

CAPÍTULO 1

El Aparato de Equilibrio

El aparato de equilibrio comprende el conjunto de estructuras que contribuyen a que podamos mantenernos de pie sin apoyarnos. Tiene 3 funciones principales: brindarnos sensación de movimiento, estabilizar la mirada cuando nos desplazamos o movemos la cabeza y ajustar nuestra postura tanto en superficies firmes como inestables. Para realizar estas funciones se basa en 3 componentes sensoriales (Fig. 1.1):

El sistema visual- formado por nuestros ojos y sus proyecciones a la corteza visual cerebral y a otros sectores del cerebro.

El sistema propioceptivo- formado por receptores mecánicos ubicados en piel, músculos, tendones y ligamentos.

El sistema vestibular- integrado por el laberinto, el nervio vestibular, los núcleos vestibulares y el cerebelo.¹

COMPONENTES DEL APARATO DE EQUILIBRIO

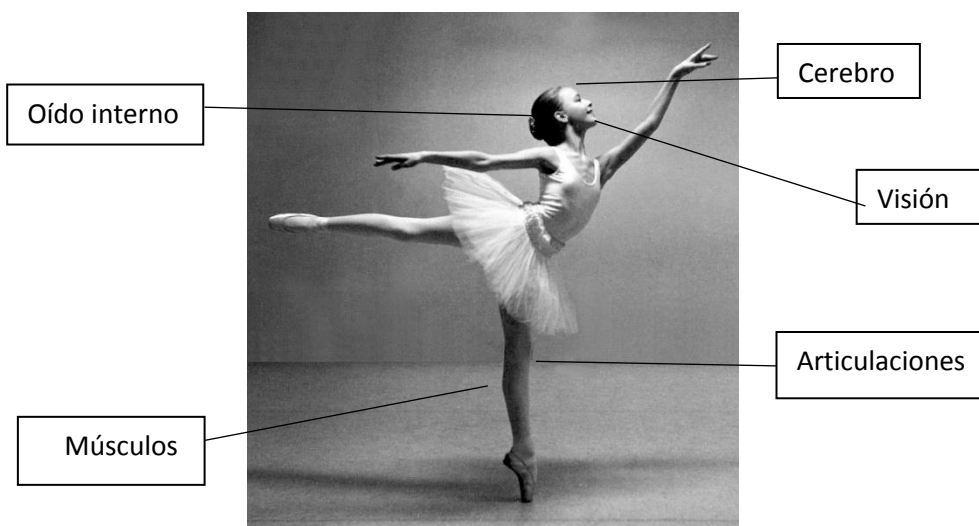


Figura 1.1 El aparato de equilibrio utiliza información de posición y movimiento del laberinto, la visión y la propiocepción. Adaptado de Helland.

Una falla en cualquiera de los componentes del aparato de equilibrio puede generar un trastorno en su funcionamiento manifestándose por: mareos, vértigo, inestabilidad y náuseas.

LA VISIÓN

La visión tiene una función importante en nuestra capacidad de equilibrarnos, orientarnos en el espacio y procesar el movimiento propio y de objetos alrededor nuestro. Si permanecemos parados con los ojos cerrados, podemos notar un leve balanceo que disminuye cuando abrimos los ojos. Para asistirnos a mantener el equilibrio, las áreas visuales de la corteza cerebral proyectan a los núcleos vestibulares ubicados en la base del cerebro o tronco encefálico (Fig. 1.2).²

El mareo visual es una de las alteraciones más comunes del aparato de equilibrio. Si miramos una proyección que ocupa la mayoría del campo visual y esta comienza a rotar sentimos que estamos en movimiento. Al producirse un conflicto entre la información visual y vestibular, podemos sentir mareos y náuseas, síntomas comunes de las enfermedades vestibulares.³

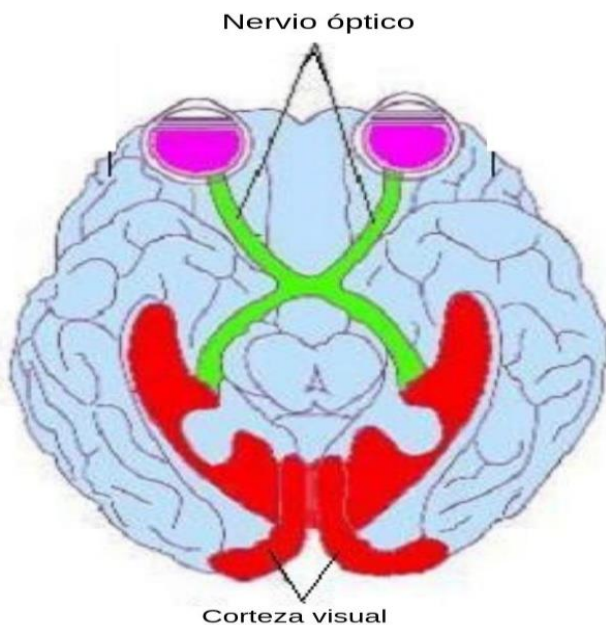


Figura 1.2 El sistema visual envía información de posición y movimiento desde la corteza visual a las áreas vestibulares en la base del cerebro. Adaptado de William Vroman.

EL SISTEMA PROPIOCEPTIVO

Existe un sistema de receptores de presión y estiramiento denominados propioceptores o mecanoreceptores, ubicados en piel, tendones, fascia, músculos y articulaciones, que permiten conocer la posición del cuerpo. Los propioceptores convierten estímulos mecánicos como la presión o elongación en impulsos eléctricos para su transmisión al sistema nervioso central (Fig. 1.3).

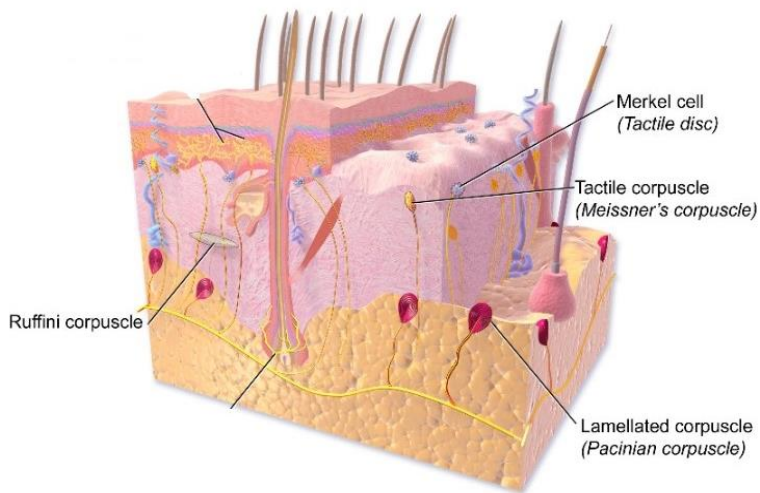


Figura 1.3 Los receptores mecánicos o propioceptores de la piel forman parte del aparato equilibrio. Imagen: NIH

La propiocepción nos permite saber si nuestros pies están apoyados en el piso o si nuestras manos están abiertas o cerradas, sin la necesidad de utilizar la visión. Igual que los receptores visuales, los propioceptores proyectan a los núcleos vestibulares. Un trastorno propioceptivo puede generar mareos y desequilibrio. Las personas con trastornos propioceptivos (por ej. una neuropatía periférica) suelen tener mucha dificultad al caminar en la oscuridad o sobre superficies irregulares como calles empedradas o rampas.⁴

EL OÍDO INTERNO

El oído se divide en 3 partes (Fig. 1.4):

El oído externo- formado por el pabellón auricular y el conducto auditivo externo. Su función es amplificar los sonidos y transmitirlos a la membrana timpánica.

El oído medio- una cavidad aérea que contiene tres huesos pequeños en cadena que transmiten y amplifican los sonidos hacia el oído interno.

El oído interno- ubicado en la profundidad del hueso temporal contiene el laberinto, estructura relacionada en convertir los estímulos auditivos y de movimiento en impulsos nerviosos que el cerebro puede interpretar.⁵

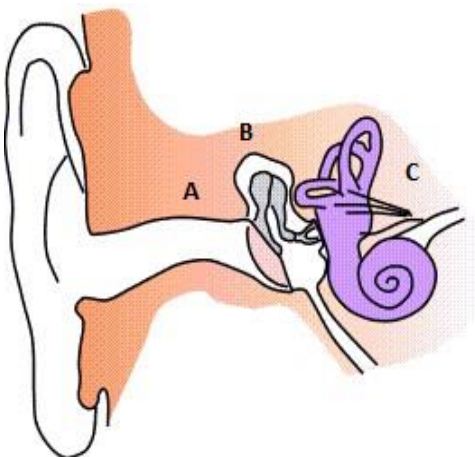


Figura 1.4 Las 3 compartimentos del oído: A) oído externo B) oído medio C) oído interno. Adaptado de Lain.

EL LABERINTO

El laberinto es una estructura dentro del oído interno que contiene sensores de movimiento y de audición. Se divide en tres partes: el vestíbulo, los conductos semicirculares y la cóclea (Fig. 1.5). Contiene un líquido denominado endolinfa que baña las terminaciones nerviosas en su interior. Es dentro del laberinto, en los conductos semicirculares y el vestíbulo, que se encuentran las células sensibles a la gravedad y al movimiento de nuestro aparato de equilibrio.

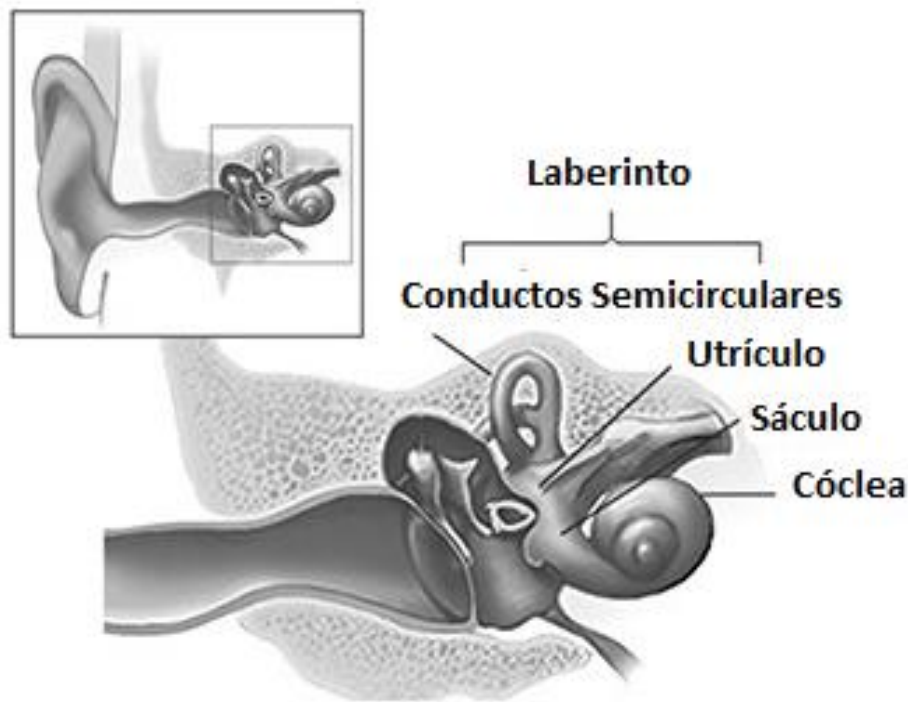


Figura 1.5 Ubicación del laberinto y sus órganos sensoriales. Adaptado de NIH.

El Vestíbulo

El vestíbulo, la parte central del laberinto, contiene dos órganos importantes para el equilibrio, el utrículo y el sáculo, nuestros sensores de gravedad y aceleración. El utrículo y el sáculo contienen otolitos u otoconias: cristales de carbonato de calcio envueltos en una matriz gelatinosa. Los otolitos se apoyan sobre unas células llamadas ciliadas, debido a sus prolongaciones en forma de pelos (Figura 1.6). La función de los otolitos es desplazar las células ciliadas del vestíbulo cuando nuestras cabezas están expuestas a fuerzas de aceleración (Figura 1.7). Un ejemplo es nuestra percepción de movimiento cuando subimos a un ascensor. Cuando el ascensor inicia un ascenso y acelera, la fuerza de gravedad ejerce presión sobre los otolitos, estimulando las células ciliadas para que envíen impulsos al sistema nervioso central. Estas señales permiten que el centro de equilibrio reciba información de aceleración y modifique nuestra postura.¹ El mismo proceso sucede en forma inversa cuando el ascensor desacelera. Esta sensación de aceleración, para muchos desagradable, indica el funcionamiento normal del aparato de equilibrio.

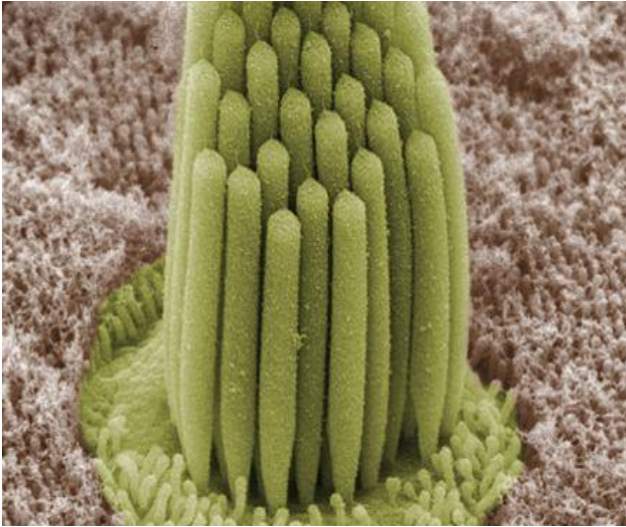


Figura 1.6 Microfotografía de células ciliadas.
Imagen: NIH.

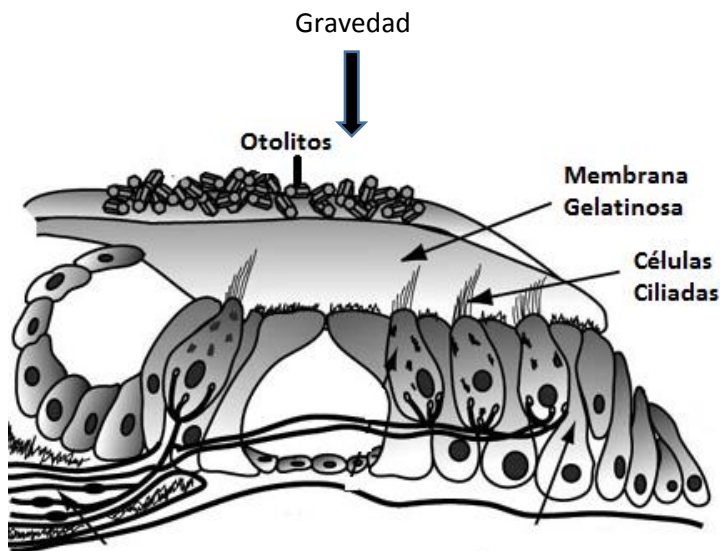


Figura 1.7 Las fuerzas de gravedad ejercen presión sobre los otolitos, que a su vez desplazan las células ciliadas, generando un impulso nervioso que el cerebro puede interpretar. Adaptado de NASA.

LOS CONDUCTOS SEMICIRCULARES

Los conductos semicirculares son tres tubos en forma de C, que al igual que el resto del laberinto contienen líquido endolinfático. Se activan según en que plano se efectúa un movimiento. Están orientados en tres direcciones distintas, para que seamos sensibles a movimientos en las tres dimensiones y se nombran como: horizontal, anterior y posterior. Los conductos semicirculares están alineados de a pares: el conducto semicircular anterior se encuentra en el mismo plano que el posterior del lado opuesto, igual que ambos canales horizontales (Fig. 1.8). Gracias a esta disposición el sistema vestibular tiene 2 sensores de velocidad para cada plano de movimiento, constituyendo un mecanismo de seguridad en caso de lesión.

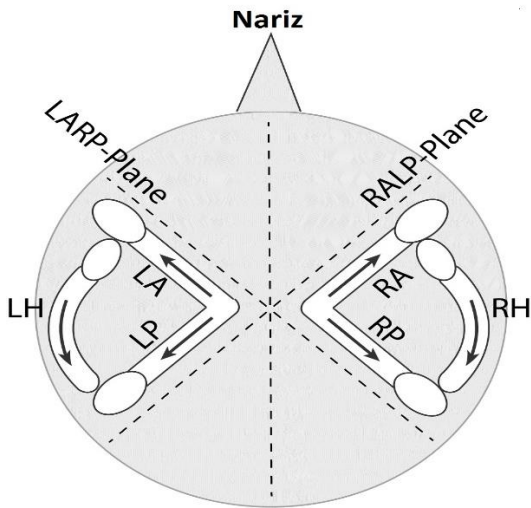


Figura 1.8 Orientación de los tres conductos semicirculares. Las flechas representan el plano de mayor sensibilidad de cada canal. LA- anterior izquierdo, LP- posterior izquierdo, LH- horizontal izquierdo, RA- anterior derecho, RP- posterior derecho, RH-horizontal derecho. Adaptado de Thomas Haslwanter.

Cada conducto semicircular contiene una dilatación en uno de sus extremos llamada ampolla que contiene células ciliadas cubiertas por una membrana gelatinosa denominada cúpula. Los conductos semicirculares actúan como niveles. Al rotar la cabeza se genera un movimiento del líquido endolinfático que flexiona las células ciliadas enviando impulsos nerviosos hacia el cerebro. De esta forma el sistema nervioso central recibe información de velocidad y rotación. Según en que plano y a que velocidad se mueve la cabeza, va a variar la forma en que se activan los distintos conductos. Un movimiento de rotación lateral de la cabeza activa en mayor medida los canales horizontales, un movimiento hacia adelante los canales anteriores y una inclinación de la cabeza los canales posteriores. El cerebro interpreta estos impulsos y genera la sensación de movimiento que percibimos cuando giramos la cabeza (Fig. 1.9).⁵⁵

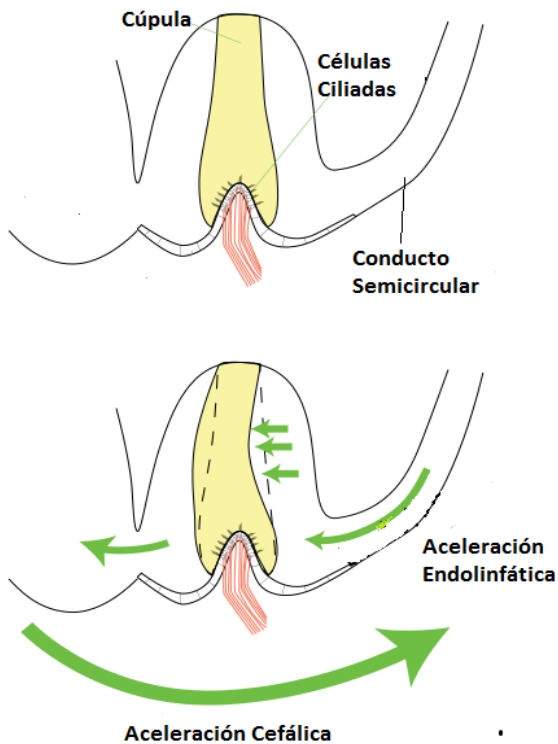


Figura 1.9 Al efectuar un movimiento de cabeza, el líquido endolinfático moviliza las células ciliadas, enviando una señal de movimiento a los núcleos vestibulares. Adaptado de Thomas Haslwanter.

Para diferenciar la dirección de un movimiento, las células ciliadas modifican sus descargas según hacia que lado rota la cabeza. En reposo el nervio vestibular tiene un ritmo de disparo cerca de los 90 pulsos por segundo. Al efectuar una rotación de la cabeza a la derecha, las células ciliadas en la ampolla del conducto semicircular horizontal derecho aumentan su ritmo de disparo excitando el nervio vestibular derecho. La misma rotación tiene el efecto opuesto en el oído izquierdo donde las células ciliadas disminuyen su ritmo de disparo, inhibiendo la actividad del nervio vestibular izquierdo. De esta forma el sistema nervioso central recibe información no solo sobre en que plano, sino en que dirección se esta efectuando un movimiento. (Figura 1.10). Si bien un movimiento en un plano excita o inhibe ambos canales ubicados en ese plano, la respuesta hacia el lado excitatorio es más eficiente. Esta respuesta es debida a las propiedades de descarga del nervio vestibular, se puede aumentar su ritmo de descarga más de que se lo puede disminuir.

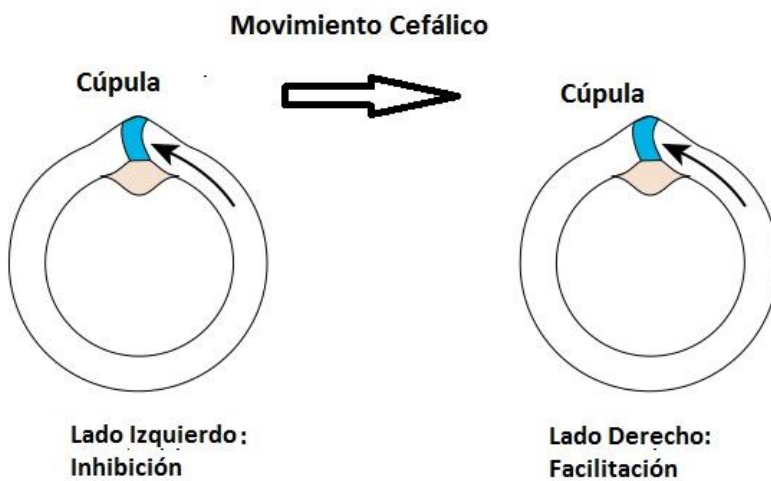


Figura 1.10 Un giro de la cabeza a la derecha aumenta la actividad del nervio vestibular derecho al mismo tiempo que inhibe la del izquierdo. De esta forma el sistema vestibular puede diferenciar el sentido de una rotación. Adaptado de Thomas Haslwanter.

Podemos resumir que los conductos semicirculares son sensores de velocidad que se activan selectivamente según en que plano y dirección se mueve la cabeza. Esta información es utilizada para realizar ajustes en los movimientos oculares para mantener la vista estable y en los músculos posturales para ayudar a mantener el equilibrio. Gracias a la información proveniente del órgano de equilibrio podemos caminar, efectuar giros y agacharnos sin perder la estabilidad. (Fig. 1.11).



Figura 1.11 Al caminar y mover la cabeza los conductos semicirculares envían información al cerebro para realizar ajustes en el equilibrio. Crédito: Thomas 87

EL SISTEMA VESTIBULAR CENTRAL

El sistema vestibular cerebral o central actúa como estación de relevo e integración para las señales provenientes de la visión, el oído interno y los receptores propioceptivos. Sus dos áreas principales son los núcleos vestibulares, ubicados en el tronco encefálico, y el cerebelo (Fig. 1.12).

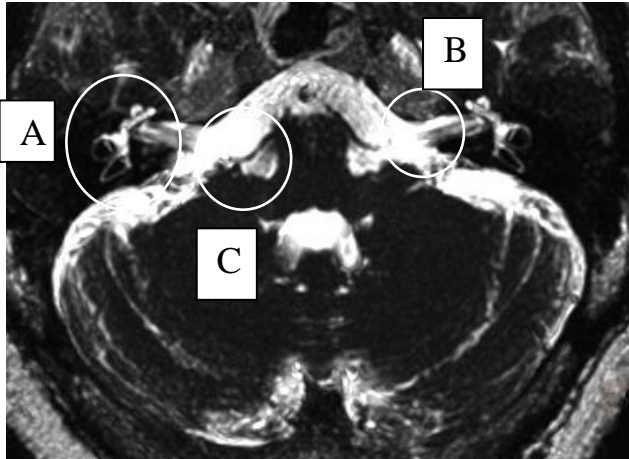


Figura 1.12 Imagen de resonancia nuclear magnética donde se observan: A) los conductos semicirculares B) el nervio vestibular y C) su entrada a la base del cerebro. Crédito: Adaptado de Nevit Dilmen.

Cuando nos desplazamos, el cerebro recibe información simétrica de los distintos sensores de movimiento (laberinto, visión y propiocepción). Por ejemplo al caminar por una playa, los sensores propioceptivos de nuestros pies y la visión envían información al sistema vestibular central que estamos caminando sobre una superficie blanda, irregular y ligeramente inclinada. A su vez el oído interno envía información que nuestra cabeza está en movimiento trasladándose hacia adelante. La combinación de los tres sistemas genera una sensación normal de movimiento y nos permite desplazarnos sin perder el equilibrio (Fig. 1.13).¹



Figura 1.13 Para que podamos caminar sobre una playa nuestro cerebro debe coordinar la información proveniente de la visión, el oído interno y los pies. Crédito: Laubenstein Karen.

El sistema vestibular central utiliza la información proveniente de los receptores de movimiento para:

- 1) Percibir el movimiento
- 2) Generar movimientos posturales compensatorios
- 3) Generar movimientos de oculares

1) LA PERCEPCIÓN DEL MOVIMIENTO

Los núcleos vestibulares en la base del cerebro proyectan a áreas sensitivas de la corteza cerebral donde se genera la sensación de movimiento. A medida que nos desarrollamos y empezamos a movernos, nuestro sistema vestibular central aprende a interpretar las señales provenientes de sus distintos sensores y diferenciar distintas formas y velocidades de movimiento. En nuestra primera infancia, juegos como hamacas, toboganes y calesitas estimulan nuestro cerebro con movimientos a distintas velocidades y aceleraciones y nos permiten generar un mapa interno de nuestro cuerpo y aprender a diferenciar distintas formas de movimiento. De adultos este programa interno nos permite interpretar aceleraciones, movimientos rápidos y desbalances para poder desplazarnos en distintas superficies sin riesgo de caernos.⁶

2) LAS REACCIONES DE EQUILIBRIO Y LOS REFLEJOS VESTÍBULO-ESPINALES

El sentido del equilibrio se desarrolla a través de la experiencia. Tardamos alrededor de un año en dar nuestros primeros pasos y recién a los tres años un niño puede subir escaleras sin sujetarse. Los reflejos vestibulo-espinales permiten mantener el equilibrio al estar de pie y caminar. En el caso de un tropezón o al caminar sobre una superficie inestable, debemos ajustar en forma refleja el tono de nuestra musculatura para recuperar el equilibrio lo más rápido posible. El sistema vestibular central recibe información de los distintos sensores de movimiento y envía señales apropiadas a la musculatura para corregir la postura (Fig. 1.14).¹



Figura 1.14 Los reflejos vestibulo- espinales nos permiten realizar ajustes rápidos para no perder el equilibrio. Crédito: Adam Jones.

3) EL SISTEMA DE EQUILIBRIO Y LOS MOVIMIENTOS OCULARES

El laberinto está estrechamente relacionado con los movimientos oculares. Cuando caminamos nuestra cabeza realiza pequeñas oscilaciones. El laberinto compensa estas oscilaciones enviando señales a nuestros músculos oculares para mover los ojos en sentido contrario a los movimientos de nuestra cabeza, permitiendo mantener la mirada estable. Sin estos impulsos provenientes del oído interno, la visión se nubla al mover la cabeza. Estos movimientos automáticos constituyen el reflejo vestibulo-ocular (Fig. 1.15).⁷ Las personas con pérdidas vestibulares bilaterales, tienen mucha dificultad en estabilizar la mirada cuando están en movimiento (Capítulo 10).



Figura 1.15 El reflejo vestibulo-ocular. El movimiento de la cabeza en una dirección activa un circuito cerebral que genera un movimiento ocular en sentido opuesto (flecha). Este mecanismo permite mantener la visión fija cuando la cabeza está en movimiento.

LOS MAREOS DE ORIGEN VESTIBULAR

Nuestros sensores de movimiento propioceptivos, visuales y laberínticos están sincronizados y envían señales en simultáneo al sistema vestibular central. Al caminar, girar o subir una escalera, recibimos las señales de movimiento de estos 3 sistemas. Por ejemplo al girar la cabeza hacia la derecha, ambos laberintos, los propioceptores del cuello y el sistema visual enviarán señales de giro a derecha, generando una sensación armónica de movimiento.

Los mareos en los trastornos vestibulares reflejan un error en la llegada o procesamiento de la información proveniente de nuestros sensores de movimiento. Estas fallas pueden deberse a una alteración o lesión en los sensores de movimiento (visión, laberinto, propiocepción), en sus proyecciones o a nivel del sistema vestibular central.¹

RESUMEN DEL CAPÍTULO

El aparato de equilibrio recibe información sensitiva de la visión, la propiocepción y el oído interno.

El utrículo y el sáculo ubicados en la parte central del vestíbulo contienen células sensoriales cubiertas por cristales de carbonato de calcio denominados otolitos, que nos dan sensibilidad a la gravedad y las aceleraciones.

Los conductos semicirculares contienen células sensibles a la velocidad y su disposición en tres planos nos permiten identificar la dirección y velocidad de las rotaciones de la cabeza.

La información vestibular permite percibir el movimiento y generar reflejos para equilibrarnos y mantener la vista estable al trasladarnos.

Una distorsión o asimetría en como recibimos la información proveniente de los distintos sensores de movimiento puede generar mareos, vértigo e inestabilidad.

REFERENCIAS

- 1) Baloh RW, Vicente Honrubia Y, en Baloh and Honrubia's Clinical Neurophysiology of the Vestibular System, Fourth Edition (Contemporary Neurology Series) 4th Edition 2011 Oxford University Press
- 2) Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, et al. Central Vestibular Pathways: Eye, Head, and Body Reflexes. Neuroscience. 2001.2nd edition. Sunderland Sinauer Associates.

- 3) Guerraz M, Yardley L, Bertholon P, Pollak L, Rudge P, Gresty MA, Bronstein AM. Visual vertigo: symptom assessment, spatial orientation and postural control. *Brain*. 2001 Aug; 124(Pt 8):1646-56.
- 4) Røijezon U, Clark NC, Treleaven J, Proprioception in Musculoskeletal Rehabilitation. Part 1: Basic Science and Principles of Assessment and Clinical Interventions, *Manual Therapy*. 2015 Jun;20(3):368-77
- 5) Khana S, Chang R. Anatomy of the vestibular system: A review. *Neurorehabilitation*. 2013 May 32(3):437-43
- 6) Brandt T, Dieterich M. *Ann N Y Acad Sci*. The vestibular cortex. Its locations, functions, and disorders. 1999 May 28; 871:293-312.
- 7) Bronstein AM, M Patel, and Q Arshad: A brief review of the clinical anatomy of the vestibular-ocular connections—how much do we know? *Eye (Lond)*. 2015 Feb; 29(2): 163