

**Antecedentes y avances tecnológicos en el funcionamiento y exploración  
del sistema vestibular**

Background and technological advances in the functioning and exploration  
of the vestibular system

Eulalia Alfonso Muñoz<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Hospital Militar Central "Dr. Carlos J. Finlay". La Habana, Cuba.

\* Autor para la correspondencia. eulaliaam@infomed.sld.cu

**RESUMEN**

El sistema vestibular es complejo en estructuras y en su funcionamiento, integra muchos aspectos anatómicos, fisiológicos, neurológicos, desde el órgano periférico, las vías y los centros hasta la corteza. En su función intervienen elementos bioeléctricos, neurotransmisores, electrolitos que le dan al proceso un carácter integrador, esto unido a otros sistemas, envía información al sistema nervioso central para el mantenimiento del equilibrio y la postura dinámica y estática del cuerpo. El objetivo de este trabajo es brindar información sobre la exploración, la clínica y las investigaciones necesarias a realizar en pacientes con enfermedad vestibular. Desde sus antecedentes hasta la aplicación de nuevas tecnologías, con el afán de que puedan ser comprendidas y puestas en práctica por todos los interesados en estos temas.

**Palabras clave:** electronistagmografía; sistema vestibular; sistema nervioso.

**ABSTRACT**

The vestibular system is complex in structures and in functioning. It integrates many anatomical, physiological, neurological aspects, from the peripheral organ, the pathways and centers to the cortex. Its function involves bioelectric elements, neurotransmitters and electrolytes, which give the process an integrating character. The vestibular system together with others, sends information to the central nervous system to maintain balance and static,

and dynamic body posture. The objective of this study is to provide information on the exploration, clinical and research that are necessary to perform in patients with vestibular disease. In an effort these issues can be understood and implemented by all the interested parties, new technologies used in treatment are offered from the background to the application.

**Keywords:** electronystagmography; vestibular system; nervous system.

Recibido: 14/01/2019

Aprobado 12/02/2019

## INTRODUCCIÓN

El aparato vestibular está constituido por un órgano periférico, el laberinto posterior y unas vías y centros troncoencefálicos que proyectan y reciben numerosas conexiones, la mayoría subcorticales. Los elementos del aparato vestibular no se pueden explorar separadamente, pues las estructuras de un lado son dependientes del contralateral, pero a su vez antagónicas.<sup>(1)</sup>

Los órganos sensoriales vestibulares se comportan como acelerómetros, las crestas ampollares en los conductos semicirculares perciben la aceleración y desaceleración angular y las máculas acústicas en el utrículo y el sáculo las lineales y la posición de la cabeza con respecto al eje de gravitación, juegan un papel fundamental en este proceso las células neurosensoriales (ciliadas) encargadas de la excitación y repolarización, rigen toda la actividad eléctrica que ocurre en este sistema.<sup>(2,3)</sup>

La exploración vestibular va desde un minucioso examen físico, hasta una serie de pruebas complementarias muy sofisticadas y complejas, que jamás sustituyen al método clínico, solo lo complementan, por tanto, únicamente pueden ser realizadas e interpretadas por médicos con un conocimiento exacto de anatomía y fisiología del sistema vestibular, y una experiencia asistencial probada en estos aspectos.

El propósito de este trabajo es brindar información que permita el conocimiento del desarrollo del sistema vestibular hasta el advenimiento de las nuevas tecnologías.

## DESARROLLO

Los primeros pasos en la investigación de la fisiología de los conductos semicirculares (CS) fueron dados por *Flourens* en 1824, el cual demostró en animales su existencia y los efectos de su sección, observando alteraciones en los movimientos de la cabeza y del cuerpo que siempre ocurrían en el plano espacial correspondiente al conducto seccionado. A este hecho se le llamó "Ley de Flourens". Además, describió que dichas lesiones producían movimientos rítmicos en los globos oculares.<sup>(2)</sup>

Medio siglo más tarde y casi simultáneamente, *Breuer* en Viena, *Mach* en Praga y *Crum-Brown* en Edimburgo, propusieron una teoría de la función laberíntica, conocida como hidrodinámica, donde sugerían que los CS y sus crestas ampollares funcionan como receptores a los movimientos rotatorios, o sea, a aceleraciones positivas y negativas, no habiendo respuestas mientras la velocidad de movimiento fuera constante.<sup>(3,4)</sup>

*Ewald* en 1892, llevo a cabo empíricamente los principios funcionales hidrodinámicos (movimientos endolinfa/cúpula), de actividad eléctrica (impulsos/segundos), de simetría funcional en el reposo y de información coordinada bilateral en el movimiento y los expresó en sus tres leyes.<sup>(5)</sup>

1. El componente lento del nistagmo es de origen vestibular y sigue la dirección de la endolinfa, el rápido es de carácter compensador.
2. En los CS horizontales, el movimiento endolinfático ampulípeto (hacia el utrículo) es excitador y el ampulífugo (en sentido opuesto) es inhibitorio, en los CS verticales es lo contrario, el movimiento endolinfático más eficaz es el ampulífugo.
3. El movimiento más eficaz induce un movimiento de los ojos y la cabeza en su mismo sentido

*Steinhausen* desde 1927 hasta 1939 realizó en animales investigaciones fundamentales sobre el funcionamiento de los CS, el movimiento de sus líquidos y las características de la cúpula, además propuso la teoría de la inercia en respuesta al movimiento de estos. *Ross* en 1936 también en animales, demostró la existencia de los potenciales de acción en fibras del nervio vestibular, también evidenció el comportamiento de los líquidos vestibulares en respuesta a movimientos de rotación y los órganos otolitos a fuerzas gravitacionales y aceleraciones lineales.<sup>(6,7)</sup>

A consecuencia de los viajes en modernos medios de transporte a altas velocidades (aviones de combate, capsulas espaciales) o aceleraciones en diferentes planos en medios mecánicos de distracción, se ha observado un fenómeno que se ha denominado efecto coriolis. Este se

manifiesta cuando la cabeza es sometida a dos aceleraciones angulares simultáneas y en diferentes planos espaciales, produciendo síntomas y signos de una intensidad aparentemente desproporcionada a la magnitud del estímulo vestibular. Esto sucede, por las presiones que la endolinfa ejerce en las cúpulas de dos o tres CS, produciendo estimulaciones positivas o negativas anormales de los laberintos, enviando al sistema nervioso central un mensaje incongruente o información conflictiva que este no puede interpretar.<sup>(3,8)</sup>

*Benítez y Martínez* en 1974 demostraron que cuando la aceleración es alrededor del eje vertical, existe excitación de ambos CS verticales de un lado y el horizontal del otro lado, siendo inhibidos los restantes.<sup>(9)</sup>

*Wersall* en 1956 y más tarde *Lorente* describieron dos tipos de células ciliadas en los epitelios de las crestas: el tipo I que está inervada por una sola fibra aferente gruesa y parece estar implicada en el reflejo de mantenimiento de la postura y las células tipo II que reciben varias fibras eferentes y parecen corresponder a los reflejos vestibulo-oculares. Estas células actúan mediante neurotransmisores excitadores (glutamato) o inhibidores (GABA), pero las células que son estimuladoras también tienen terminales inhibidores que se piensa provienen del oído opuesto o del cerebelo.<sup>(1,10)</sup>

*Gacek y Lyon* en 1974 apreciaron que existe un sistema de fibras eferentes que tienen sus somas en un área circunscrita localizada entre el núcleo del VI par y el núcleo vestibular lateral. Cada laberinto recibe fibras directas y cruzadas que al llegar a los neuroepitelios forman terminaciones grandes que hacen contactos posinápticos en las células tipo I y presinápticos en las tipo II, el mediador químico es posiblemente la acetilcolina.<sup>(3,11)</sup>

Estudios experimentales precisos de los movimientos oculares comenzaron con *Yarbus* en 1967, aunque mucho antes *Flourens, Ewald y Hallpike* (1952) lo asociaban a la función laberíntica e hicieron grandes aportes en estos temas, todos coinciden desde esos tiempos hasta la fecha, en que el nistagmo vestibular es un movimiento rítmico en vaivén que ocurre en ambos globos oculares simultáneamente, que tiene un componente lento, que consiste en una desviación pausada de la mirada, en el mismo sentido de las desviaciones segmentarias y la lateropulsión, hacia el laberinto hipovalente, seguido de un componente rápido o de recuperación que devuelve bruscamente la mirada al punto inicial.<sup>(3)</sup>

El origen del nistagmo vestibular, especialmente en su fase rápida debe buscarse en el tallo cerebral, en una zona cuyos límites son los núcleos oculomotores del tercer nervio rostralmente y la porción más caudal de los núcleos vestibulares como límite inferior. Esto

no excluye el papel de la sustancia reticular en la modulación nistagmica y en su integración con otros sistemas, tanto aferentes como eferentes.

El componente lento es la expresión del trastorno vestibular, dirige los ojos al lado enfermo, pues el laberinto del lado sano empuja más, rompiendo la simetría, el componente rápido es la respuesta compensadora central, que ocurre para que el globo ocular vuelva a la posición inicial, recuperando la visión del objeto al que se miraba.<sup>(1,12)</sup>

*Alexander* adoptó la clasificación de dividirlo en tres grados (nistagmo vestibular periférico); el primer grado es aquel en que el nistagmo aparece solamente cuando el paciente desvía la mirada hacia el lado del componente rápido, el segundo grado es cuando aparece tanto con la mirada desviada al componente rápido como en la posición de reposo, al frente, el tercer grado aparece (con dirección fija desde luego), cuando se mira a todas las posiciones de los ojos, pero siempre aumenta en intensidad al mirar hacia el lado del componente rápido y disminuye hacia el lado del componente lento (Ley de Alexander).

El nistagmo espontáneo periférico es transitorio, aunque la lesión haya sido irreversible va disminuyendo de amplitud hasta su desaparición. Esta vuelta a la normalidad se explica por el hecho de que los núcleos vestibulares centrales del piso del IV ventrículo (cuerpos celulares de la segunda neurona vestibular) asumen la función del laberinto destruido, compensando el desequilibrio tónico resultante del predominio del sistema vestibular opuesto.<sup>(13)</sup>

El nistagmo vestibular por lesión central (de las vías) puede ser vertical, horizontal o rotatorio y puede originarse en cualquier lugar entre los núcleos vestibulares (protuberancia) y el tálamo, no se compensa y persiste indefinidamente si la lesión que lo provocó es irreversible. El nistagmo vertical y rotatorio puro nunca son periféricos.

*Barany* (1921) describió el nistagmo de posición precisando que es aquel que aparece únicamente cuando la cabeza adopta determinadas posiciones en el espacio, sus características informan si es central o periférico. *Schucknecht* (1969) lo asoció con restos de otoconias libres dentro de los conductos semicirculares y con esto estaba naciendo la teoría de canalitiasis y cupulolitiasis en la génesis de este proceso.<sup>(3,14)</sup>

*Dix* y *Hallpike* en 1952 enfatizan el carácter paroxístico del nistagmo y su curso benigno y lo denominan nistagmo posicional paroxístico benigno, es breve, transitorio, con componente rápido hacia el oído que queda abajo y siempre se acompaña de vértigo.<sup>(2)</sup>

*Cawthorne* plantea; si es de origen central aparece inmediatamente que la cabeza alcanza la posición determinada, no tiene latencia y no se fatiga, persistiendo el nistagmo mientras la

cabeza esté en esa posición. *Nylen* lo tipifica en tres grupos; Tipo I cuando la dirección cambia con la posición de la cabeza, el tipo II el nistagmo bate siempre hacia la misma dirección cualquiera que sea la posición de la cabeza, y el tipo III el nistagmo cambia tanto en forma como en posición, solo el tipo II es periférico.<sup>(2)</sup>

La prueba complementaria más objetiva para el estudio del nistagmo es la electronistagmografía, que permite estudiar cuali-cuantitativamente las diversas alteraciones de los movimientos de los ojos ante determinados estímulos. En el globo ocular existe un potencial eléctrico de reposo, la córnea tiene carga positiva y la retina negativa, con los movimientos oculares ocurren variaciones en este potencial eléctrico, que pueden registrarse colocando electrodos en las zonas periorbitarias. Con este estudio se consideran parámetros como; latencia, frecuencia, duración, amplitud, velocidad y dirección del nistagmo.<sup>(2,3)</sup>

En 1880 *Brown* observó que la introducción de agua fría en el conducto auditivo externo provocaba vértigo, este fenómeno fue evaluado exhaustivamente por *Barany* en 1905 quien describió las reacciones del aparato vestibular ante estímulos calóricos. Los fenómenos que ocurren se explican conociendo como se originan las corrientes de convección.<sup>(1)</sup>

Si en un sujeto colocamos el CS horizontal verticalmente (decúbito supino con la cabeza flexionada 30 grados) con la ampolla situada en el extremo superior, el enfriamiento de la pared del CS horizontal origina una corriente endolinfática hacia abajo (ampulifuga), el calentamiento crea una corriente hacia arriba (ampulipeta). Solo resta aplicar las leyes de Ewald.<sup>(3,4,5)</sup>

La prueba bicalórica brinda datos incuestionables en el estudio del sistema vestibular, es muy objetiva, muy precisa, por que estimula cada laberinto independientemente.

La prueba rotatoria preconizada por *Barany* es útil también para el estudio del sistema vestibular, pero tiene el inconveniente que estimula ambos laberintos simultáneamente, su valor es fundamental en niños, pacientes que tienen falta de integridad en la membrana timpánica y enfermos mentales.

El test pendular de *Greiner*, donde se realizan movimientos alternativos de giro a derecha e izquierda, brinda datos útiles en la clínica, relativos a la frecuencia del nistagmo y el umbral de la respuesta nistágmica.

Los exámenes para valorar la función de los CS son comunes (rotatorios, bicalóricos), mientras que para valorar la función otolítica son escasos.

Los potenciales evocados vestibulares miogénicos (PEVM) constituyen un test clínico que evalúa la función vestibular a través de un reflejo disináptico vestibulo-cervical, es un

registro electromiográfico de inhibición de la actividad contráctil máxima voluntaria de los músculos esternocleidomastoideos (ECM) en respuesta a una estimulación acústica de alta intensidad. Fueron descritos por primera vez por *Colebatch* y *Halmagy* en 1992, son una respuesta de corta latencia, evocada con un pulso breve (click) que evalúa la función del sáculo y del nervio vestibular inferior, es un potencial inhibitorio que depende de la tonicidad del músculo esternocleidomastoideo ipsilateral y se relaciona con la función de la mácula sacular, es una medición electromiográfica del ECM. Representa la vía vestíbulo espinal.<sup>(7)</sup>

Por otra parte, la videonistagmografía (VNG) se ha incorporado al arsenal de pruebas complementarias en el estudio del sistema vestibular. Es un sistema computarizado que utiliza el principio de captación de los movimientos oculares por medio de sensores infrarojos colocados en unas gafas o en una máscara. Los movimientos oculares son visualizados en un monitor de video, grabados y enviados a un computador.<sup>(1,8)</sup>

En la VNG, la calibración depende del diámetro ocular y de la distancia entre el ojo y la cámara. Estos dos factores no varían a lo largo del tiempo de estudio, lo cual hace innecesario calibrar repetidas veces el equipo. Si la cámara pierde la posición adecuada, como ocurre durante las pruebas posicionales, tan solo es necesario reposicionarla, ventaja que tiene sobre la electronistagmografía (ENG), además permite el estudio de los movimientos oculares rotatorios y oblicuos. No sustituye a la electronistagmografía, se complementan.

La VNG es un método computarizado que no utiliza electrodos, emplea una fuente de luz infrarroja invisible para el ojo humano, que tiene la capacidad de gravar los movimientos oculares en cualquier condición de iluminación ambiental, inclusive en completa oscuridad. Emplea procesamiento de imagen digital. La ENG y la VNG son procedimientos no invasivos y bien tolerados.

La ENG no está indicada en pacientes ciegos con potencial córneo-retina pobre, y es incapaz de detectar movimientos oculares muy pequeños, estas limitaciones son superadas por la observación directa de los ojos en la VNG.

Más recientemente aparece el test de impulso cefálico (HIT), las bases teóricas de esta prueba fueron descritas por *Halmagyi* y *Curthoys* en 1988, ellos evidenciaron en aquel momento a ojo desnudo, que la medida estándar de la función vestibular periférica es la ganancia del reflejo vestíbulo ocular (VOR), que es el cociente entre la velocidad de la cabeza y la del movimiento con que el globo ocular responde para fijar la mirada, su valor

debe ser 1, lo que supone que ambos movimientos tienen velocidades iguales, aunque en direcciones contrarias.<sup>(15)</sup>

Este test consiste en movimientos pasivos e impredecibles de la cabeza, de pequeña amplitud (15 grados), de alta velocidad y de gran aceleración, en el plano de los canales semicirculares paralelos entre sí, de ambos laberintos (tanto en el plano horizontal como vertical).

Frente a un estímulo, el sistema vestibular responde de dos maneras antagónicas, estimulación e inhibición. El HIT se basa eminentemente en esta asimetría de la respuesta del sistema canalicular, que se explica por la diferencia en la tasa de descarga neuronal que existe entre la excitación e inhibición de dos canales coplanares a partir de la tasa de descarga de reposo o basal.

Sin sustituir otras pruebas vestibulares es una herramienta útil para el estudio del sistema oculomotor, permite medir la función de todos los conductos semicirculares de forma sencilla, con estímulos fisiológicos y en un tiempo permisible en cualquier consulta externa. El HIT por tanto evalúa la función angular de los canales semicirculares, obviando la función lineal que realizan los órganos otolíticos, el utrículo y el sáculo.

Se concluye este trabajo resaltando la importancia del conocimiento de todos los procesos fisiológicos que ocurren en el funcionamiento de las vías vestibulares para enfrentar los retos que impone el advenimiento de las nuevas tecnologías y la actuación adecuada cuando se rompe el equilibrio de todo este sistema. En la última década, la otoneurología ha tenido una profunda evolución, marcada por la investigación, que ha incorporado no solo procedimientos diagnósticos y terapéuticos sino ha permitido la introducción de nuevos conceptos avalados por la experiencia asistencial, si con este reporte la autora logra interesar a los profesionales de su especialidad en estos temas el esfuerzo no fue en vano.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gil L, Vallejo L, Gil E. Otología. 2da Ed. Universidad de Valladolid. Madrid. España. 2004.
2. Rivas J, Ariza H. Tratado de otología y audiología. Diagnóstico y tratamiento médico quirúrgico. Bogotá. Colombia. 2007.
3. Corvera J. Neurootología Clínica. Salvat Mexicana de Ediciones. 1982.

4. Guth P, Perin P, Norris C, Valli P. The vestibular hair cells post transductional signal processing. *An. Neurobiol.* 2015;54:193-247.
5. Hamilton W. The calyceal synapse of type I vestibular hair cells. *J. Ultrastruct.* 2015;23:98-114.
6. Harper A, Blythe W, Grossman G, Petrusz P, Prasma J, Pillsbury HC. Immunocytochemical localization of aspartate and glutamate in the peripheral vestibular system. *Hearing Research.* 2016;86:171-82.
7. Akim B. Vestibular evoked myogenic potentials (VEMP) Insights in practice. *Clinical Topics in Otoneurology USA.* 2014[acceso: 12/01/2017] [aprox.12 pág.]. Disponible en: <http://www.bsure4balance.com>
8. Barber E. *Manual of electronystagmography.* 2nd edition. St. Louis. USA. 2014[acceso: 16/11/2017] [aprox. 56 pág.]. Disponible en: <http://www.mosby.com>
9. Brandt L. *Vertigo: its multisensory syndromes.*—2nd edition. Springer-Verlag. London. UK. 2016[acceso: 18/03/2016] [Aprox.12 pág.]. Disponible en: <http://www.springer>
10. Cass M, Stephen P. Evaluation and management of dizziness. *Clinical Topics in Otoneurology. Otométrics.* 2013[acceso: 19/11/2016] [Aprox.12 pág.]. Disponible en: <http://www.bsure4balance.com>
11. Claussen C. *Otoneuro-ofthalmologia. Modernas Técnicas Topodiagnósticas y Terapéuticas.* Springer-Verlag. London. 2012[acceso: 19/11/2016] [Aprox.80 pag.]. Disponible en: <http://www.springeronline.com>
12. Goebel L. *Practical management of the dizzy patient.* Ed. Williams & Wilkins. Philadelphia, USA. 2015[acceso: 26/11/2016] [Aprox.16 pág.]. Disponible en: <http://www.lww.com>
13. Kayan B, Scoth S. *Adult Audiology. Diagnostic tests of balance.* *Otolaryngology.* London. 5th. Edition 2015;9(2):18-36.
14. Lange S. *Vestibular Function Tests.* Saunders Company Philadelphia. USA. 2014[acceso: 26/10/2016] [Aprox.26 pág.]. Disponible en: <http://www.appletonlange.com>
15. Yip C, Glaser M, Frenzel C, Bayer O, Strupp M. Comparison of the Bedside Head-Impulse Test with the Video Head-Impulse Test in a Clinical Practice Setting: A Prospective Study of 500 Outpatients. *Front Neurol.* 2016;20(7):58-61.

#### **Conflicto de intereses**

La autora declara que no existe conflicto de intereses.