L'equilibrio, in biologia, è l'abilità che permette a un organismo animale di **conoscere e organizzare il movimento** del proprio corpo rispetto alla forza di gravità e altre forze esterne

La funzione dell'equilibrio cioè il controllo della posizione e del movimento del corpo nello spazio, si basa su una complessa rete di organi e vie nervose

Un corpo si dice in equilibrio quando **la linea verticale** che passa per il centro di gravità (baricentro) cade all'interno della sua base d'appoggio.

Il corpo umano, per mantenere una posizione di equilibrio, deve stare in una posizione tale che la verticale passante per il baricentro, **posto poco al di sopra della pelvi**, cada all'interno della base d'appoggio, che nella stazione eretta è costituita da una ristretta superficie corrispondente ai piedi

Se il baricentro esce dalla base d'appoggio, il corpo tende a **cadere** ma, entro ampi limiti, l'equilibrio viene ristabilito da una ridistribuzione delle masse parziali attuata mediante contrazione dei muscoli per permettere al baricentro di riportarsi all'interno della nuova base d'appoggio

La redistribuzione della contrazione muscolare è primariamente rivolta a trovare la postura desiderata che, a sua volta, è compatibile con la situazione di nuovo equilibrio.

Ciò si ottiene attraverso **meccanismi riflessi** che spesso sono sotto l'azione di un controllo cosciente.

I riflessi che mantengono una postura corretta vengono chiamati **riflessi posturali**.

La postura, tuttavia, dipende anche da processi di controllo nervoso centrale che tendono a mantenere le relazioni spaziali desiderate tra i vari segmenti corporei.

Le **vie afferenti** nascono dai **recettori** che si trovano nell'apparato vestibolare, nella retina e nel sistema somestesico cioè relativo alla sensibilità somatica.

Tali recettori informano sia sulla posizione del corpo rispetto allo spazio circostante e alla direzione della forza di gravità sia sulla posizione relativa dei vari segmenti corporei tra di loro.

I **centri d'integrazione** si trovano nel midollo spinale e nel tronco dell'encefalo.

Le **vie efferenti** sono costituite dai **motoneuroni alfa** che innervano la muscolatura scheletrica.

Nell'equilibrio si riconoscono due modalità : una statica e una dinamica.

**L'equilibrio statico** è definito come la condizione di stabilità e di mantenimento di una posizione da parte di un soggetto

**l'equilibrio dinamico** è definito come l'abilità ad assumere la postura più adatta nell'esecuzione di un movimento.

In generale, il baricentro del soggetto non si trova in uno stato di rigida fissità ma si sposta nei limiti di stabilità consentiti dalla base di appoggio .

L'adattamento dell'uomo sul pianeta Terra ha richiesto il perfezionamento di alcune sensibilità specifiche che sono assorte dall'orecchio tra cui la sensibilità al campo gravitazionale.

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

La sensibilità alla forza gravitazionale è assoluta dai recettori labirintici che sono parte dell'orecchio interno .

Le **macule del labirinto** sono in grado di attivare una serie di riflessi che coinvolgono i muscoli scheletrici e contribuiscono alla stabilità del corpo .

Poiché il labirinto è localizzato nella testa , il vettore percepito dal labirinto sarà una funzione sia della posizione della testa sia di ogni accelerazione lineare che compie il capo .

*Si può perdere una corsa se il labirinto non coordina le forze muscolari in azione in modo corretto .*



Il momento più rappresentativo della stagione 2009:  
il sorpasso di Valentino Rossi a Jorge Lorenzo al GP  
di Barcellona

Nell'ultimo giro, Jorge Lorenzo è in testa tallonato da Valentino Rossi



A pochi metri dal traguardo Jorge Lorenzo muove il capo indietro per guardare quanto è distante Valentino



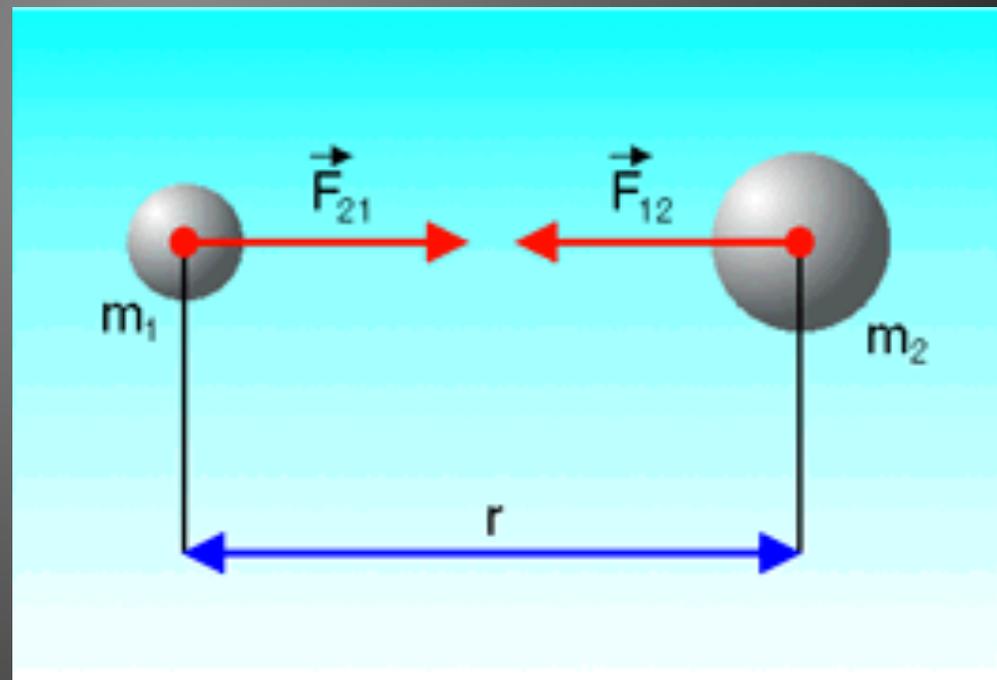
Tanto basta per perdere l'assetto perfetto e permettere a Valentino Rossi di vincere la gara



***GRAZIE LABIRINTO !!!***

## La gravitazione in fisica classica

La **legge di gravitazione universale**, enunciata da Isaac Newton , afferma che due punti materiali si attraggono con una forza di intensità direttamente proporzionale al prodotto delle masse dei singoli corpi e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza



## Isaac Newton

Astronomo, fisico e matematico Isaac Newton, nacque a Woolsthorpe, nel Lincolnshire in Inghilterra, il 4 gennaio 1643.



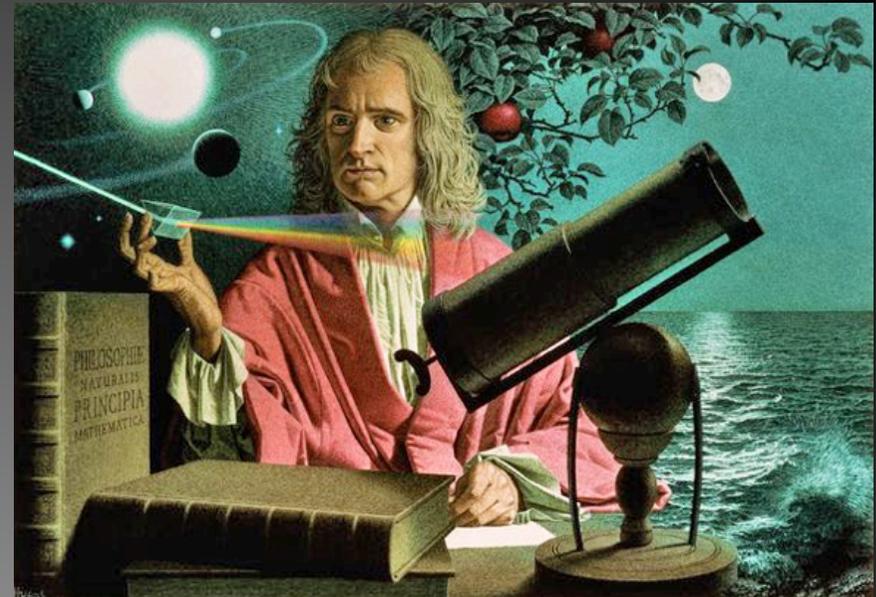
Woolsthorpe Manor, il luogo di nascita di Newton 

Nel 1666 fu in grado di scomporre la luce solare nei vari colori dello spettro facendola attraversare in un prisma .



Disco di Newton

Newton, con le sue scoperte nel campo della fisica, definì con chiarezza una serie di concetti relativi alla dinamica dei corpi, fino a enunciare la teoria della gravitazione universale, legge che sarà alla base di tutta la fisica e specialmente della cosmologia successiva, perfezionata 300 anni dopo dalla teoria della relatività di Einstein.



*Is. Newton*

Firma di Newton

La fisica di Newton è classificata "**deterministica**", in quanto considera un Universo in cui le condizioni cosmologiche sono assolute: il tempo scorre uguale sempre in avanti e lo spazio è infinito e lineare.

Newton sostiene che Dio ha creato il mondo fondandolo su principi e leggi semplici e universali (come, ad esempio, la legge di gravità) e che lo scopo degli uomini deve essere quello di scoprire e studiare queste leggi.



Isaac Newton morì il 20 marzo 1727 . Il suo funerale si svolse in pompa magna e fu inumato nella cattedrale di Westminster accanto ai grandi d'Inghilterra.



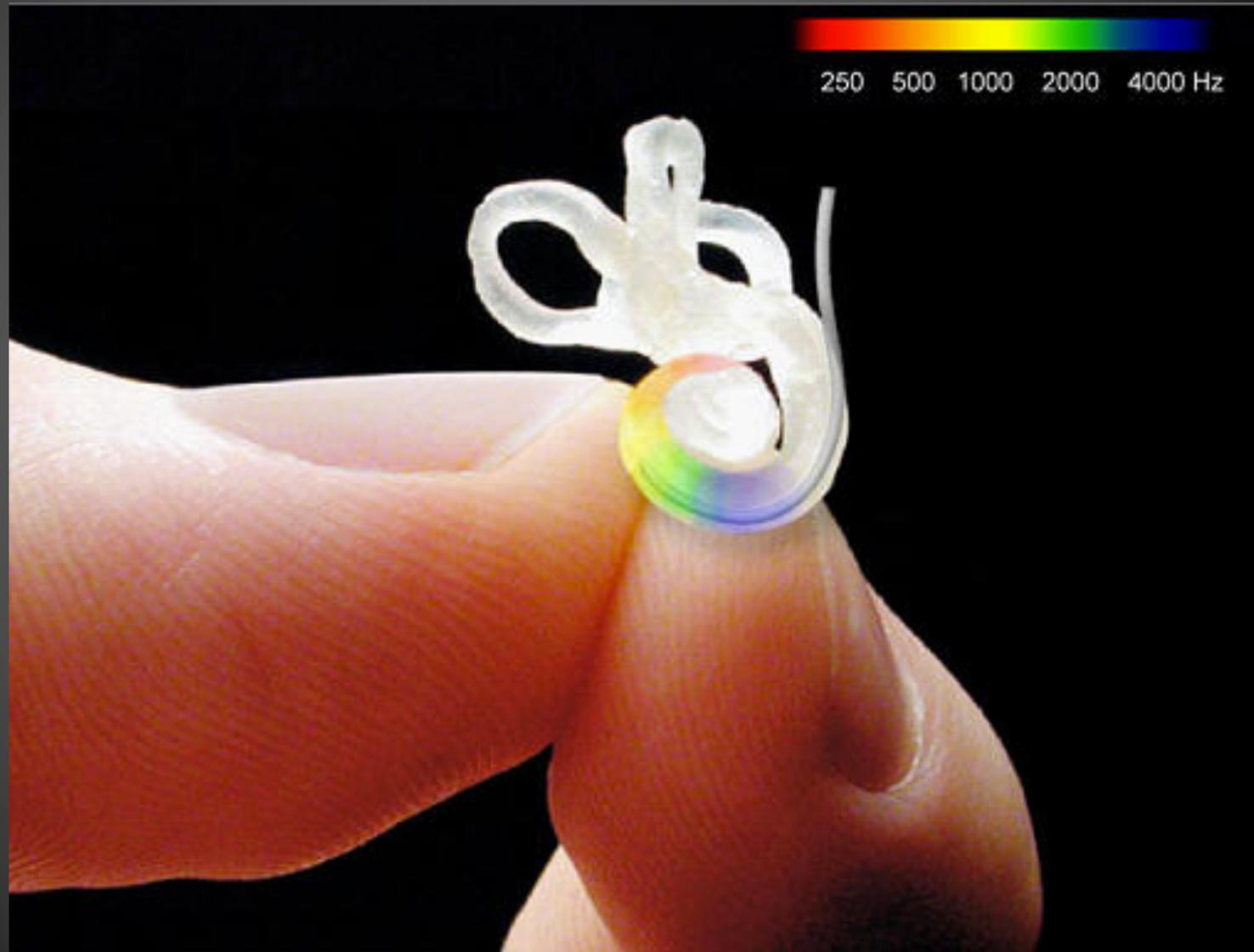
Tomba di Newton



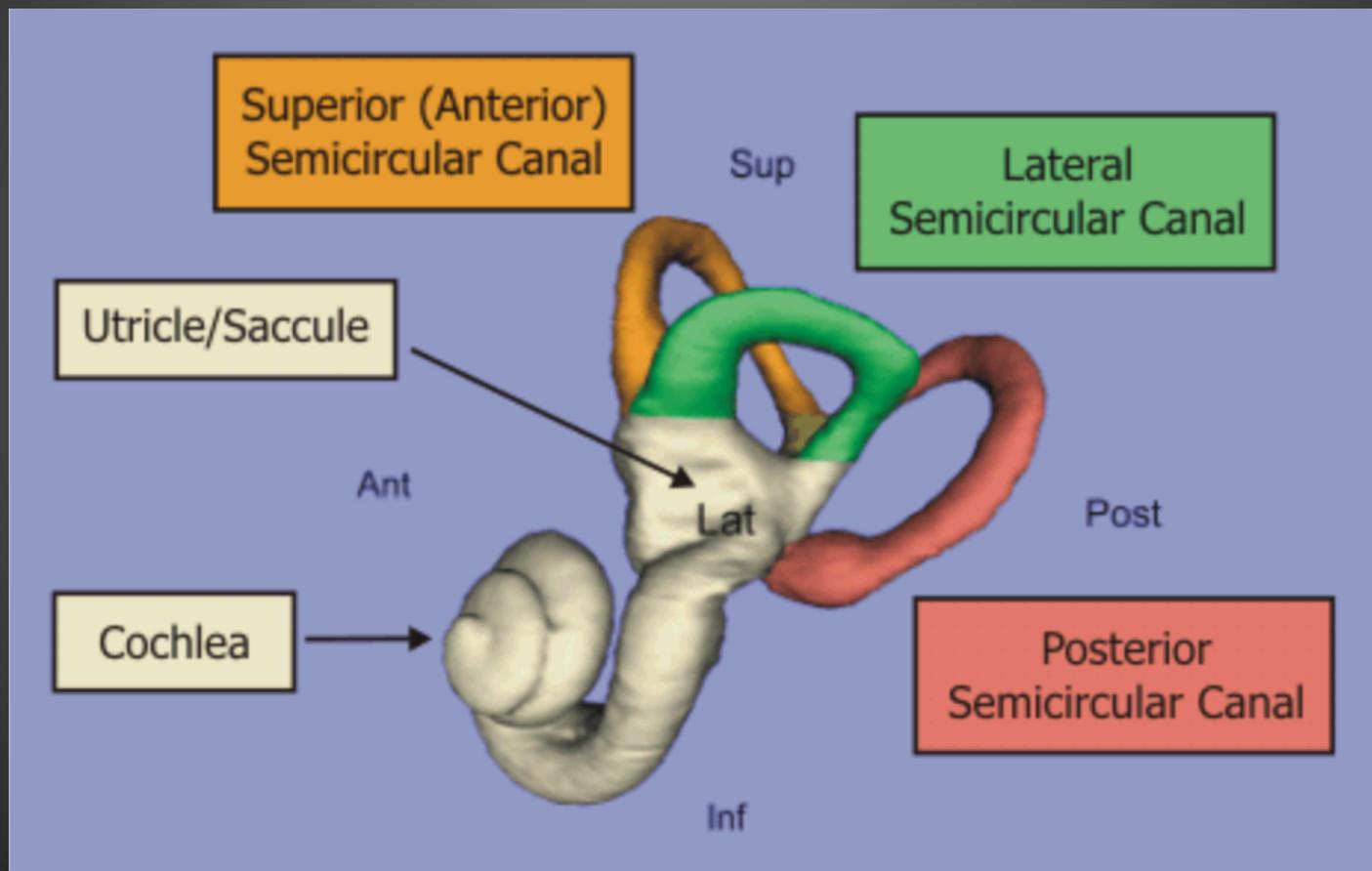
# Adattamento alla forza gravitazionale



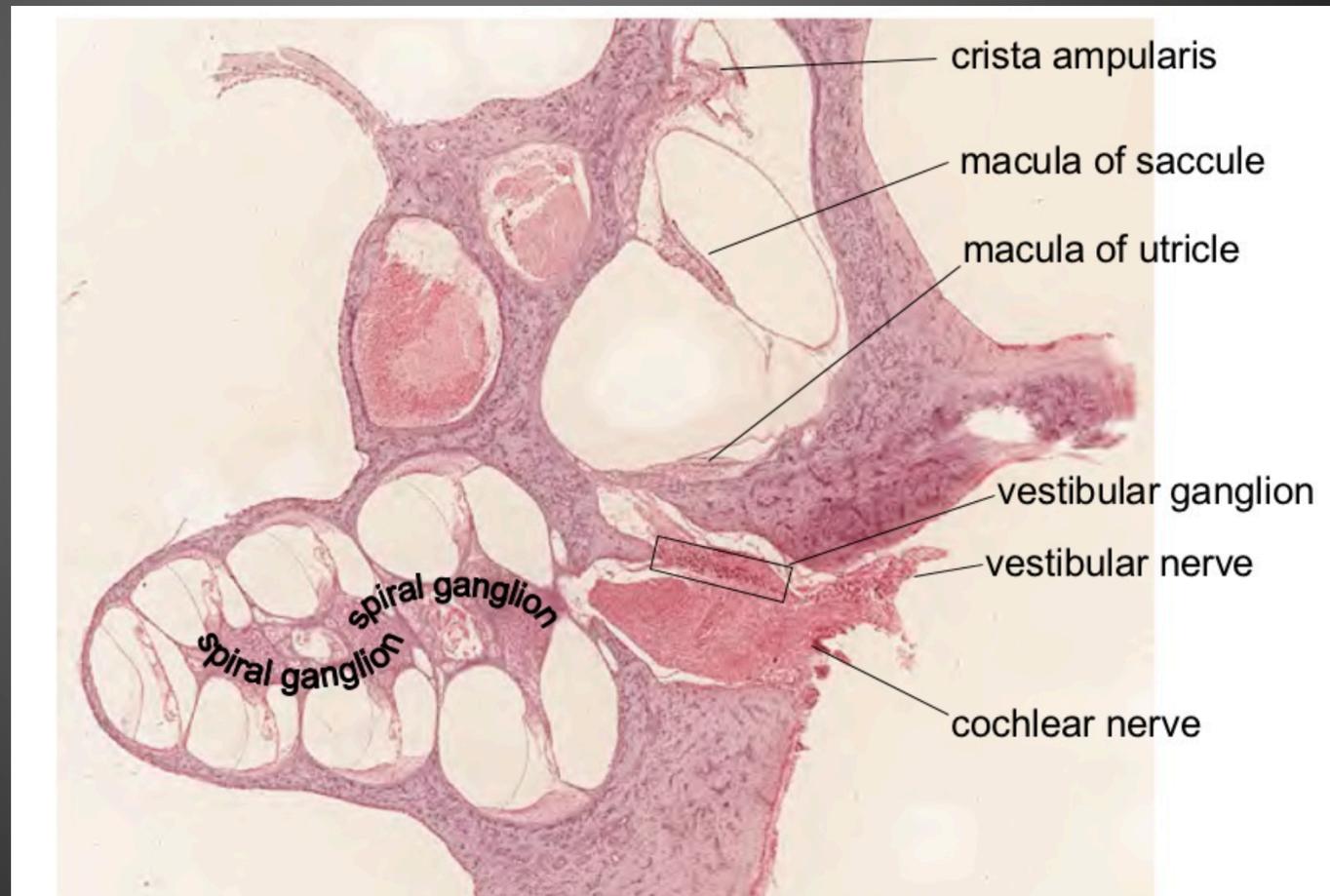
I sensori della forza gravitazionale sono localizzati nell'**orecchio interno**



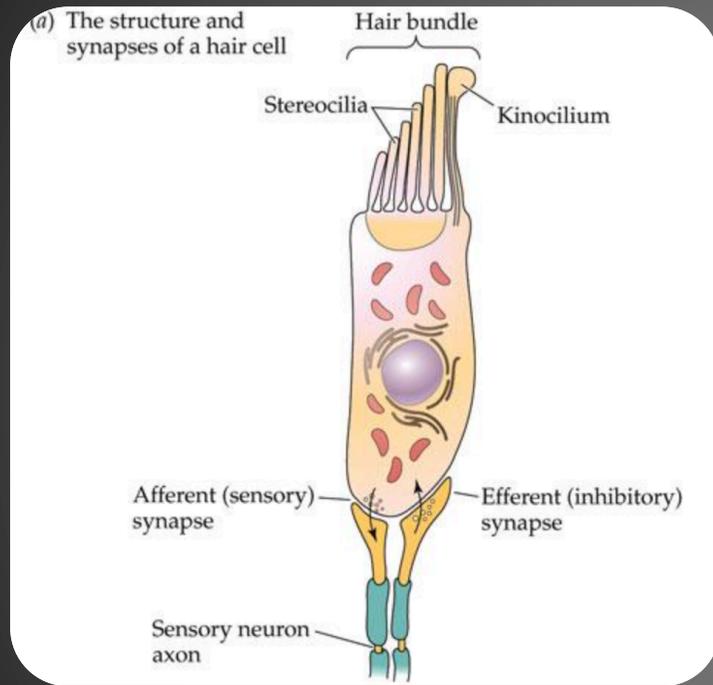
L'orecchio interno è una struttura complessa composta da tre canali semicircolari, il vestibolo e la coclea .



I sensori specifici deputati alla sensibilità al vettore gravitazionale e alle accelerazioni lineari e angolari sono **le macule** dell'utricolo e del sacco e **le creste ampollari** dei tre canali semicircolari.



Queste strutture hanno caratteristiche morfologiche diverse tuttavia sono distinguibili **due elementi** che si distinguono per unicità nel corpo umano.

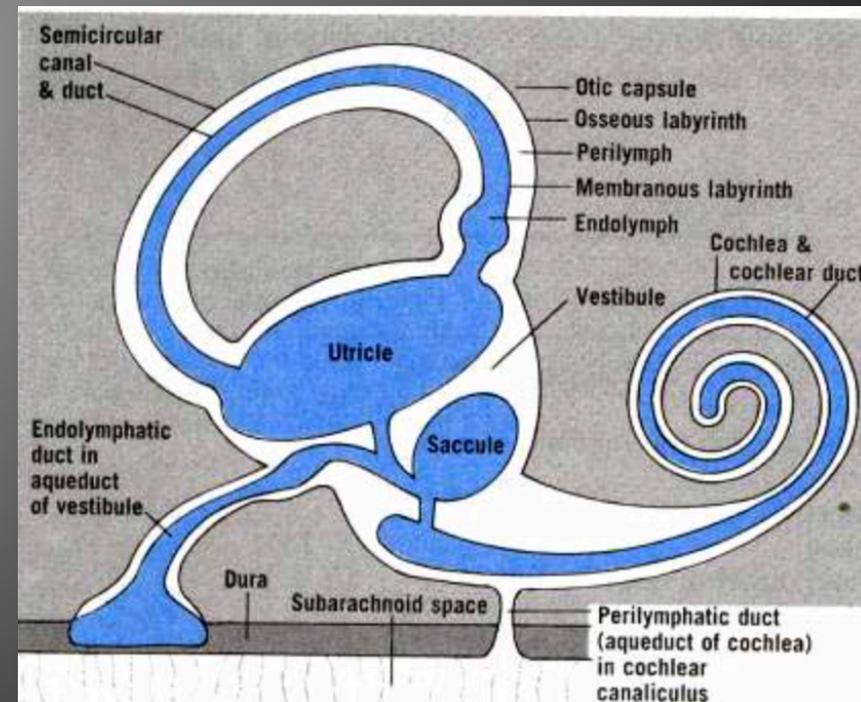
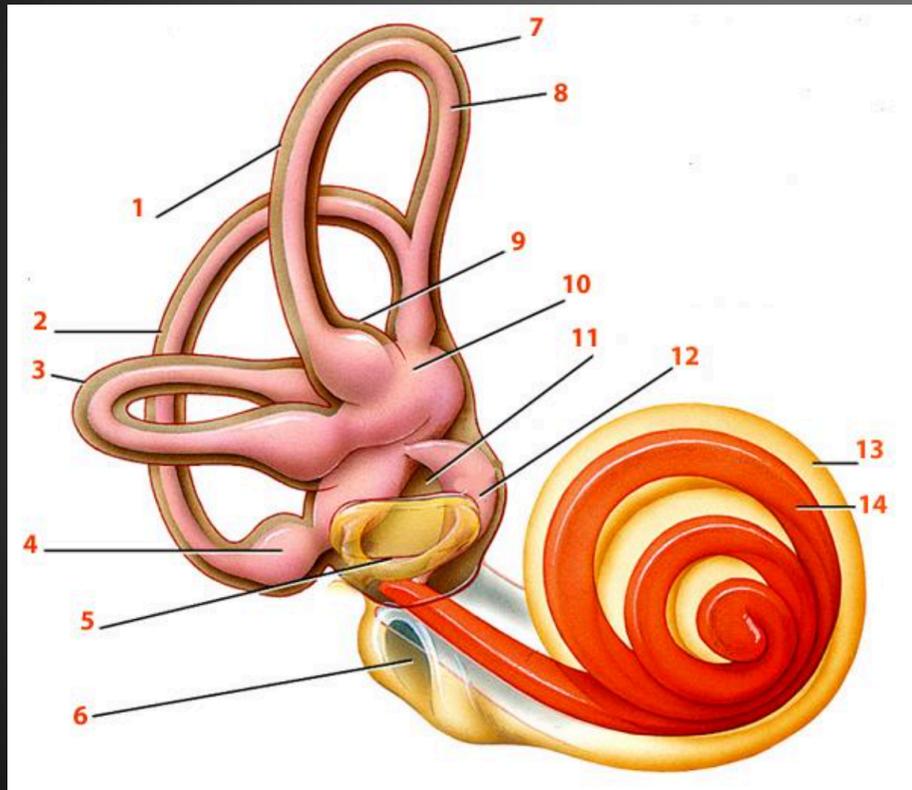


Cellule cigliate



Otoconi

Le cellule cigliate partecipano insieme alle cellule di sostegno alla separazione di due ambienti caratterizzati dalla presenza di due liquidi a differente composizione elettrochimica ( **endolinfa** versus **perilinf**a ) .

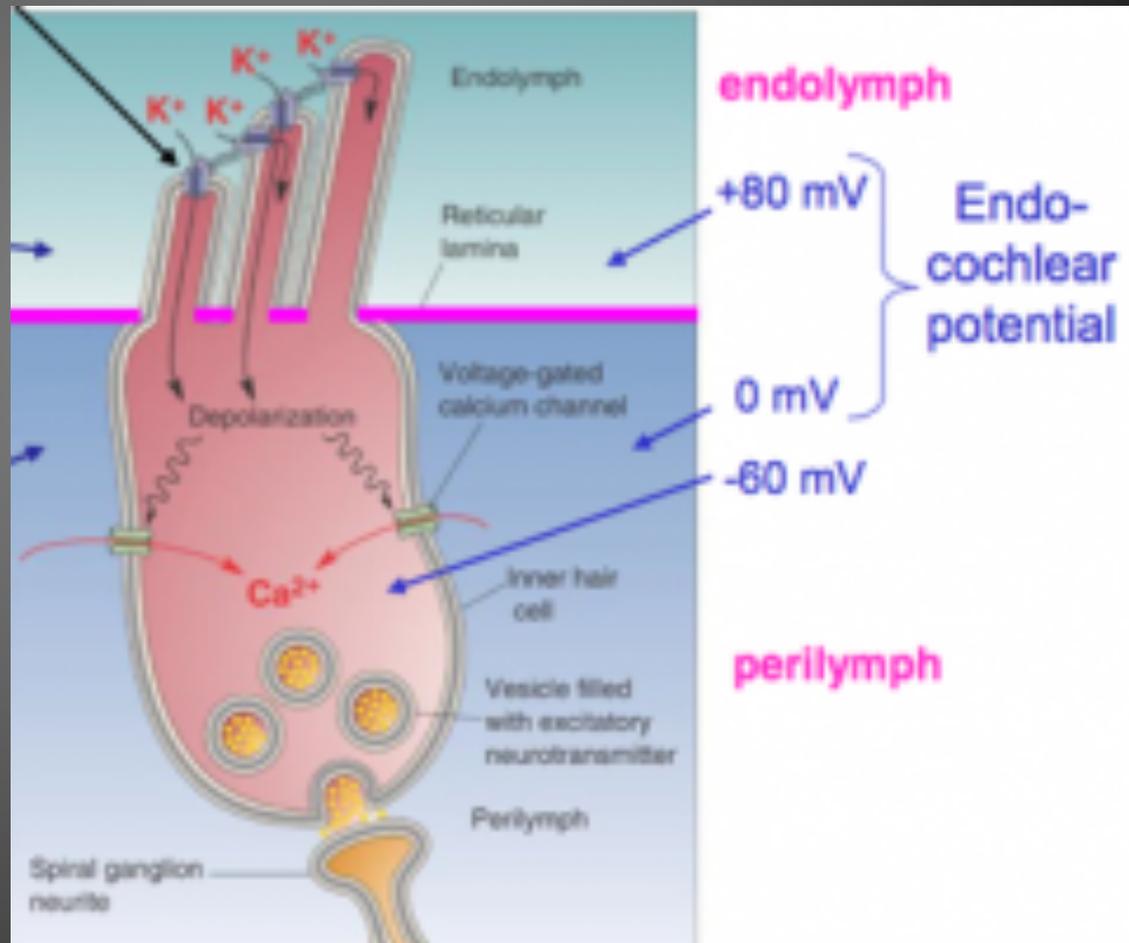


La differente composizione elettrochimica dei due liquidi ( **endolinfa** versus **perilinf** ) comporta un delta elettrochimico tra i due compartimenti .

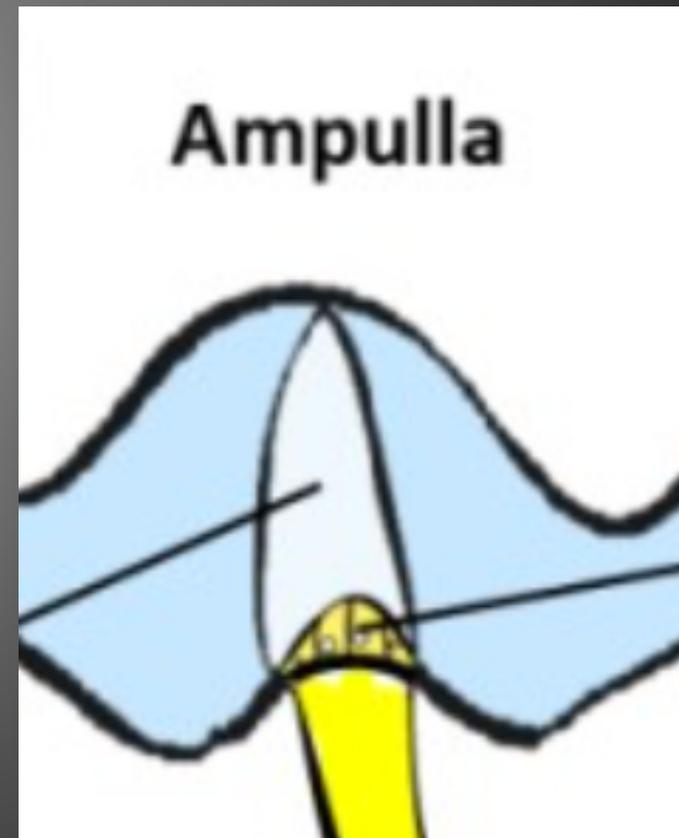
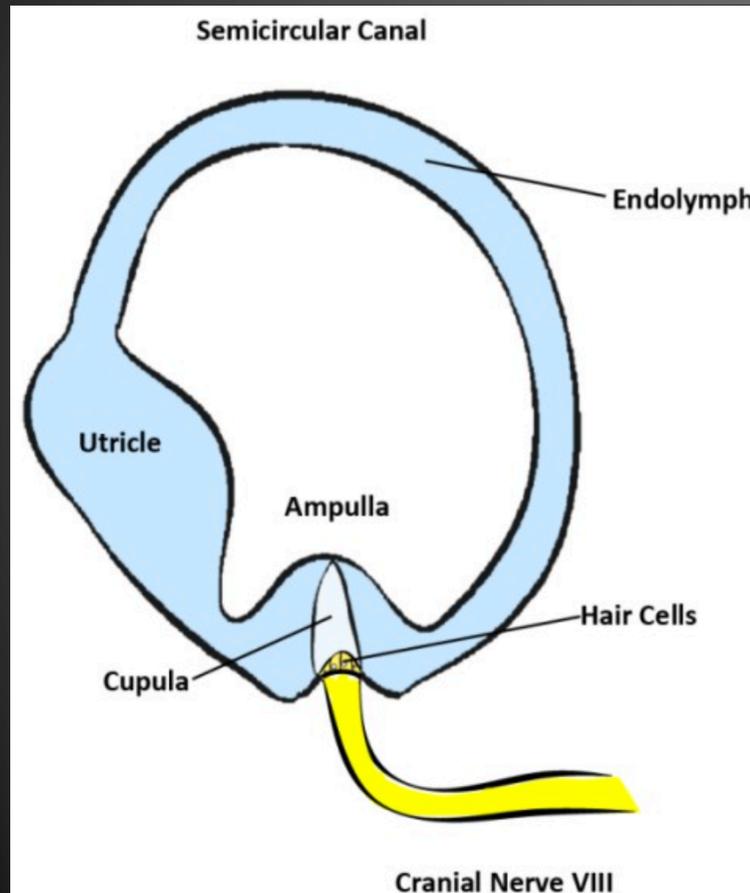
Composition	Perilymph	Endolymph
Na (mM)	140	1
K (mM)	4-5	150
Cl (mM)	110	130
Ca (mM)	1,2	0,02
Proteins (g/l)	1	0,15
Glucose (mM)	4	0,5
pH	7,4	7,4
Osmolarity (mosm/l)	290	315
Potential (mV)	0	80

Potential (mV)	0	80
Osmolarity (mosm/l)	290	315
pH	7,4	7,4

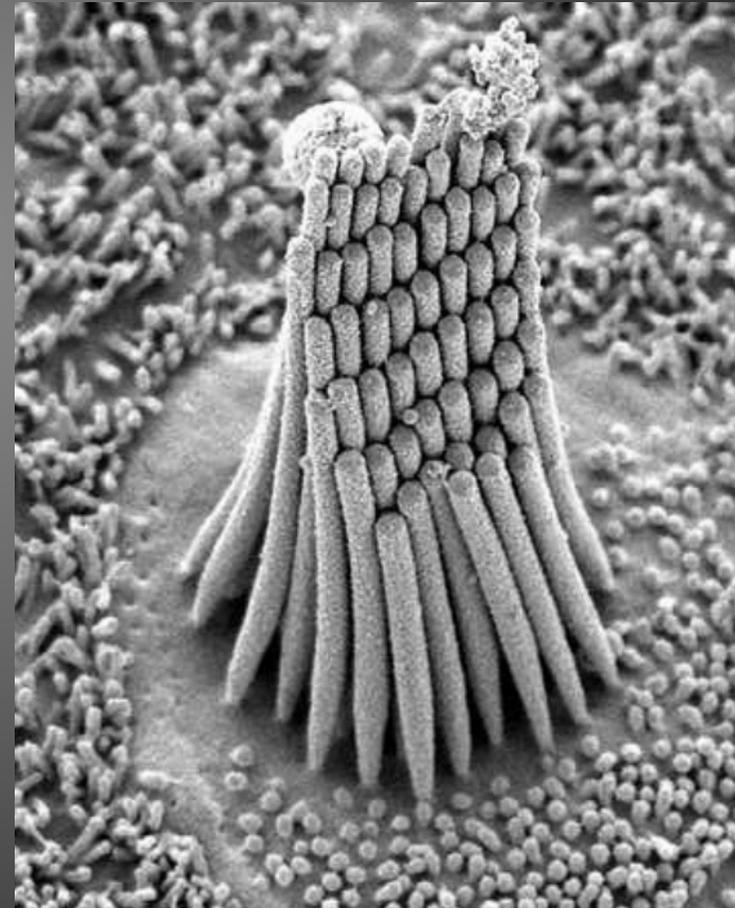
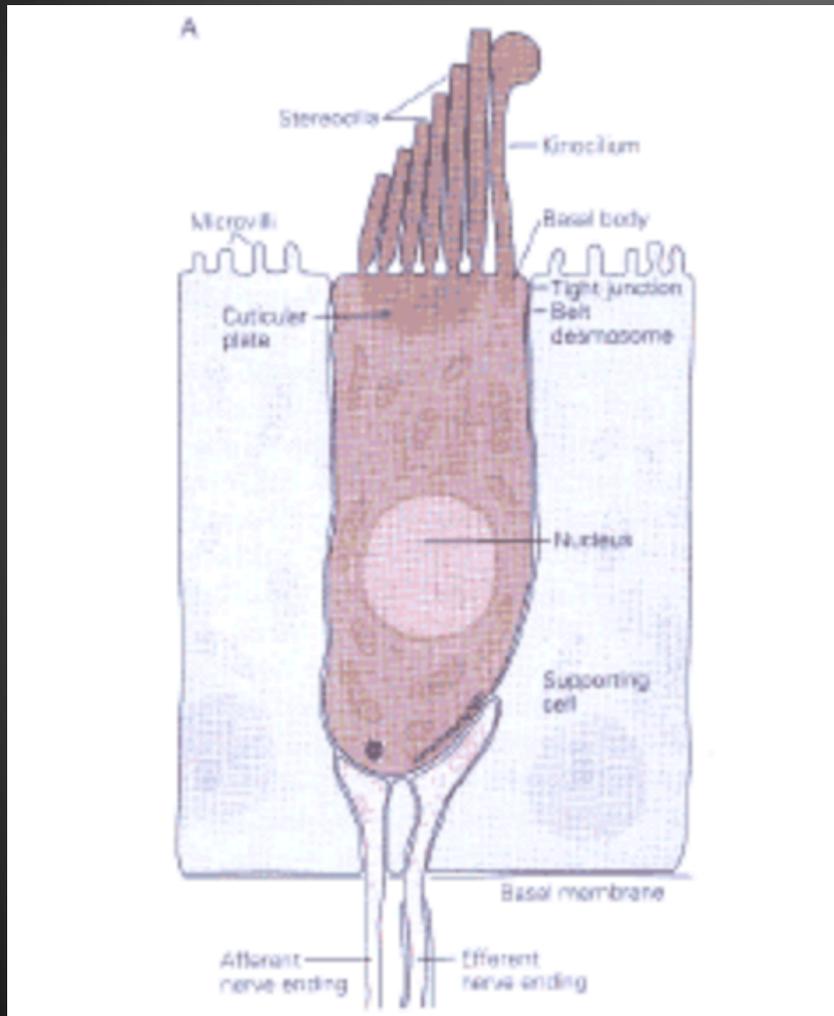
L'apparato apicale delle cellule cigliate sono nel compartimento endolinfatico mentre il corpo cellulare è nel compartimento perilinfatico .



Le cellule cigliate rappresentano l'unica porta di comunicazione tra due ambienti ( **endolinfa** versus **perilinf**a ) .

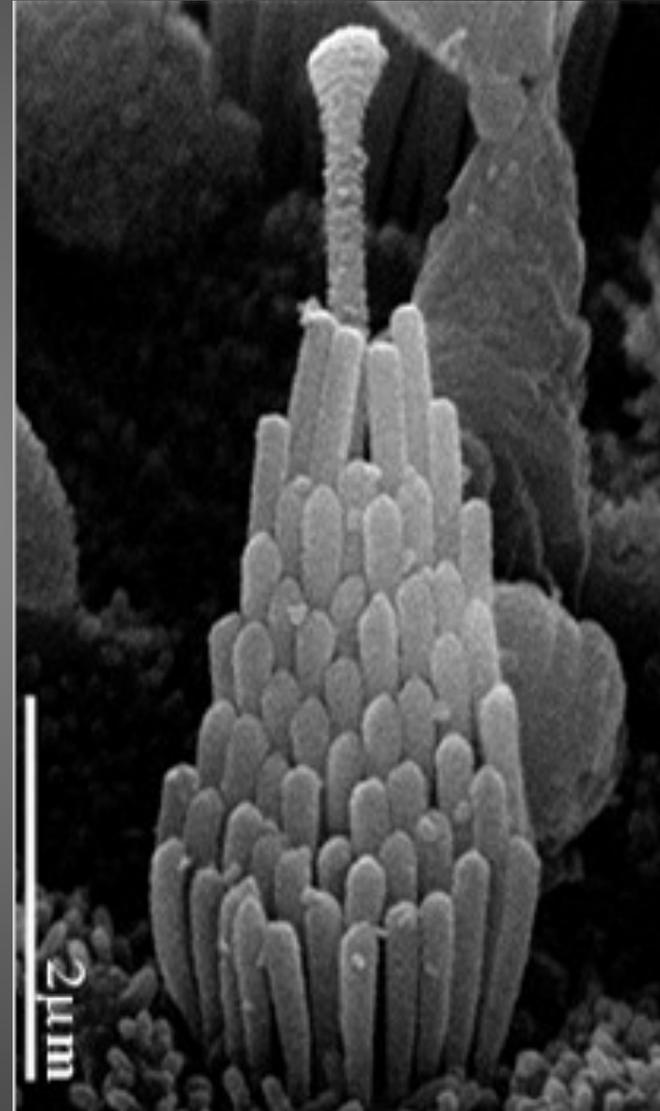


La cellula cigliata è caratterizzata dalla presenza sul suo polo apicale di decine di **stereociglia** e da un **chinociglio** che ha le caratteristiche del flagello.

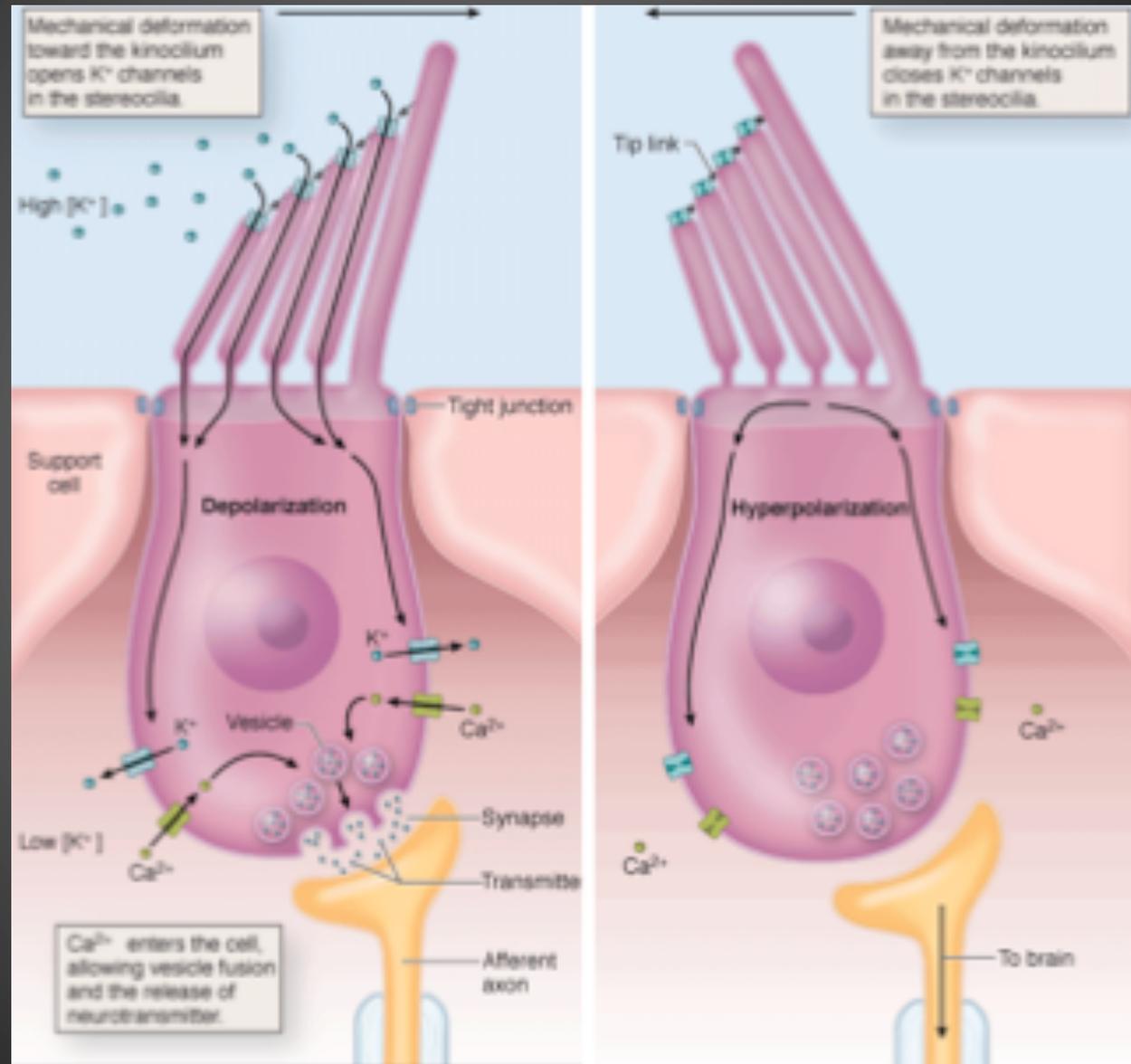


La cellula cigliata è una sofisticata struttura traduttrice dotato di una precisa organizzazione morfo-funzionale che permette di rispondere selettivamente agli stimoli diretti lungo il suo asse di depolarizzazione .

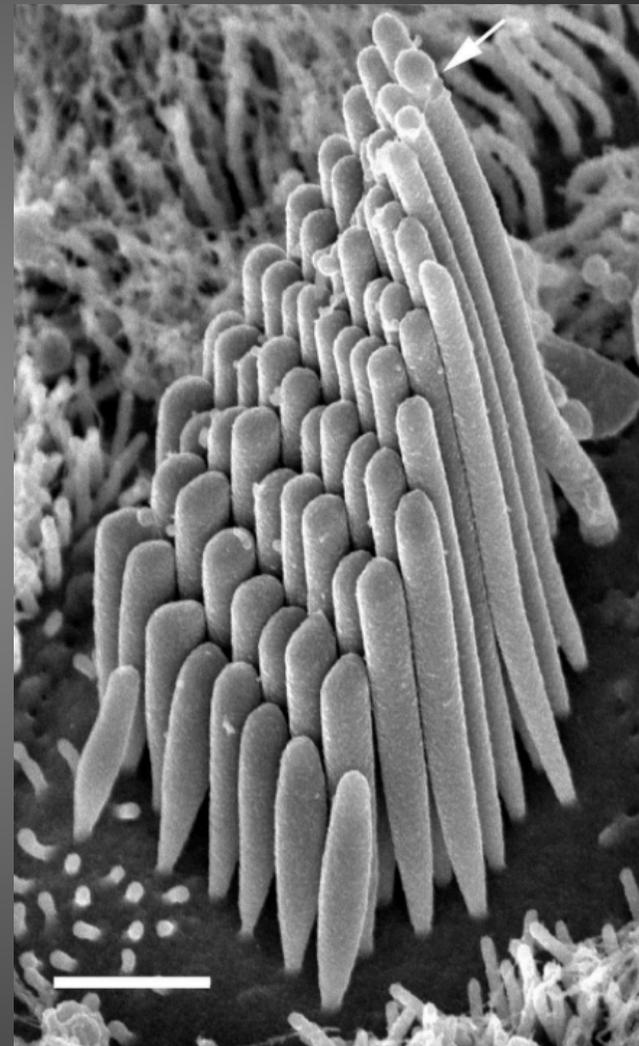
Stimoli diretti perpendicolarmente all'apparato cigliare non modificano lo stato di risposta bioelettrica



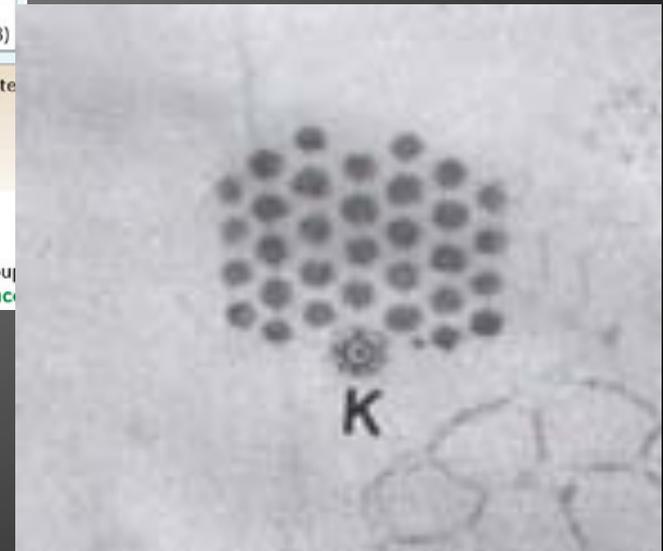
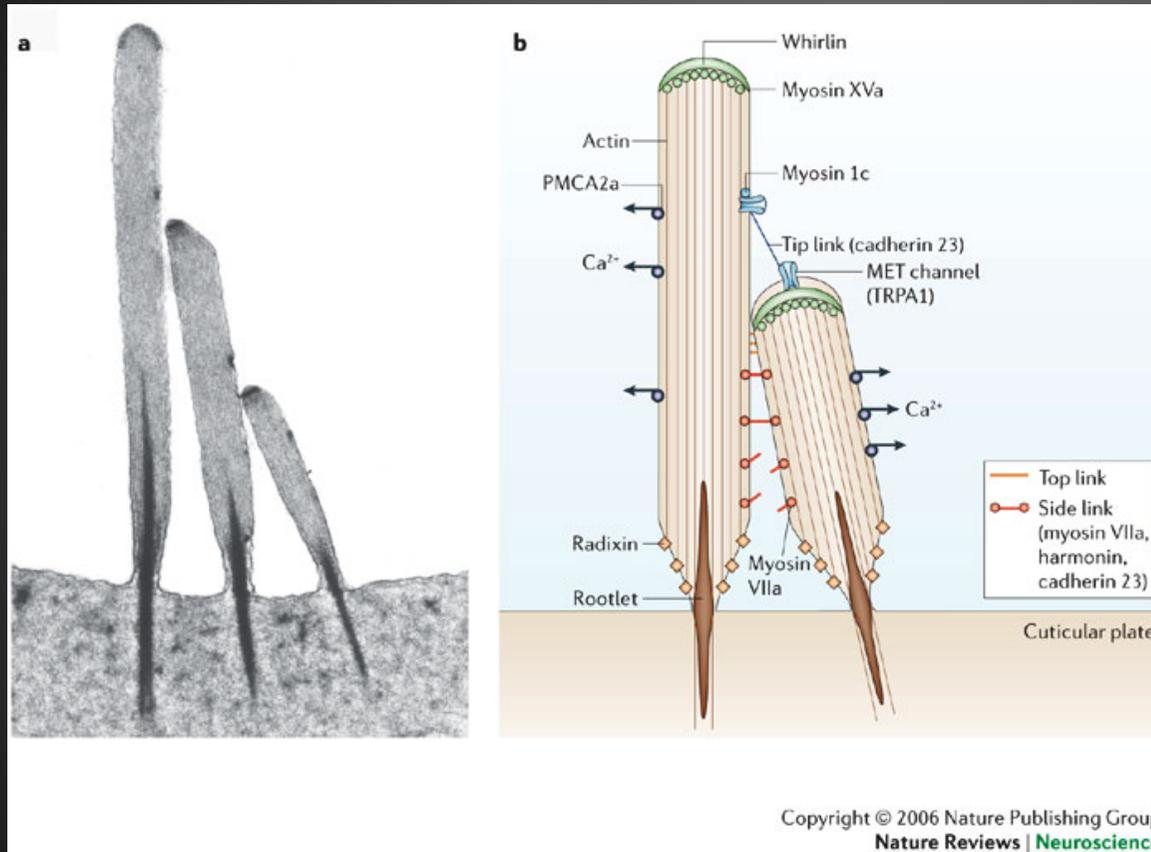
L'apparato cigliare si flette passivamente secondo le direzioni delle **correnti endolinfatiche** prodotte all'interno dello spazio endolinfatico



Se le **correnti endolinfatiche** provocano una deformazione dell'apparato cigliare sull'asse del chinociglio si verifica una depolarizzazione della cellula .



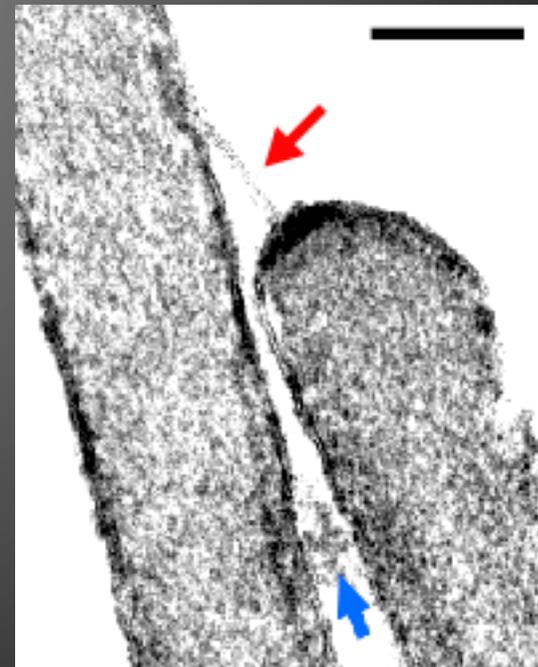
Ogni stereociglio è collegato allo stereociglio adiacente della stessa linea con un filamento proteico **TIP-LINK**.



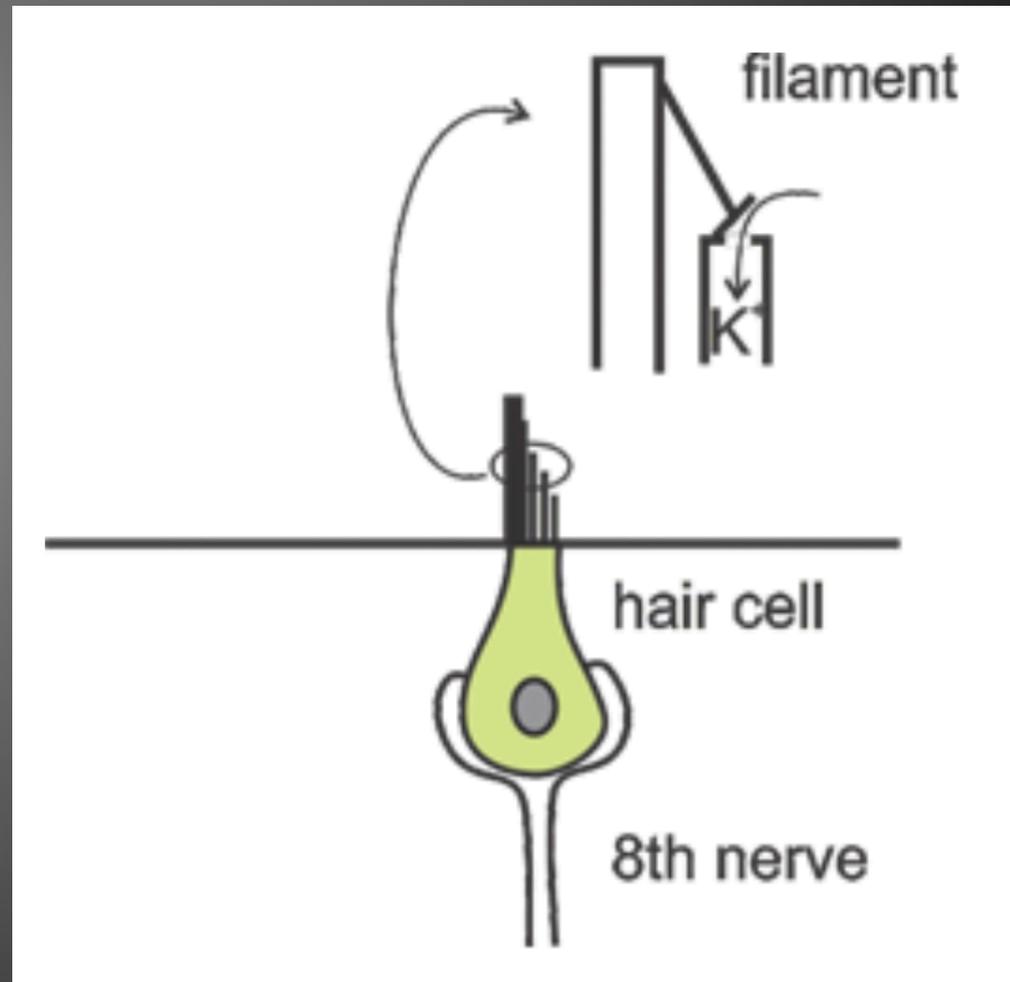
Alle estremità di ciascun stereogiglio il tip-link si collega ai bordi di una proteina canale (canale di trasduzione).

Se lo stereogiglio flette verso il chinociglio , grazie alle diverse altezze delle stereociglia, il tip-link si stira e i canali si aprono.

In caso opposto , i canali si chiudono .

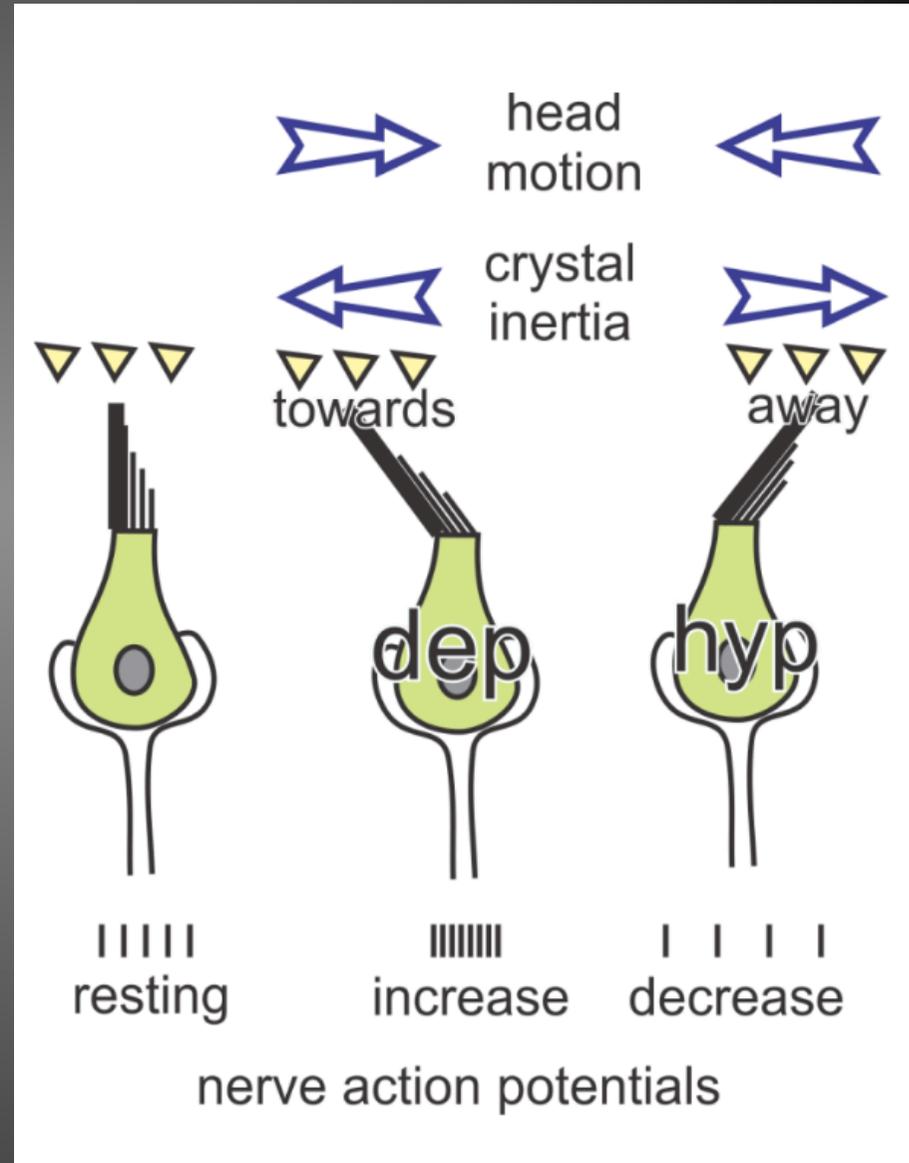


Quando l'apparato cigliare si flette verso il chinociglio i canali ionico si aprono e grazie alla differenza di potenziale tra l'interno della cellula e l'endolinfa (  $-140\text{ mv}$  ) si genera un flusso di ioni  $\text{K}^+$  all'interno della cellula .



Quando il complesso cigliare si flette nel senso opposto i canali ionici si chiudono.

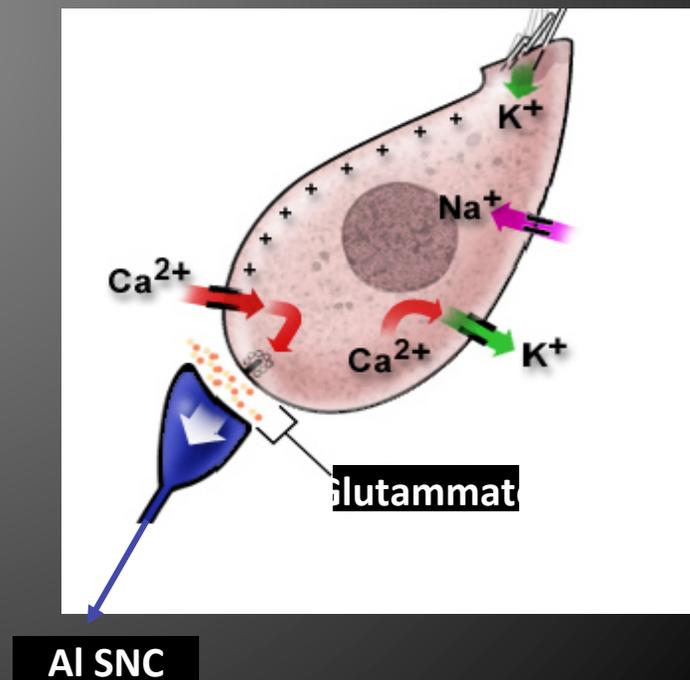
In questo modo avviene la trasduzione dello stimolo meccanico in segnale bioelettrico .



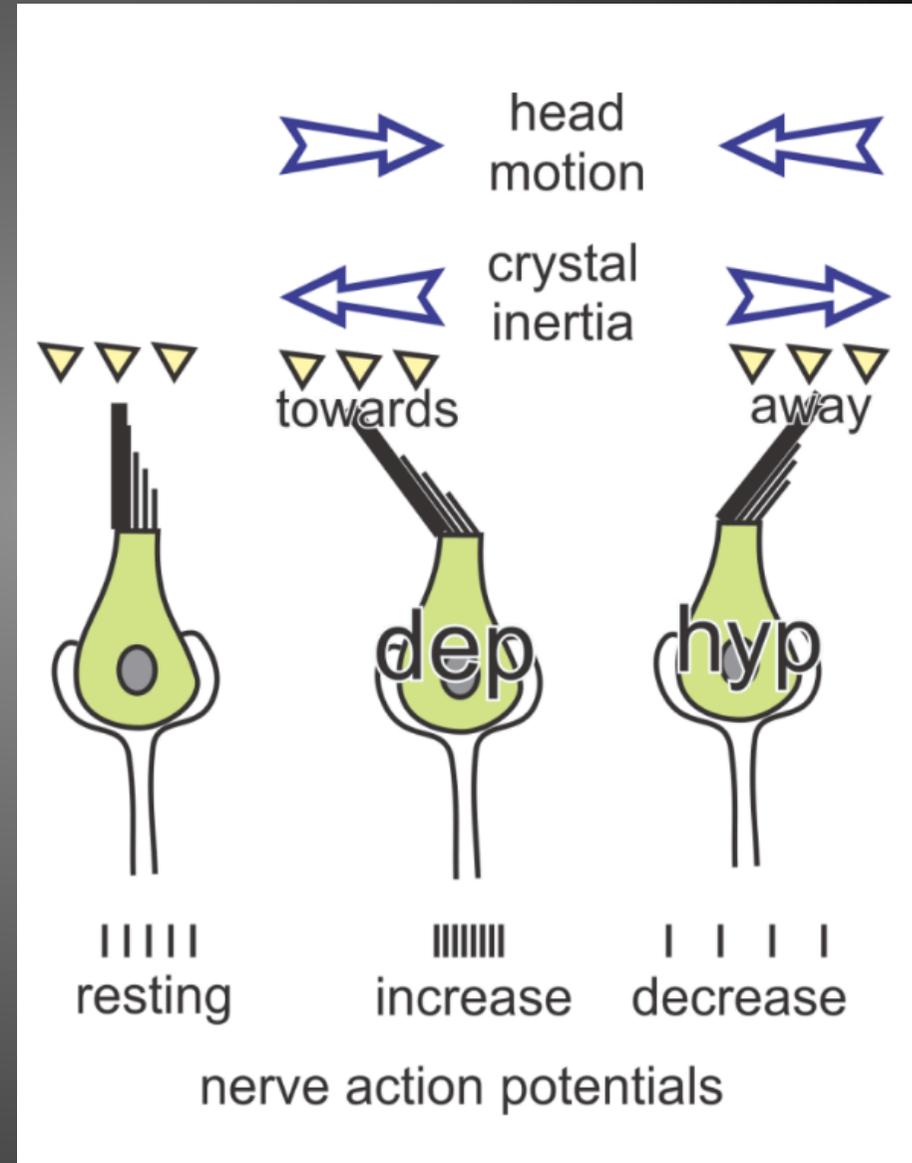
L'ingresso degli **ioni K** determina una depolarizzazione della cellula (potenziale di recettore).

La depolarizzazione favorisce l'apertura di altri canale posti sulla superficie del corpo della cellula permeabili agli ioni Ca .

L'ingresso degli **ioni Calcio** potenzia la depolarizzazione e permette di liberare i neurotrasmettitori a livello della presinapsi .

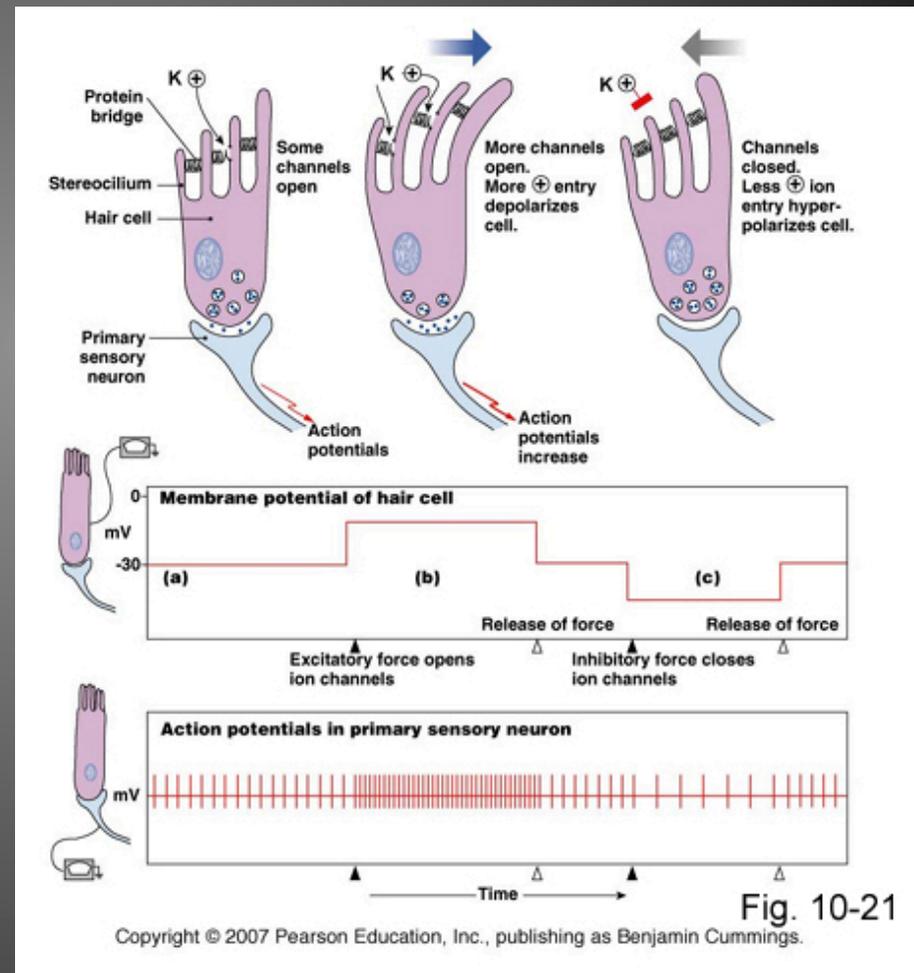


In questo modo avviene la trasduzione dello stimolo meccanico in segnale bioelettrico .



Quando la cellula è a riposo i tip-link non sono completamente rilasciati e i canali non sono completamente chiusi e qualche ione passa.

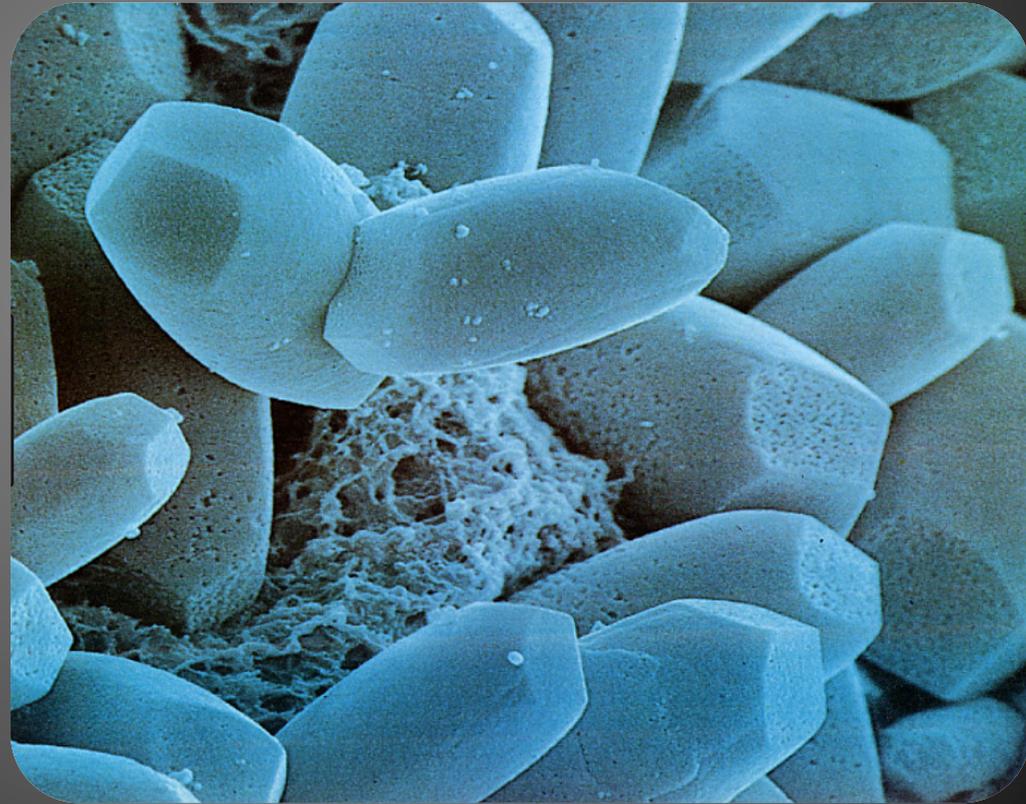
Anche in assenza di stimolazione vi è un certo livello di attività basale.



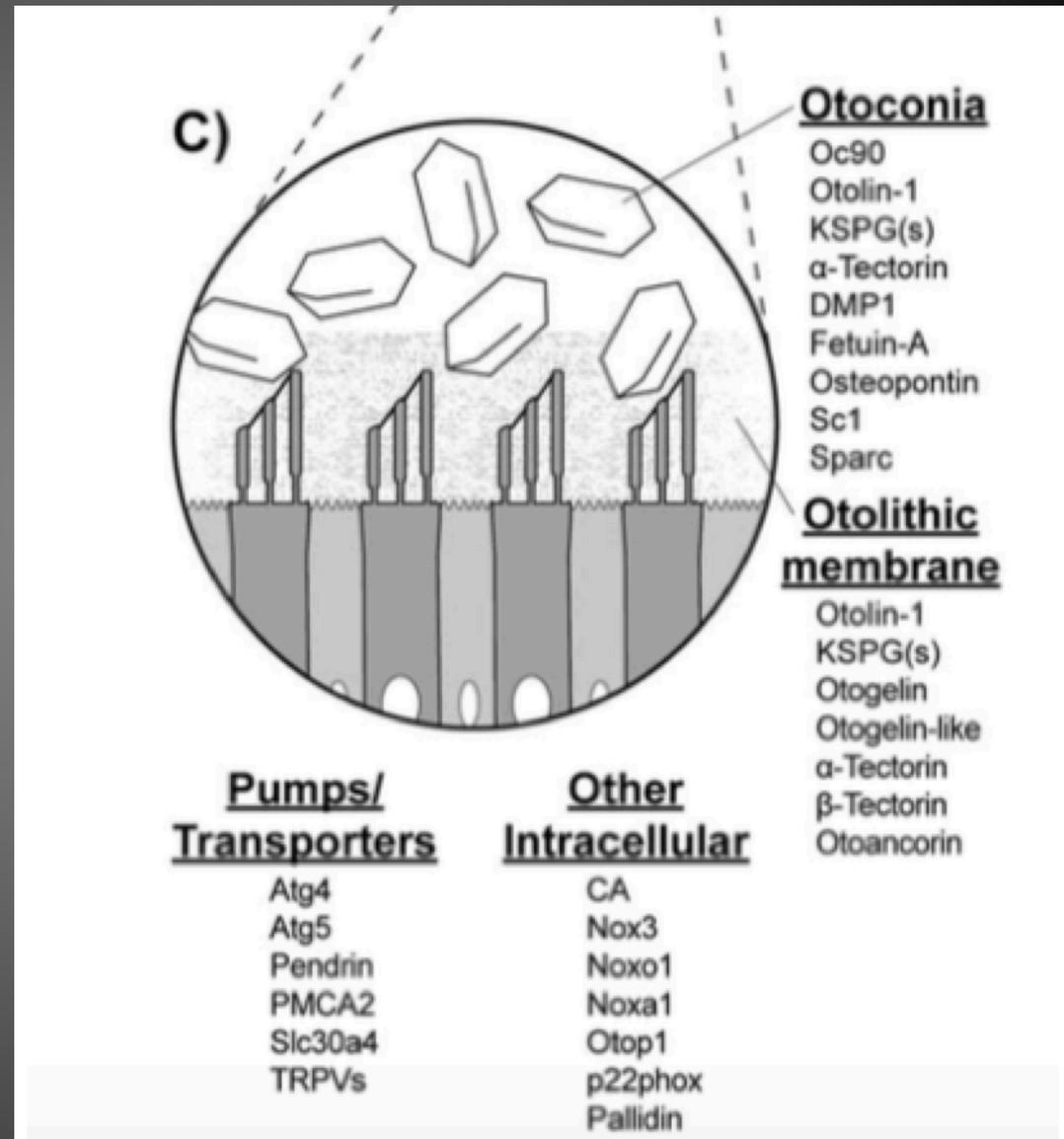
# Otoconi



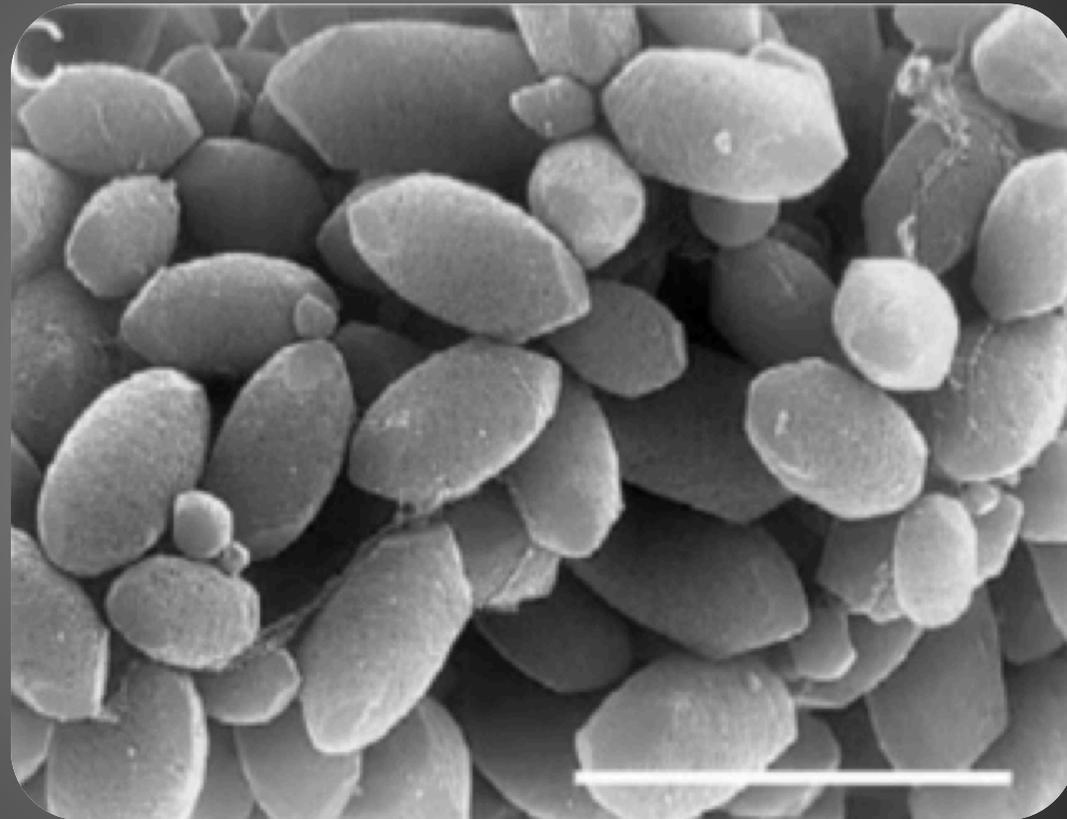
Gli otoconi presenti nell'orecchio interno sono migliaia . Sono composti prevalentemente di **Carbonato di calcio** e hanno un diametro compreso tra gli 0,5 e 30 microns. Hanno una simmetria esagonale e hanno una **gravità specifica di 2,71-2,94** .



Gli **Otoconia** sono ancorati all'epitelio sensoriale e giocano un ruolo cruciale nella trasformazione del movimento meccanico in segnale bioelettrico (**Meccano-trasduzione**).



In mammals, the majority of otoconia are generated only in the embryonic ear and must be maintained throughout life.





SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

*Master di posturografia*  
*17 mar 2016*

# Adattamento alla forza gravitazionale

Giovanni Ralli

Dipartimento di Organi di Senso, Università di Roma

“La Sapienza”