



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Utilidad del Video Head Impulse Test en Población Infantil: Valores Normales y sus Alteraciones en la Patología más Frecuente

María Rosana Rodríguez Villalba

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tdx.cat) i a través del Dipòsit Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX ni al Dipòsit Digital de la UB. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX o al Dipòsit Digital de la UB (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tdx.cat) y a través del Repositorio Digital de la UB (diposit.ub.edu) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR o al Repositorio Digital de la UB. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR o al Repositorio Digital de la UB (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tdx.cat) service and by the UB Digital Repository (diposit.ub.edu) has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized nor its spreading and availability from a site foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service or to the UB Digital Repository is not authorized (framing). Those rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



UNIVERSITAT DE
BARCELONA



Título: Utilidad del Video Head Impulse Test en Población Infantil: Valores Normales y sus Alteraciones en la Patología más Frecuente.

“Memoria de tesis doctoral presentada por M Rosana Rodríguez Villalba para optar al grado de doctora por la Universidad de Barcelona”.

Dirigida por Miguel Caballero Borrego, Doctor en Medicina y profesor asociado de la Facultad de Medicina de la Universidad de Barcelona.

Programa de Doctorado Medicina e Investigación Traslacional.

Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud. Universidad de Barcelona.

Diciembre de 2023.

A mi abuela y a mi hijo

A mi hermana Laura y a mi hermano Ángel, por su apoyo

A mis pacientes y a mi tutor el Dr. Miguel Caballero Borrego, por orientarme en este camino inesperado de la otoneurología

Ninguna institución ha proporcionado financiación económica para la realización de esta investigación.

Índice de secciones de la tesis

Introducción.....	12
Anatomía y Fisiología Vestibular.....	13
Exploración física del paciente con vértigo.....	22
Exploración instrumental del paciente con vértigo.....	27
Pruebas calóricas.....	27
Potenciales Vestibulares Miogénicos Evocados (VEMPs).....	27
Bobina Escleral.....	28
Video Head Impulse (vHIT).....	28
Aspectos fisiológicos en los que se basa el vHIT.....	31
Consideraciones generales sobre la patología vestibular en niños.....	37
Hipótesis.....	42
Objetivos.....	45
Material, métodos y resultados.....	48
Resumen del primer artículo.....	49
Primer artículo.....	50
Resumen del segundo artículo.....	55
Segundo artículo.....	56
Discusión.....	64

Conclusiones.....82

Bibliografía.....84

Referencias bibliográficas.....85

Referencias de figuras y tablas.....93

Tesis en formato de compendio de publicaciones

La tesis consta de un objetivo, que es validar de forma cuantitativa las ganancias en diferentes grupos de edad en la población infantil sana y en las patologías más frecuentes, y de dos artículos:

- 1) **Rosana Rodríguez-Villalba**, Miguel Caballero-Borrego, Vanessa Villarraga, Victoria Rivero de Jesús, María Antonia Claveria, Oliver Haag. Vestibulo-ocular reflex assessed with Video Head Impulse Test in children with Vestibular Migraine: Our experience. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology, 2020, Volumen 137, <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110161>. Factor de Impacto (SJR) 0,631 Q2.
- 2) **Rosana Rodríguez-Villalba**, Miguel Caballero-Borrego. Normative values for the video Head Impulse Test in children without otoneurologic symptoms and their evolution across childhood by gender. European Archives of Oto-Rhino-Laryngology, 2023, <https://doi.org/10.1007/s00405-023-07900-6>. Factor de Impacto (SJR) 0,857

Para cada uno de los artículos (*) debe proporcionarse el factor de impacto y el cuartil (del año de publicación, o en caso de no estar disponible, usar el inmediato anterior) según los clasificadores Journal Citation Report (JCR), o Scimago Journal Rank (SJR).

Title	Type	↓ SJR	H index	Total Docs. (2020)	Total Docs. (3years)	Total Refs. (2020)	Total Cites (3years)	Citable Docs. (3years)	Cites / Doc. (2years)	Ref. / Doc. (2020)
46 International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology	journal	0.631 Q2	87	660	1371	18646	2173	1322	1.53	28.25 
17 European Archives of Oto-Rhino-Laryngology	journal	0.857 Q1	83	742	1572	20951	4454	1430	2.90	28.24 

Introducción

El vértigo y el mareo son síntomas que se presentan frecuentemente en la infancia y la adolescencia. [1–5] En los últimos años, ha crecido el interés por la evaluación de la función vestibular en niños, principalmente motivada por el advenimiento del implante coclear, especialmente el implante coclear bilateral simultáneo, con el consecuente riesgo de disfunción vestibular bilateral. [6]

Para comprender la indicación y lo que evalúan las pruebas vestibulares, es necesaria la comprensión de la fisiología del sistema vestibular.

Anatomía y Fisiología vestibular

Cada oído tiene cinco receptores vestibulares: tres canales semicirculares y dos receptores otolíticos perpendiculares entre sí: el utrículo y el sáculo. Cada canal semicircular tiene forma de un círculo casi completo, que se cierra en el utrículo. Las neuronas de los conductos semicirculares se encuentran en la ampolla, que corresponden a la porción dilatada de cada conducto. Estas neuronas reposan sobre la cresta, compuesta por tejido conectivo que forma prolongaciones llamadas estereocilios incluidas en la cúpula. Al hacer un giro cefálico en el plano de alguno de los canales, se genera una corriente de endolinfa que causa la deflexión de los cilios de las células ciliadas que a su vez causa la apertura y cierre de los canales de iones que hacen que se originen descargas que envían señales a través de las vías vestibulares a la corteza, lo que hace que seamos conscientes de la velocidad y la dirección de nuestros movimientos cefálicos (Figuras 1-4). Los canales semicirculares se encargan de los movimientos angulares cefálicos que ocurren en el plano de cada uno de ellos. Por el contrario, los órganos otolíticos (utrículo y sáculo) detectan las aceleraciones lineales como, por ejemplo, la de la gravedad, que es primordial para la percepción espacial y la postura. Las máculas de los órganos otolíticos poseen tejido conectivo que sirve de sostén a las neuronas que poseen cilios y estereocilios, que son estructuras de mayor tamaño que los cilios. Sobre esta estructura de tejido conectivo descansan los otolitos que son cristales de carbonato

cálcico. Los receptores estimulan al utrículo al efectuarse movimientos en el plano horizontal y al sáculo en el plano vertical.[7]

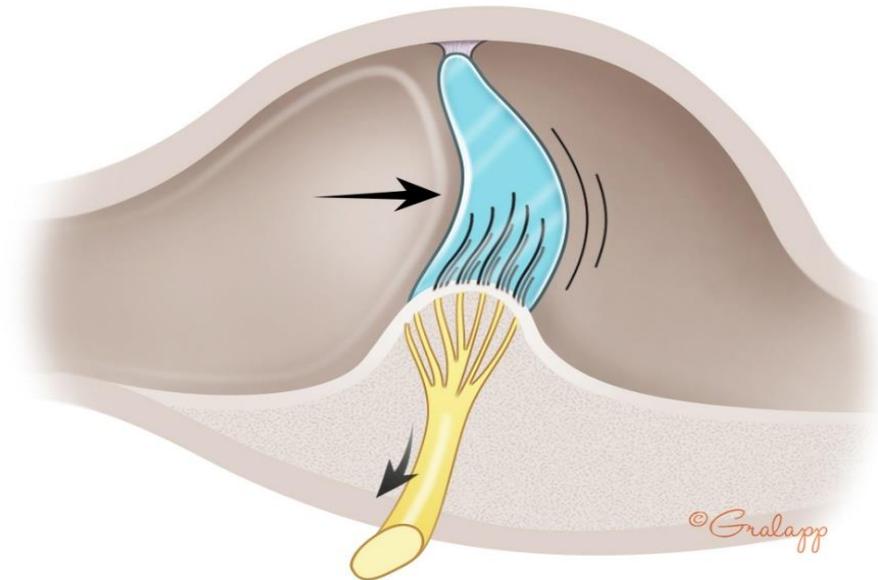


Figura 1. Cúpula doblándose con el movimiento de la endolinfa © (2014) Chris Gralapp, usado con permiso

Las células ciliadas tipo I (que hacen sinapsis con un solo axón) y las de tipo II (en las que un axón hace sinapsis con varias células), que son las neuronas receptoras, tienen cilios móviles y estereocilios en un extremo de ellas. Los movimientos de los cilios hacia el estereocilio despolarizan la célula y los movimientos en el otro sentido la hiperpolarizan. Este movimiento estimula la actividad de los canales de iones, transformando el estímulo mecánico en eléctrico y enviando las señales necesarias al sistema nervioso central. [8]

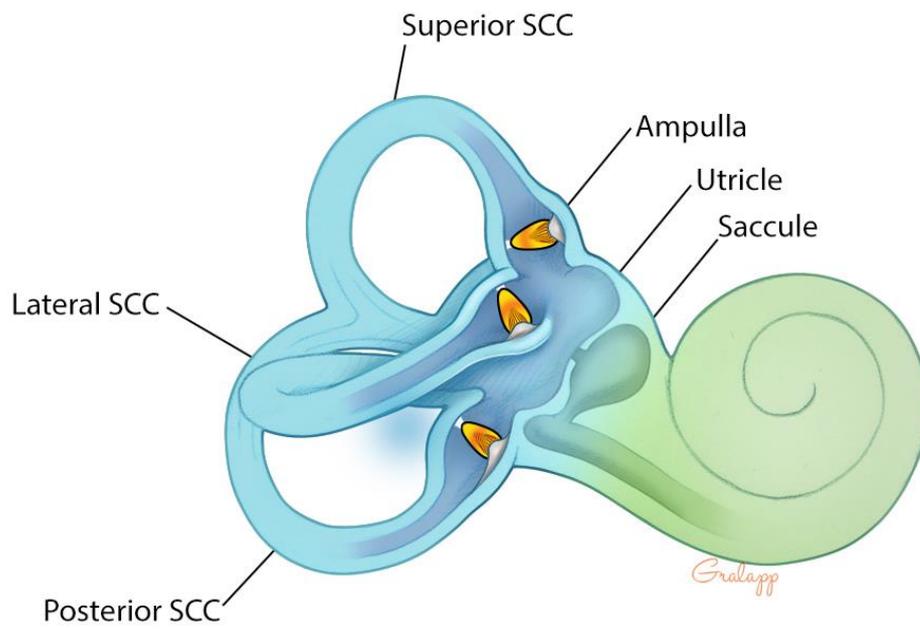


Figura 2. Ampollas de los canales semicirculares © (2016) Chris Gralapp, usado con permiso

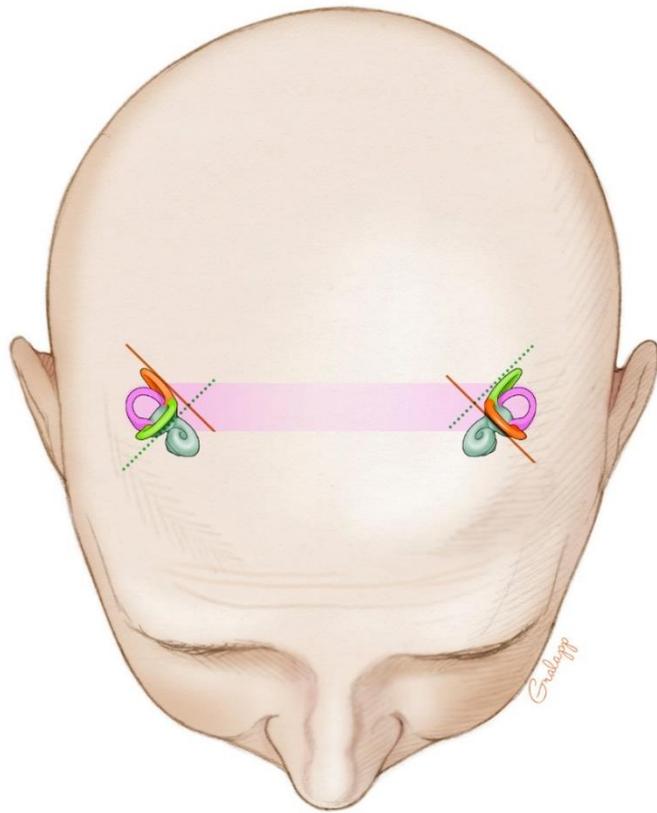


Figura 3. Orientación coplanar de los canales semicirculares © (2016) Chris Galapp, usado con permiso

Estas respuestas fisiológicas son la base de las **Leyes de Ewald**:

- Primera ley de Ewald: las respuestas musculares y nistágmicas tienen la misma dirección que la corriente endolinfática que las provoca.
- Segunda ley de Ewald: en el canal semicircular externo las corrientes ampulípetas serían excitadoras y las ampulífugas inhibitorias. La excitación es más efectiva que la inhibición para cambiar la actividad laberíntica.
- Tercera ley de Ewald: en los canales semicirculares verticales se invierte la segunda ley, es decir, es más activa la corriente ampulífuga que la ampulípetas.

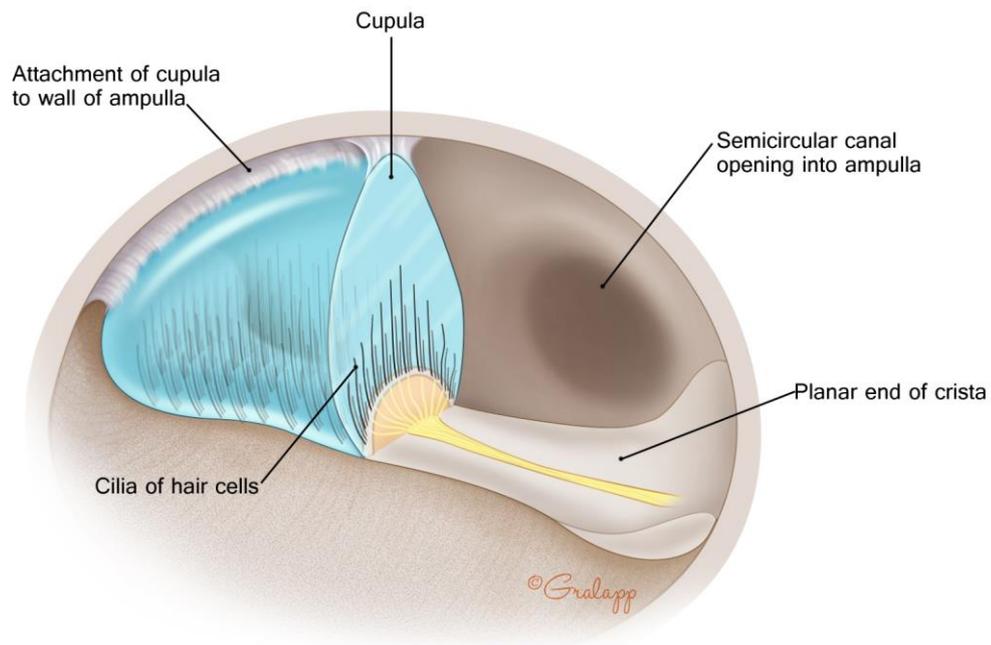


Figura 4. Ampolla de canal semicircular © (2014) Chris Gralapp, usado con permiso

Independientemente de las aceleraciones, basalmente hay un tono vestibular. Cuando hacemos un movimiento con la cabeza al asentir, se estimulan los canales semicirculares anteriores y se inhiben los posteriores, mientras que el movimiento cefálico contrario, estimula los canales semicirculares posteriores e inhibe los anteriores.

Los aferentes del utrículo y de los canales superior y horizontal forman parte del nervio vestibular superior y los aferentes del sáculo y del canal posterior están contenidos en el nervio vestibular inferior. Estos nervios forman parte del VIII par craneal, junto al nervio coclear. Los estímulos que provienen de los canales semicirculares y las máculas viajan por los nervios vestibulares superior e inferior y posteriormente por el VIII par craneal hacia el tronco cerebral. El nervio vestibular se divide en tres ramas (nervio vestibular superior, nervio vestibular inferior y nervio ampular posterior) a la entrada del conducto auditivo interno.

El nervio vestibular superior se forma por la unión de las aferencias provenientes del canal semicircular horizontal y vertical y del nervio utricular. A su vez, el nervio vestibular inferior está formado por aferentes del canal semicircular posterior y por el nervio sacular. El nervio ampular posterior se engrosa formando el ganglio de Scarpa que contiene la primera neurona, después llega al tronco encefálico como nervio estatoacústico y luego se separa en dos raíces: la raíz vestibular y la raíz coclear. La raíz vestibular se divide en dos ramas al llegar al tronco y constituye el tracto vestibular, que acaba en los núcleos vestibulares craneal, caudal, medial y lateral que se encuentran en la porción superior del bulbo y en la protuberancia, donde convergen aferencias de los diversos componentes del sistema vestibular. Los núcleos vestibulares también reciben aferencias espinales (especialmente cervicales) y aferencias propioceptivas provenientes de las articulaciones vertebrales, así como aferencias cerebelosas homolaterales. [9]

Las aferencias que provienen de las crestas ampulares llegan a los núcleos vestibulares y hacen sinapsis con neuronas que a su vez hacen sinapsis con los núcleos oculomotores, formando la vía que se activa en el reflejo vestibuloocular.

Los núcleos vestibulares también hacen sinapsis con las motoneuronas de la asta anterior de la médula espinal, haciendo posible el reflejo vestibuloespinal; así como también hacen sinapsis con los núcleos vagales, responsables del cortejo vegetativo asociado con el vértigo.

El reflejo vestibulocólico se genera por una vía de tres neuronas con conexión a las motoneuronas cervicales, provocando la contracción de los músculos cortos del cuello permitiendo la estabilización de la cabeza en el espacio.

Algunas de las neuronas de los núcleos vestibulares también hacen sinapsis con neuronas en el tálamo y de allí a la corteza asociativa temporoparietal donde se integra la información propioceptiva, visual y vestibular, pudiéndose elaborar la postura y el movimiento tridimensional del cuerpo y sus partes en el espacio (Figura 5).

Esta área cortical es conocida también como la corteza vestibular principal, siendo un tercio de sus neuronas sensibles a los estímulos vestibulares. No se conoce la ubicación exacta de esta área, pero estudios con Resonancia Magnética Nuclear funcional muestran

la activación de la unión temporoparietal durante la estimulación propioceptiva que ocurre durante el movimiento corporal.

Los impulsos que viajan a través de estas vías permiten que se generen reflejos (vestibuloocular, vestibuloespinal y vestibulocólico) que hacen posible el equilibrio, la sedestación, la bipedestación, la estabilización de las imágenes en la retina y, en general, el equilibrio del ser humano.

Los elementos del RVO son: la célula ciliada en el oído interno, la neurona aferente, una interneurona y la neurona eefectora. El RVO se encarga de mantener la estabilidad ocular durante los movimientos cefálicos, lo que mantiene la imagen fija en la fóvea y mantiene la agudeza visual. Los movimientos que realizamos habitualmente son movimientos que combinan diferentes planos, por lo que más de un receptor se ve inhibido o estimulado.

La latencia del RVO es una de las más cortas del cuerpo humano (la demora del movimiento de los ojos con respecto al de la cabeza es de menos de 10 milisegundos).
[10]

Gracias a los tres reflejos antes mencionados, al movernos en el espacio se desencadenan movimientos oculares, cefálicos y corporales de compensación, así como también respuestas autonómicas (variación de presión sanguínea) que permiten el movimiento armónico durante la deambulación y la estabilidad postural.

Las pruebas instrumentales disponibles en la actualidad para la valoración de la función vestibular están basadas principalmente en la evaluación del reflejo vestibulo-ocular (RVO).

Las conexiones de las vías existentes entre el laberinto y los núcleos oculomotores se establecen antes de la semana 24 de gestación. El nervio vestibular es el primer par craneal en completar la mielinización, lo que hace que el sistema vestibular y sus conexiones sean funcionales mucho antes del nacimiento.[11]

Las aferencias del nervio vestibular proyectan a los núcleos vestibulares en el tronco cerebral; estos núcleos juegan un papel importante en la formación de los reflejos motores que dan lugar a los movimientos oculares y rigen la postura corporal. Además de

mantener el objetivo visual en la retina, el RVO hace que los movimientos oculares y cefálicos vayan en concordancia, es decir, cuando la cabeza se gira hacia un lado, los ojos se mueven en la dirección opuesta, ayudando a mantener estable la imagen en la fóvea.

El reflejo vestíbulo-espinal (RVE) se encarga de mantener la postura corporal mientras que los movimientos cefálicos son compensados con cambios en el tono muscular. Los núcleos vestibulares funcionan como un “centro coordinador” de estímulos visuales, propioceptivos y somatosensoriales, garantizando la estabilidad entre el espacio y el cuerpo durante los movimientos.

La representación cortical de estos estímulos es ipsilateral al oído estimulado, pero la respuesta motora es obtenida de forma bilateral.

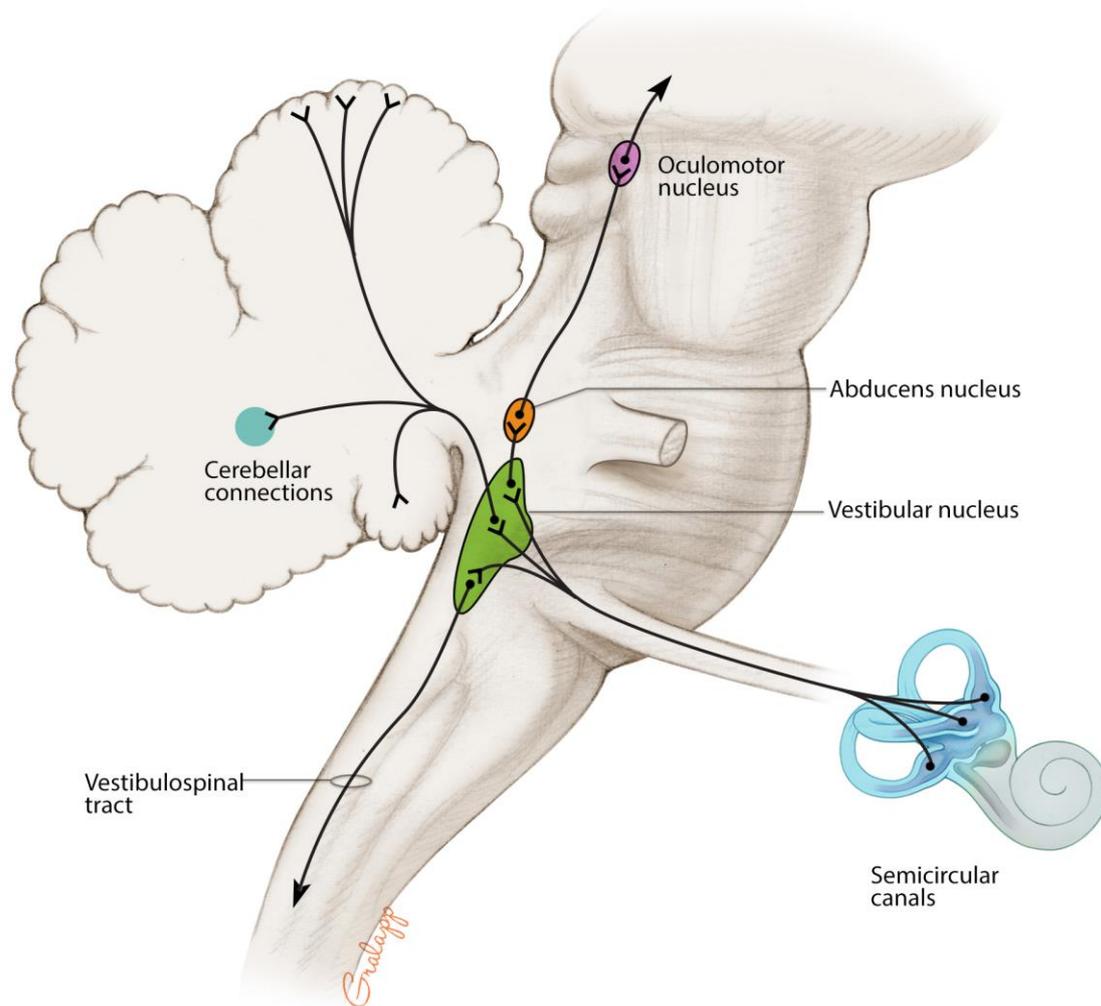


Figura 5. Sistema Vestibular Central y sus conexiones © (2016) Chris Gralapp, usado con permiso

El reflejo vestibulo-ocular (RVO) ya está presente al momento del nacimiento. Las conexiones entre los laberintos y los núcleos vestibulares se forman entre la semana 12 y 24 de gestación. [11] El VIII par craneal es el primero en completar la mielinización y los núcleos vestibulares funcionan de forma muy temprana (a la semana 21 de gestación). La maduración del RVO es progresiva, considerándose patológica la ausencia de éste a los 10 meses de edad. [11, 12]

Exploración física del paciente con vértigo

Además de la anamnesis, debemos hacer una exploración física completa con énfasis en la otoscopia/otomicroscopia y/u otoendoscopia y en la exploración neurológica. Del mismo modo, la audiometría tonal (y en algunos casos, la audiometría verbal) también nos aportan información muy valiosa, aunque los síndromes y enfermedades asociados con hipoacusia son bastante menos frecuentes en niños que en adultos.

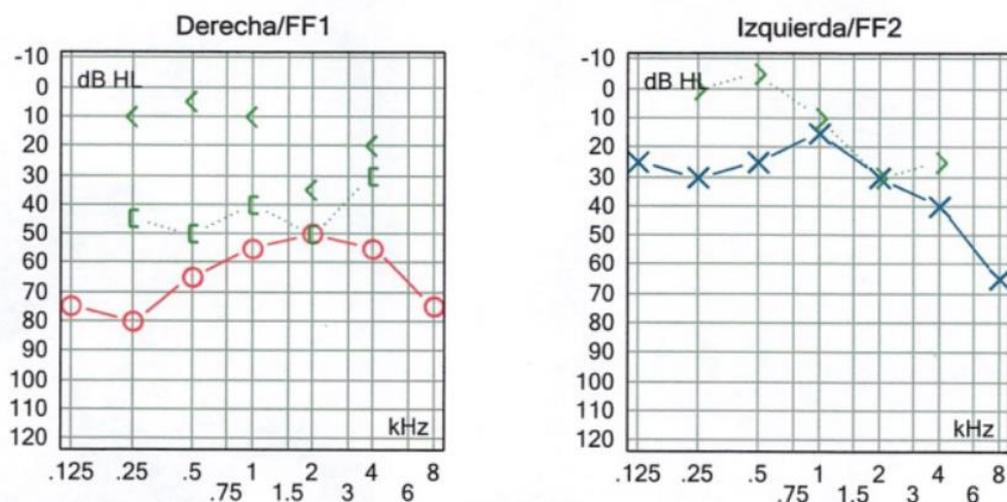


Figura 6. Audiometría de paciente con enfermedad de Ménière derecha (Original de R. Rodríguez Villalba).

En el caso de un síndrome vestibular agudo, la presencia de nistagmo espontáneo es útil para diagnosticar el oído afecto (en caso de que la patología sea de origen periférico) y para hacer diagnóstico diferencial entre síndrome vestibular agudo central o periférico, que es fundamental para valorar el pronóstico y la actuación en urgencias. Las **leyes de**

Alexander, descritas en 1912, se refieren a las características del nistagmo en un déficit vestibular agudo. [13]

- Primera ley de Alexander: la fase rápida del nistagmo espontáneo después de una alteración vestibular aguda se dirige hacia el oído sano. El nistagmo, por convención, recibe el nombre de la fase rápida, por lo que el nistagmo espontáneo se dirige hacia el oído sano.
- Segunda ley de Alexander: el nistagmo es mayor cuando la mirada se dirige hacia el oído sano, se atenúa en la mirada central y puede estar ausente cuando la mirada se dirige hacia el oído afectado.
- Tercera ley de Alexander: el nistagmo espontáneo aumenta cuando se ocluye la visión (por ejemplo, con el uso de gafas de Frenzel). Se suprime normalmente con la fijación de la mirada.

En casos de vértigo que no se encuentra en fase aguda, es más difícil la valoración de los movimientos oculares, ya que no tendremos nistagmo espontáneo.

Para la evaluación de pacientes adultos con vértigo agudo se ha desarrollado el **protocolo HINTS**, que permite descartar un accidente cerebrovascular con una sensibilidad del 95% y mayor fiabilidad que una resonancia magnética en las primeras 24-48 horas.[14] La utilidad de este protocolo no se ha validado en la infancia, pero integra tres exploraciones de función vestibular fácilmente aplicables. Este protocolo consiste en:

1. **Prueba de impulso cefálico (Head Impulse test)**: se pide al paciente que relaje su cabeza en posición neutral y fije la mirada en la nariz del examinador. Gire la cabeza del paciente hacia un lado.

Respuesta normal: El paciente mantiene la mirada fija en su nariz.

Respuesta patológica (indica alteración del sistema vestibular periférico): El paciente presenta un retraso significativo en la fijación de la mirada, con sacadas de corrección.

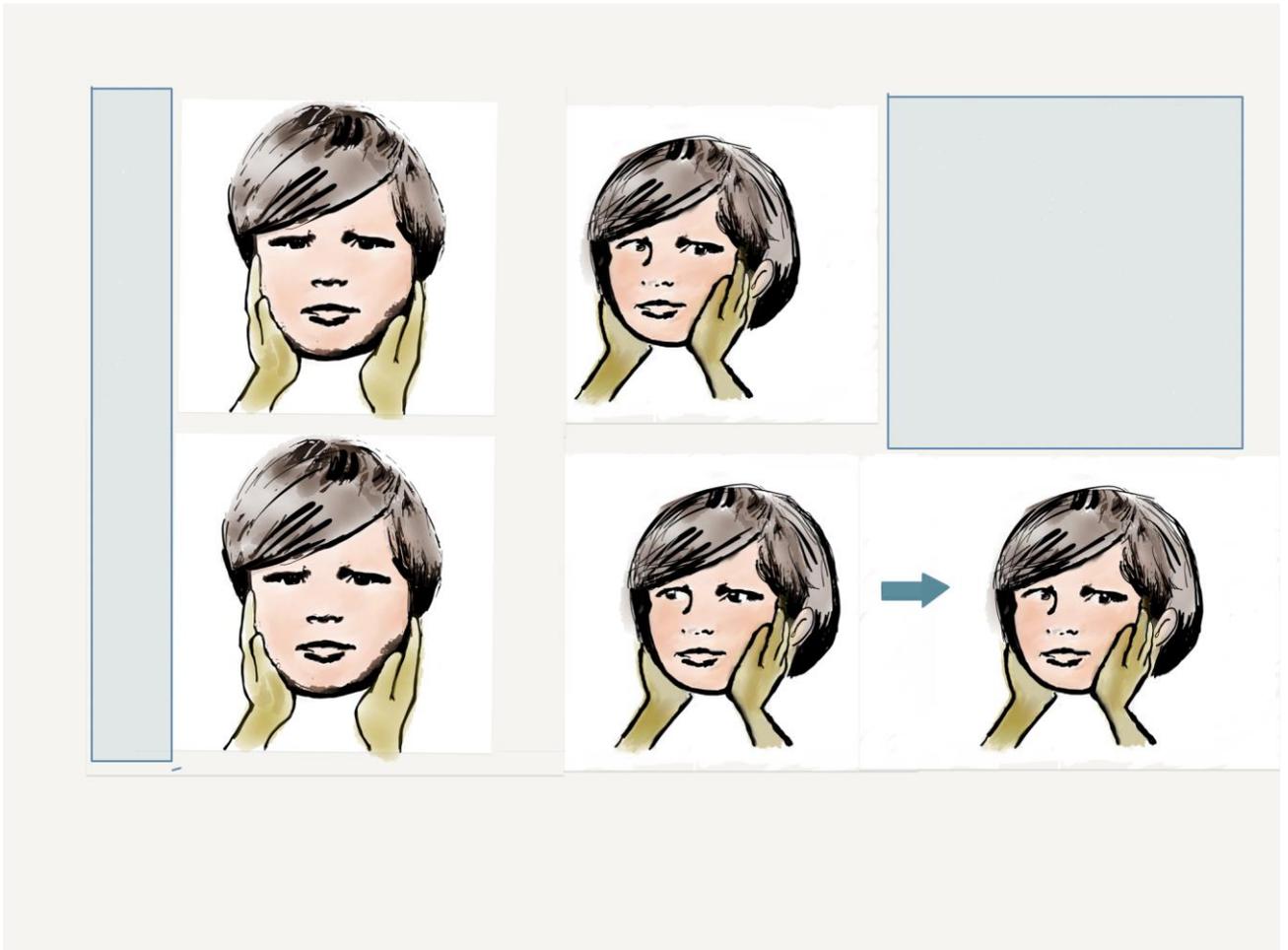


Figura 7. Representación del Head Impulse Test (HIT) (Original de R. Rodríguez-Villalba)

2. **Evaluación del nistagmo espontáneo (Nystagmus Type):** si es vertical, puramente rotatorio o de dirección cambiante indica vértigo central. [13, 15]
3. **Evaluación de la desviación ocular vertical mediante el cover test (Skew deviation test o Prueba de la Desviación Oblícuca):** si aparece desviación ocular indica vértigo central, generalmente relacionado con isquemia de la arteria basilar. La prueba consiste en ocluir de forma alternante uno de los ojos y valorar la alineación entre ambos al destapar el ojo. La prueba se considera positiva cuando se presenta una desalineación vertical.

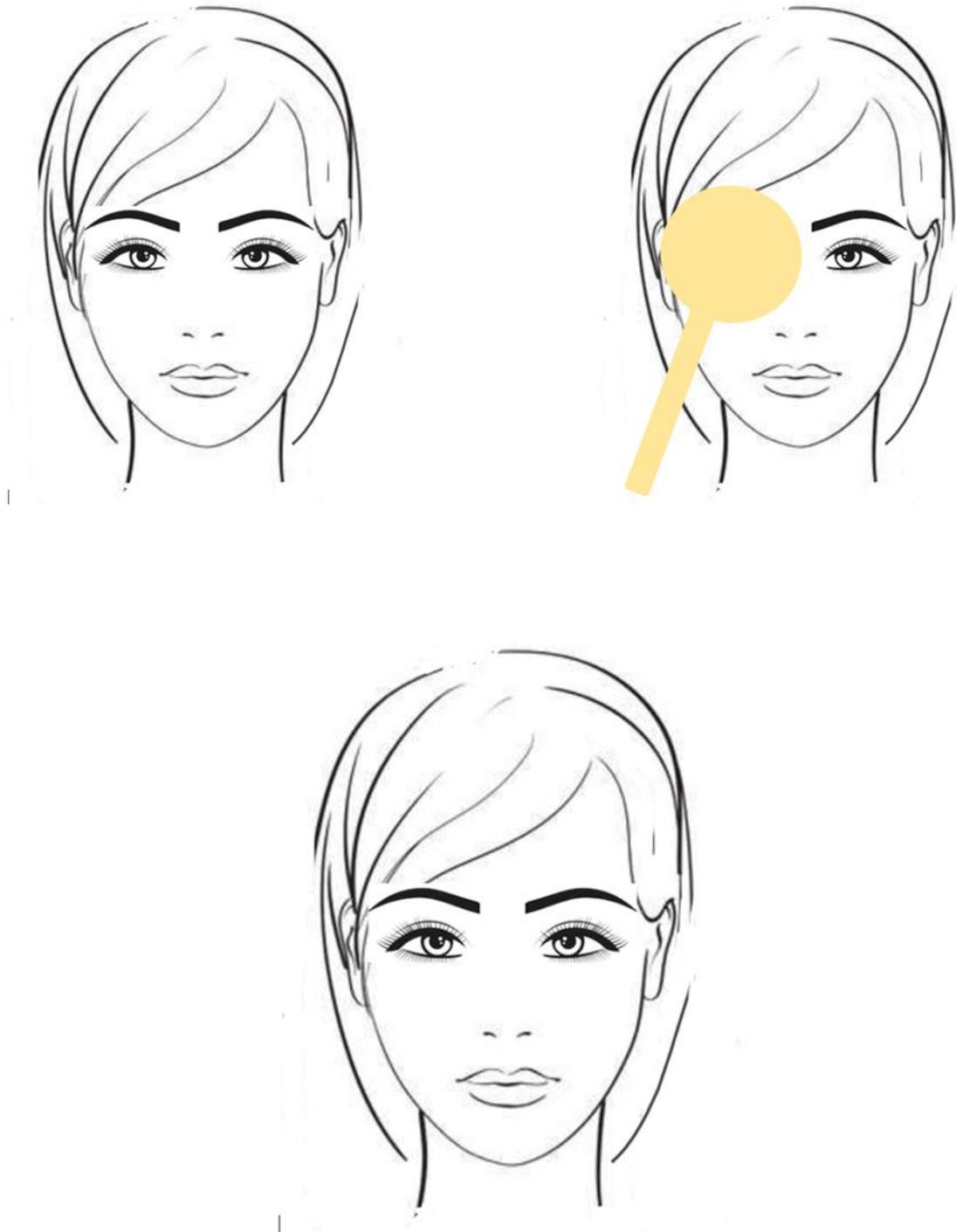


Figura 8. Cover Test Normal (Original R. Rodríguez-Villalba)

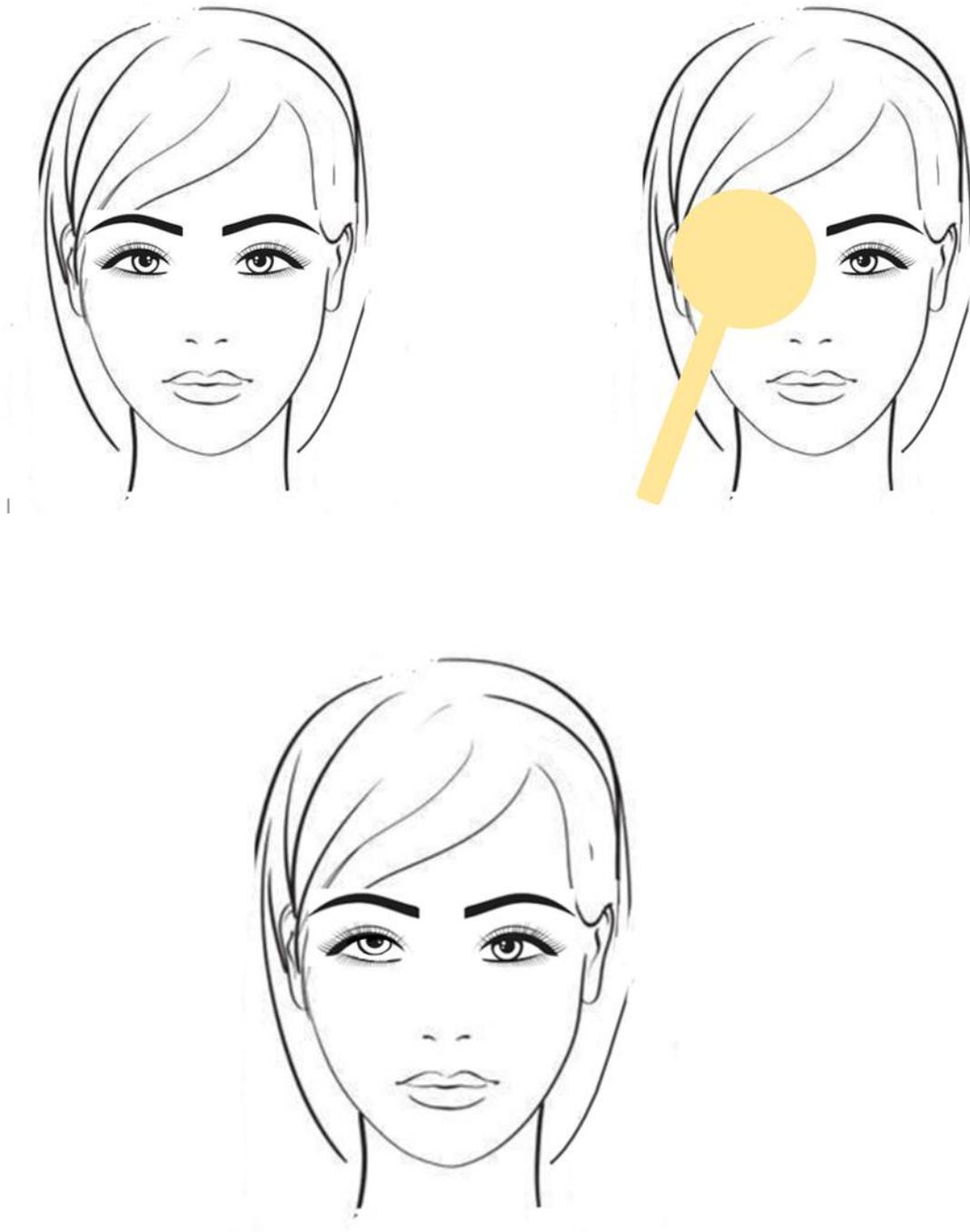


Figura 9. Cover Test patológico (Original R. Rodríguez-Villalba)

Exploración instrumental del paciente con vértigo

Cuando en la evaluación de un paciente persisten dudas sobre la etiología central o periférica del vértigo, se puede recurrir a las pruebas de función vestibular cuantitativas, con las limitaciones que ello supone en los pacientes pediátricos [4, 16–32]:

Pruebas calóricas

La prueba calórica está considerada la prueba de elección en la evaluación del sistema vestibular periférico, ya que evalúa el funcionamiento del canal horizontal y la rama superior del nervio vestibular. Raramente se utiliza en niños menores de 6-7 años por la sintomatología que produce. Está contraindicada en casos de perforación timpánica. Consiste en realizar irrigaciones con agua caliente (44°C) y fría (30°C) con intervalos de cinco minutos entre ellas, usándose gafas para registrar los movimientos oculares.

Potenciales vestibulares miogénicos evocados

Existen dos tipos de potenciales vestibulares miogénicos evocados: cervicales (cVEMPs) y oculares (oVEMPs). Los cVEMP analizan las funciones del sáculo (nervio vestibular inferior) y los oVEMP evalúan las funciones del utrículo (nervio vestibular superior).

Vía de los cVEMP: un sonido estimula el sáculo, lo que genera un potencial eléctrico que se conduce por el nervio vestibular inferior hasta el núcleo vestibular, y desde allí se conduce por el tracto vestíbulo-espinal medial hasta hacer sinapsis con la motoneurona ipsilateral que estimula el músculo esternocleidomastoideo.

Vía de los oVEMP: un sonido estimula el utrículo, lo que genera un potencial eléctrico que se conduce por el nervio vestibular superior hasta el núcleo vestibular, y desde allí se conduce por el fascículo longitudinal medial al músculo oblicuo inferior contralateral.

Los cVEMP se pueden medir en niños menores de 12 meses, por el rápido desarrollo del reflejo vestíbulo-cólico. Los oVEMP se pueden medir generalmente a partir de los 2 años.

Bobina escleral

La técnica con bobina escleral fue la prueba de elección para la evaluación del RVO hasta el advenimiento del vHIT. Se podría decir que es el precursor del vHIT debido a que cuantifica la función del RVO basándose en el uso de una especie de lentes de contacto y en estas lentes se encuentran un par de bobinas metálicas que generan campos magnéticos que interactúa con otro campo magnético incluido en un marco alrededor de la cabeza, lo que permite registrar la relación entre la posición cefálica y ocular.

Estas particularidades hacen a esta prueba costosa e inviable para pacientes pediátricos o para pacientes con síndrome vestibular agudo.

Video Head Impulse Test (vHIT)

La exploración del Head Impulse Test constituye una herramienta muy útil, aunque, en muchos casos, los movimientos que realiza el globo ocular para lograr estabilizar la mirada son de corta amplitud y rápidos, lo que hace que sean imperceptibles al examen a “ojo desnudo” de quien lo realiza.

Halmagyi y Curthoys en Australia fueron los creadores del video Head Impulse Test (vHIT). [8]. Hicieron una prueba en 1984 en un paciente que había sido intervenido quirúrgicamente de neurinoma del acústico bilateral y midieron los movimientos compensatorios de seguimiento horizontales en respuesta a rotaciones de baja aceleración mientras el paciente mantenía la vista fija en un punto.

A pesar de que el paciente no tenía información vestibular aferente, pudo producir respuesta oculomotora en forma de movimientos oculares compensatorios, lo que demostró que la rotación cefálica de baja frecuencia y de baja aceleración no es un buen indicador de la función del canal semicircular; y de esta forma, otros mecanismos oculomotores pueden producir movimientos oculares compensatorios.

En cambio, al pedirle que fijara la vista en un objetivo y aplicar aceleraciones rápidas de aproximadamente 150° por segundo, durante los primeros 100 ms no pudo generar ningún movimiento ocular para intentar mirar al objetivo, de forma que la mirada se movió junto con la cabeza. Se concluyó que, los movimientos oculares como respuesta a aceleraciones cefálicas rápidas, cortas e impredecibles son un indicador fiable de la función de los canales semicirculares, a diferencia de los movimientos oculares como resultado de las aceleraciones lentas y predecibles.

La prueba de impulso cefálico (HIT por sus siglas en inglés) puede hacerse en cualquier consulta o en urgencias (no se precisa de una habitación oscura) y se debe aplicar una aceleración pasiva, impredecible y de, al menos, 150° por segundo.

La persona que realiza el HIT debe provocar un giro brusco con una aceleración en el mismo plano de cada par de conductos semicirculares y debe hacer un giro de aproximadamente 15° en 100 ms, observando el movimiento ocular instantáneo resultante. (Figura 1)

En un paciente sano, la respuesta ocular al impulso cefálico logrará compensar el giro cefálico de alta aceleración y su vista se mantendrá fija en el objetivo.

De otra forma, si el paciente tiene un déficit vestibular, sus ojos se moverán junto con la cabeza durante el giro cefálico de forma que tendrá que hacer un movimiento ocular correctivo o sacada al final de cada impulso cefálico para poder fijar la vista en el objetivo (Figura 1). Estos movimientos oculares correctivos o sacadas se denominan "*overt saccades*" debido a que tienen lugar después del giro cefálico y son fácilmente detectables a ojo desnudo del observador. Este movimiento ocular es signo de paresia del canal semicircular evaluado.



Figura 10. Niño con gafas de vHIT (Original de R. Rodríguez Villalba).

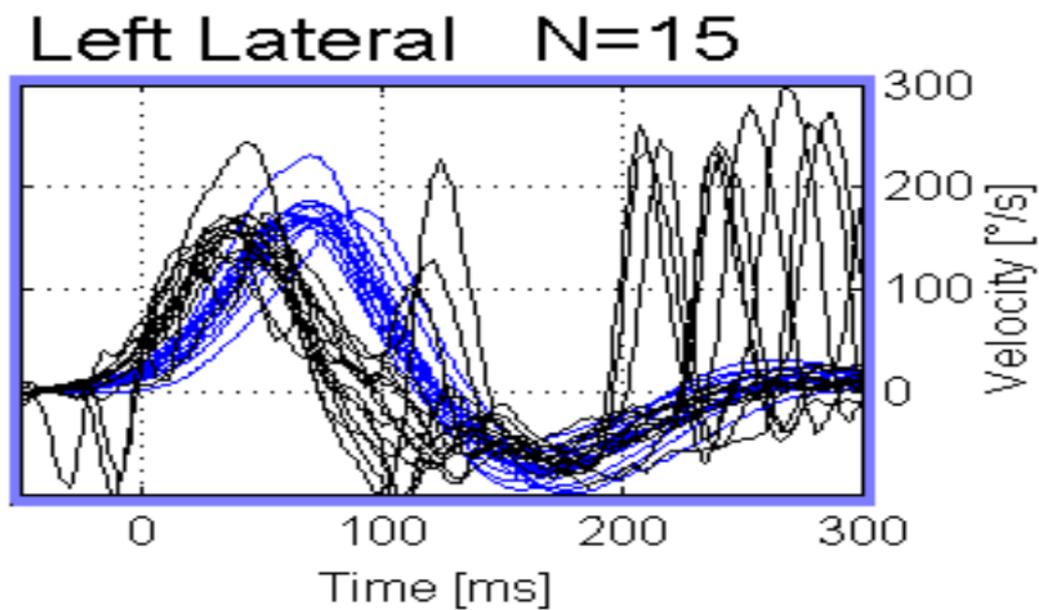


Figura 11. Ejemplo de vHIT con sacadas overt en un paciente con hiporreflexia vestibular (Original de R. Rodríguez Villalba).

Estos movimientos oculares “abiertos” (*overt saccades*) son de gran utilidad para el clínico que los evalúa, siendo de especial interés en los servicios de urgencias, ya que se puede hacer sin necesidad de mover de la cama al paciente, para hacer diagnóstico diferencial entre etiología central y periférica en pacientes con vértigo agudo, siendo más sensible esta prueba junto con el resto de parámetros clínicos que forman parte del protocolo HINTS (es el acrónimo de **H**ead **I**mpulse, **N**ystagmus y **T**est of **S**kew) que un estudio de imagen [14].

Aspectos fisiológicos en los que se basa el vHIT

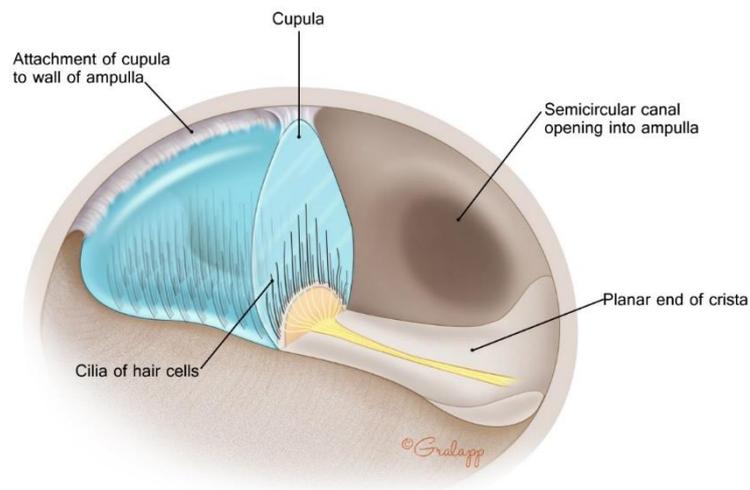
Al mover la cabeza, se produce un movimiento de endolinfa en los canales semicirculares que causa un movimiento de los cilios de las células ciliadas, desencadenando potenciales de acción en las eferencias primarias de los canales semicirculares que a su vez se

proyectan a los núcleos vestibulares y desde allí a las motoneuronas de los músculos oculomotores de ambos ojos, de forma que el movimiento ocular conjugado que se genera mantiene la vista en el objetivo incluso en movimientos cefálicos inesperados.

El inicio de la respuesta oculomotora es muy rápido, con una latencia de 8 ms. El vHIT registra la respuesta oculomotora a los impulsos cefálicos, así como los movimientos oculares de corrección (sacadas) en caso de hipofunción vestibular. Los impulsos cefálicos aplicados deben ser de alta velocidad: de no ser así y aplicarse movimientos cefálicos más lentos, el vestíbulo sano puede condicionar la respuesta oculomotora. Esto ocurre porque la respuesta consta de dos componentes: uno excitatorio que domina la respuesta del lado hacia donde se gira la cabeza y otro menor del oído interno opuesto. [33]

Como se ha mencionado anteriormente, existen dos tipos de receptores en el canal semicircular: los receptores tipo I son células con forma de ánfora con cilios pequeños y duros que terminan en forma de cáliz, con función probablemente moduladora, y los de tipo II que son **cilíndricos y que corresponden a células receptoras**.

Figura 12. Ampolla del canal semicircular© (2014) Chris Gralapp, usado con permiso



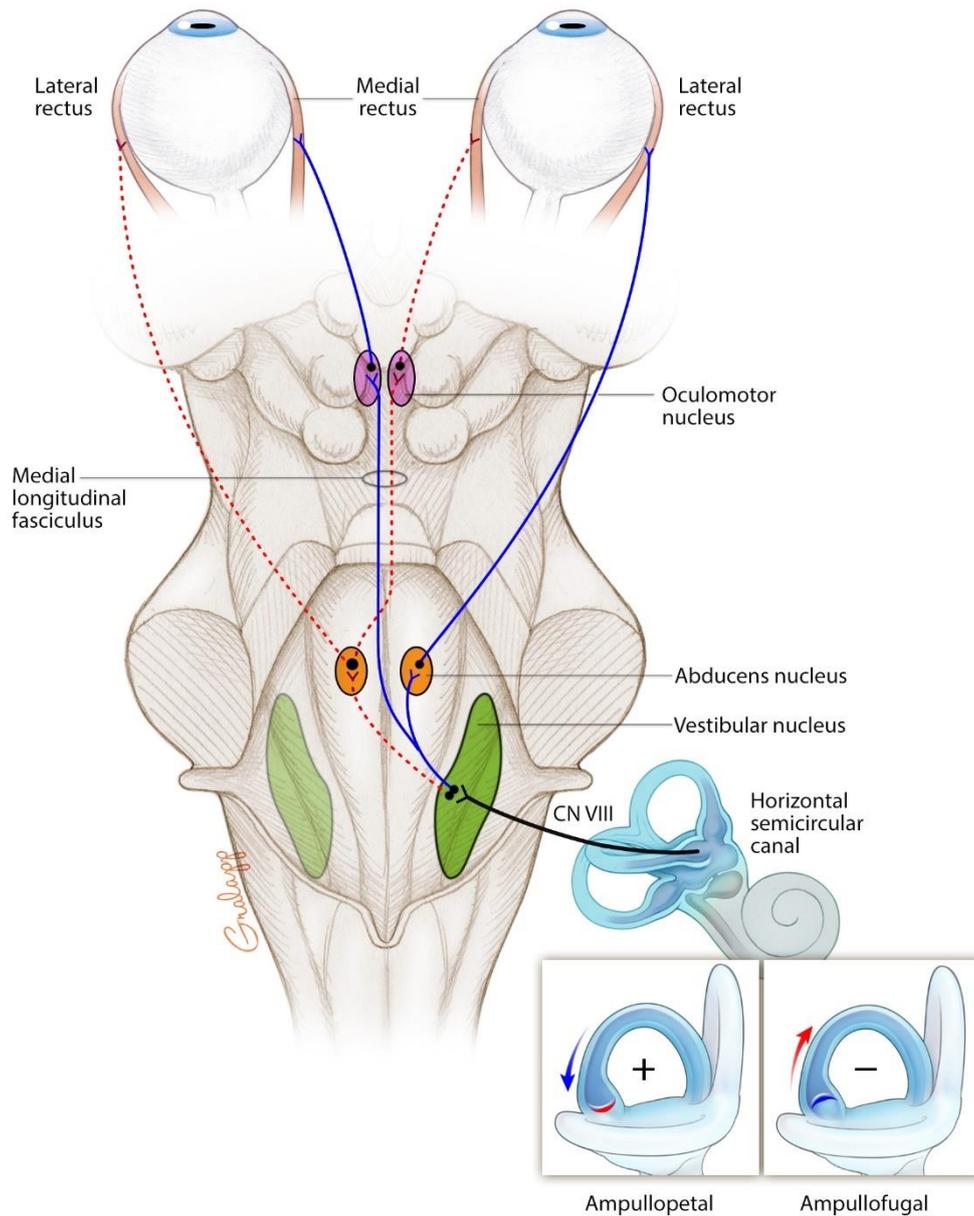


Figura 13. Conexiones del reflejo oculomotor © (2016) Chris Galapp, usado con permiso

Las aferencias de cada laberinto son excitatorias y se proyectan hacia los núcleos vestibulares y algunas se proyectan desde éstos al núcleo abducens o núcleo motor ocular externo contralateral. Desde este núcleo abducens existen proyecciones que van directamente al músculo recto lateral y otro grupo de neuronas internucleares se

proyectan al músculo recto medial del ojo contralateral mediante el fascículo longitudinal medial y el núcleo oculomotor.

Entre los dos núcleos vestibulares existen fibras comisurales que les conectan y que tienen función inhibitoria de forma que cada núcleo vestibular inhibe algunas neuronas del núcleo vestibular contralateral: de esta forma, los movimientos oculares durante la rotación cefálica son sinérgicos ya que ambos ojos rotan para compensar el giro de la cabeza y mantener la imagen del objetivo fija en la retina; es decir, que la respuesta oculomotora es la consecuencia de la excitación e inhibición simultánea de diferentes grupos de músculos oculares.

Por ejemplo, durante un giro cefálico hacia la derecha en paciente con función vestibular normal, el estímulo excitatorio de las neuronas en el núcleo vestibular derecho hace que se reduzca la actividad en las neuronas del núcleo vestibular izquierdo mediante las fibras comisurales inhibitorias, a pesar de que las neuronas aferentes del canal semicircular izquierdo ya envían una señal reducida *a priori*. Así también, estas fibras comisurales ejercen una menor inhibición en las neuronas activas del núcleo vestibular derecho. [33]

De esta forma, los movimientos oculares compensatorios normales son el resultado del efecto combinado de dos componentes excitatorios: la excitación y la falta de inhibición.

Se tiene que apuntar del mismo modo, que no todos los pacientes con déficit vestibular unilateral mostrarán una sacada contralateral durante un movimiento cefálico hacia el lado enfermo. Esta “respuesta sacádica” dependerá de muchos factores: de qué tan alterada se encuentre la función vestibular (si existe una pérdida total o parcial de la función vestibular), de la aceleración del movimiento cefálico, del tamaño del objeto al que está mirando el paciente, de la agudeza visual de éste o de la distancia a la que está el objeto. También tenemos que recordar que existen proyecciones que descienden desde el cerebelo que pueden modular la transmisión hacia el núcleo vestibular y pueden ser las responsables de la supresión voluntaria de el reflejo vestibulo-ocular en algunas situaciones. A pesar de eso, la evidencia dice que, en humanos, durante movimientos pasivos e inesperados de alta aceleración cefálica, la supresión de RVO comienza después de 80 ms.

El término que usamos para referirnos a la cuantificación de la respuesta del RVO es la “**ganancia**”. La ganancia se obtiene calculando el cociente entre el área bajo la curva de la velocidad del ojo y el área bajo la curva de la velocidad cefálica durante el impulso.

El valor normal de la ganancia del RVO en adultos es alrededor de 1. Los pacientes con pérdida unilateral vestibular presentan niveles bajos de ganancia (habitualmente menos de 0,7) durante el giro cefálico hacia el lado afectado debido a que los movimientos oculares no son lo suficientemente rápidos para compensar el impulso cefálico. De esta manera, se generan movimientos sacádicos durante los impulsos cefálicos hacia el lado afecto. En algunos pacientes, estos movimientos sacádicos se generan durante el movimiento cefálico, siendo imperceptibles a “ojo desnudo”, es por ello por lo que se denominan sacadas “covert”, al estar cubiertas por el movimiento cefálico. Esto generó la necesidad de desarrollar un método efectivo para registrar estos movimientos, de otra forma imposibles de explorar clínicamente.

MacDougall et al desarrollaron a lo largo de 10 años un equipo que consistía en una cámara de alta velocidad adaptada a unas gafas muy ajustadas con sensores de alta velocidad y un software diseñado para medir la velocidad ocular y cefálica. La medición del movimiento ocular se centra en la pupila, por lo que no debe haber artefactos relacionados con el cierre palpebral; lo que se ha convertido en el actual video Head Impulse Test. [34]. La función de cada uno de los seis canales semicirculares puede ser medida con el vHIT.

La ventaja del vHIT es que puede cuantificar y monitorizar la función de los canales semicirculares, por ejemplo, durante y después de tratamientos ototóxicos [35] o en casos de patología ótica bilateral, para escoger el oído a tratar primero, como por ejemplo, en casos de colesteatoma bilateral y fístula laberíntica unilateral [36].

La monitorización de las sacadas después de un tratamiento ototóxico nos hace evidenciar la secuencia de los movimientos sacádicos compensatorios después de una hipofunción vestibular unilateral. La cadencia habitual de eventos consiste en la aparición de sacadas overt que, a medida que pasa el tiempo y actúan los mecanismos de compensación central, se van acercando al gráfico de movimiento cefálico, convirtiéndose en sacadas covert, que puede decirse que están relacionadas con una compensación

vestibular más adecuada. El vHIT permite graficar y medir este tipo de sacadas (covert), lo que hace preguntarnos si efectivamente son un signo de compensación después de una alteración vestibular. [8, 33]

Hace unos años, las pruebas calóricas eran la primera prueba en hacerse en la batería de pruebas vestibulares, por su relativa inocuidad y rapidez. Actualmente, el vHIT es la prueba que se realiza en pacientes con sospecha de patología vestibular en primer lugar, debido a su rapidez, a que no es invasiva y es fácil de hacer, lo que es de particular interés en los pacientes pediátricos. También es de gran utilidad en los pacientes con síndrome vestibular agudo en el Servicio de Urgencias, para hacer el diagnóstico diferencial entre Síndrome Vestibular Agudo de etiología central y periférica.

Otra de sus ventajas es la posibilidad de cuantificar la función de los canales semicirculares debido a la existencia de la ganancia, aún en disfunciones vestibulares leves. Existen publicaciones sobre la monitorización con vHIT del tratamiento intratimpánico con gentamicina en pacientes con enfermedad de Ménière que avalan su utilidad para valorar la necesidad de administrar mayor o menor número de dosis en función de la ganancia de los canales semicirculares. [37].

En la actualidad no existen publicaciones o estudios validados que establezcan los valores normales de las ganancias en la población infantil sana y existen publicaciones sobre pocos pacientes pediátricos con patología vestibular, tomando siempre como referencia los valores de la población adulta.

La prueba de impulso cefálico vídeo-asistida o vHIT, que permite cuantificar la respuesta, es ampliamente utilizada en adultos y está empezando a utilizarse en niños, especialmente en población adolescente. [25, 38, 39]

Consideraciones generales sobre la patología vestibular en niños

El vértigo puede ser difícil de diagnosticar en la infancia, ya que la sintomatología puede resultar compleja de describir para los niños más pequeños, pudiendo manifestarse como un retraso en los hitos de desarrollo psicomotor. [11, 26, 28, 40, 41]

El mareo y el vértigo pueden confundirse, aunque el vértigo consiste en la sensación de movimiento del entorno en relación con uno mismo o viceversa. El mareo básicamente se refiere a una sensación de malestar, más que una ilusión de movimiento.

Existen muchas series publicadas sobre la prevalencia del vértigo en la infancia, con mucha variabilidad entre ellas. [1, 27, 42]. Algunas series hablan de una prevalencia de hasta el 25% de vértigo en la edad pediátrica, con porcentajes muy superiores en grupos de pacientes con hipoacusia neurosensorial.

La etiología difiere entre la población infantil y la adulta. Hasta hace relativamente poco tiempo, nos guiábamos por los criterios diagnósticos de Migraña Vestibular en adultos [43]; pero en el año 2021, se publicaron los criterios diagnósticos de la Sociedad Bárány y de la International Headache Society, donde se clasifican los criterios diagnósticos para la Migraña Vestibular infantil y la probable Migraña Vestibular infantil, así como también se introduce un nuevo término para el vértigo recurrente en niños, llamado Vértigo Recurrente Infantil que intenta reemplazar al de Vértigo Paroxístico Benigno de la Infancia (VPB). [7] Este último es más frecuente en niños más pequeños, mientras que la Migraña Vestibular es más frecuente en niños mayores y adolescentes. Ambos tipos de vértigo muestran una asociación con la migraña y normalmente presentan normoacusia. [26]

Se han descrito alteraciones en pruebas de función vestibular (pruebas calóricas y vHIT) en pacientes asintomáticos de vértigo con diagnóstico de migraña, lo que hace inferir una probable disfunción vestíbulo-cerebelosa en estos pacientes [44]

Otras etiologías son laberintitis secundaria a otitis media aguda o contusión laberíntica, siendo infrecuente la enfermedad de Ménière en población infantil. [45] En el diagnóstico diferencial de un niño que refiere vértigo, debemos tener en cuenta también entidades que pueden producir mareo de causa extraótica, como son el mareo somatomorfo y el mareo ortostático, más frecuente en niñas: en ambas entidades, las pruebas vestibulares, la audiometría y el examen físico son normales. En los pacientes con patología vestibular, la anamnesis y la exploración física juegan un papel muy importante en el diagnóstico diferencial.

En niños pequeños, tenemos la limitación de la anamnesis, porque obtenemos la información del adulto que le acompaña. En estos casos, existen signos o síntomas más evidentes como ataxia o vómitos, o a veces los padres nos refieren la presencia de nistagmo durante las crisis.

Durante la anamnesis, siempre deberíamos preguntar por antecedentes personales o familiares de cefaleas recurrentes, antecedentes familiares de enfermedad de Ménière o de Migraña Vestibular (tomando en cuenta que existen casos familiares de ambas patologías, así como de otros trastornos vestibulares) [46], antecedentes de traumatismo craneoencefálico, antecedentes de infecciones de tracto respiratorio superior, que pueden preceder a neuritis vestibular o laberintitis, consumo de drogas o medicación, desencadenantes del vértigo (en caso de vértigo precedido por maniobra de Valsalva, presión del trago o ruido, se puede pensar en fístula perilinfática), duración de las crisis, hipoacusia durante las crisis, acúfenos, etc.

En los últimos años y ante el advenimiento del implante coclear simultáneo en niños, ha crecido el interés sobre el desarrollo de pruebas clínicas o instrumentales, así como de cuestionarios para valorar la existencia de patología vestibular previa a la cirugía de implante coclear, debido a que es importante valorar la posibilidad de evitar la simultaneidad en pacientes con inestabilidad o vértigo. [24, 32, 39, 47]

Sommerfleck et al. publicaron en 2023 la validación de la versión en español argentino del **Dizziness Handicap Inventory** para niños y adolescentes. En esta publicación se hace hincapié en la facilidad para contestar a las preguntas, aunque en la mayoría de los casos, tienen que ser explicadas por un adulto acompañante. Utilizan el cuestionario en 32 pacientes con edades comprendidas entre 4 y 16 años [48]

El DHI pediátrico tiene tres apartados: emocional, funcional y físico; y valora con diferentes puntuaciones la alteración en la calidad de vida y en el desempeño de las actividades de la vida diaria de los pacientes pediátricos con vértigo.

Actualmente no existe un cuestionario validado en español para intentar cuantificar ese impacto en niños menores y en lactantes. Se necesita desarrollar una escala que no dependa de lo que nos refiera el paciente ni los padres para intentar valorar la estabilidad y la función vestibular especialmente en niños pequeños.

Habitualmente las características que nos refiere el paciente sobre la sintomatología vestibular son parte de los criterios diagnósticos de la mayoría de las patologías. Los niños muchas veces carecen de las herramientas de comunicación necesarias para describir sus síntomas de forma concreta, debido muchas veces a su falta de vocabulario y a veces sus síntomas se pueden atribuir a problemas de motricidad o de comportamiento. [24]

La dificultad en la anamnesis y la poca capacidad de describir la sintomatología en niños más pequeños ha hecho que también usemos el video casero como una herramienta valiosa para documentar las crisis que habitualmente son de duración muy corta en la población infantil. Esto nos permite documentar características como duración, presencia o no de pródromos, lateralización de la marcha, presencia o no de cortejo vegetativo, presencia y características de nistagmo, etc.

Es debido a estas particularidades de la patología vestibular en la edad pediátrica que la exploración instrumental cobra mayor importancia. Sin embargo, la exploración vestibular en un niño puede resultar molesta y tediosa, ya que la tolerancia en esta población es más limitada, por lo que debemos intentar circunscribir las pruebas a las menos invasivas y que nos den más información, o sea, a las más rentables, para intentar llegar al diagnóstico adecuado. [49]

Afortunadamente la mayoría de los niños tienen la capacidad de compensar las disfunciones vestibulares con mayor facilidad y rapidez que los adultos, lo que hace más complicado el diagnóstico fuera de la fase aguda.

De esta forma, la exploración instrumental cobra mayor importancia en niños, siendo el vHIT la técnica menos invasiva y la prueba de duración más corta y que nos aporta más información, siendo actualmente la prueba más utilizada en las unidades de patología vestibular de forma global.

El interés principal del diagnóstico precoz de la disfunción vestibular en niños implica poder rehabilitarlos de forma precoz y, en el caso de niños con hipoacusia profunda en los que la prevalencia de alteraciones de la función vestibular es más alta, poder tomar la decisión del tratamiento quirúrgico de implante coclear bilateral simultáneo o diferido por el riesgo de hiporreflexia vestibular bilateral que implica.

Hipótesis

Hipótesis:

1-Los niños de 3 a 16 años tienen ganancias ligeramente más altas de forma global en condiciones normales en comparación con la población adulta.

2-Los niños con otitis serosa crónica tienen ganancias disminuidas, especialmente en los canales horizontales, lo que podría aumentar el riesgo de inestabilidad en esta población.

Objetivos

Objetivos:

El objetivo de este estudio es validar de forma cuantitativa las ganancias en diferentes grupos de edad en la población infantil sana y en las patologías más frecuentes.

Material, métodos y resultados

Resumen del primer artículo: " Vestibulo-ocular reflex assessed with Video Head Impulse Test in children with Vestibular Migraine: Our experience"

La Migraña Vestibular de la Infancia puede ser confundida con otras entidades, en particular, al inicio de los síntomas, durante el debut de esta condición. Posteriormente a este artículo, se publicaron los criterios diagnósticos de la Migraña Vestibular de la Infancia [50], donde se toman en cuenta, como en los criterios diagnósticos de Migraña Vestibular del adulto, características clínicas y sintomatología referidas por el niño al examinador, que a veces son difíciles de descifrar en los niños más pequeños.

El objetivo de este artículo fue cuantificar las ganancias del reflejo vestibuloocular (RVO) en pacientes pediátricos que cumplían criterios de Migraña Vestibular y compararlas con los resultados obtenidos en el grupo control.

Materiales y Métodos: Se incluyeron 21 pacientes con edades comprendidas entre los 11–16 años en este estudio. La ganancia del RVO se midió con el equipo de Video Head Impulse Test (vHIT) EyeSeeCam® (Interacoustics, Denmark).

Resultados: Los pacientes con Migraña Vestibular presentan valores más altos de ganancias comparados con los pacientes asintomáticos.

Conclusión: El vHIT es una herramienta útil y fácil de utilizar en población pediátrica cuando se compara con otras pruebas vestibulares. Las ganancias del RVO son más altas en pacientes con diagnóstico de Migraña Vestibular.



Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijporl

Vestibulo-ocular reflex assessed with Video Head Impulse Test in children with Vestibular Migraine: Our experience

Rosana Rodríguez-Villalba^{a,b,*}, Miguel Caballero-Borrego^c, Vanessa Villarraga^b, Victoria Rivero de Jesús^c, Maria Antonia Claveria^a, Oliver Haag^a

^a Hospital Sant Joan de Déu, Department of Otorhinolaryngology, Barcelona, Spain

^b Althaia Xarxa Assistencial Universitària de Manresa, Department of Otorhinolaryngology, Manresa, Spain

^c Hospital Clínic, Department of Otorhinolaryngology, Barcelona, Spain

ARTICLE INFO

Keywords:

Vestibular migraine
Vestibular testing in children
Video head impulse test
Vestibulo-ocular reflex

ABSTRACT

Vestibular Migraine in children can mimic other disorders, especially at presentation. Outcome is hard to predict and management may be challenging due to the fact that many of the patients are too young to describe their symptoms and these are not always accompanied by headache.

Objective: To assess vestibulo-ocular reflex (VOR) in pediatric patients who meet criteria for defined Vestibular Migraine and to compare results to healthy controls.

Methods: Twenty-one patients aged 11–16 years were included in this prospective multicentric study. VOR was assessed using the video Head Impulse Test by EyeSeeCam® (Interacoustics, Denmark).

Results: Patients with Vestibular Migraine (VM) have higher values of gain compared to asymptomatic patients.

Conclusion: Video Head Impulse Test (vHIT) is a useful and relatively fast-to-perform examination in children compared to other vestibular tests. Patients with VM seem to have higher values of gain at vHIT.

1. Introduction

Vertigo and balance disorders are not as frequent in childhood as in adult age [1–3]. Diagnosis and assessment may be difficult because of the few tools available to analyze and objectify the children's symptoms, especially at a young age. Eye movements examination is crucial in these patients though often we are unable to observe nystagmus or saccades during asymptomatic periods [4].

Since the development of the video Head Impulse Test, we have been able to register abnormal ocular movements or saccades which are often undetectable by the examiner's sight. This test is based on the analysis of the Vestibulo-ocular reflex (VOR), which is the result of an accommodation of the eye position to compensate for the rapid head movements in order to keep vision fixed on a target. When a patient is diagnosed with vestibular dysfunction, saccades (corrective eye movements in cases of abnormal VOR) might be present. Low gain values (gain is defined as compensatory eye velocity divided by head velocity) could also be present [5–8].

As described by the Consensus Document of the Bárány Society and the International Headache Society [9], Vestibular Migraine is classified entirely on the basis of the clinical features as reported by the patient.

Vestibular findings and testing results can be pathological, particularly during or shortly after an episode [10].

Due to the difficulty to describe the vestibular symptomatology, some children are not able to explain unsteadiness or vertigo with accuracy, which makes the otoneurologic assessment more challenging than in the adult population. Video Head Impulse Test is an accurate tool to assess the vestibular function and measure it, and register the gain value and saccades if present, even during asymptomatic periods [11–16].

Some authors have described vestibular hypofunction in children with otitis media with effusion, cytomegalovirus infection, post cochlear implant, complicated cholesteatoma, post traumatic vertigo [12–20] but, to our knowledge, there is no literature describing vHIT findings in pediatric patients with VM.

2. Methods

The aim of the study was to assess the vestibulo-ocular reflex (VOR) in children diagnosed with defined Vestibular Migraine (following criteria of the Bárány Society and the International Headache Society).

We performed a complete otomicroscopic and otoneurologic

* Corresponding author. Hospital Sant Joan de Déu, Department of Otorhinolaryngology, Barcelona, Spain.

E-mail addresses: rosanarvillalba@gmail.com (R. Rodríguez-Villalba), mcaba@clinic.cat (M. Caballero-Borrego), vanessarvcova@gmail.com (V. Villarraga), vick7080@hotmail.com (V. Rivero de Jesús), maclaveria@sjdhospitalbarcelona.org (M.A. Claveria), chaag@sjdhospitalbarcelona.org (O. Haag).

<https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110161>

Received 4 February 2020; Received in revised form 28 April 2020; Accepted 29 May 2020

Available online 03 July 2020

0165-5876/© 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.

Distribution of mean gains in case and control groups

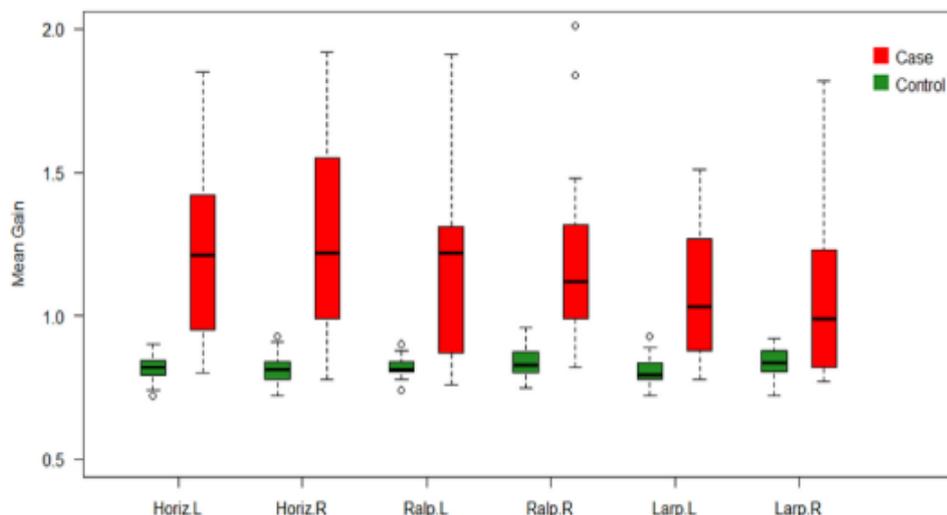


Fig. 1. Distribution of mean gains in case and control groups.

Table 1
Comparison between mean gains in control and case groups.

Grupo	N	Mean	SD	Cohen's d	p-value (Mann-Whitney)
Control	20	0,816	0,052	1,853	< 0,001
Caso	21	1,300	0,361		
Control	20	0,819	0,046	1,682	< 0,001
Caso	21	1,196	0,310		
Control	20	0,841	0,054	1,541	< 0,001
Caso	21	1,229	0,348		
Control	20	0,823	0,038	1,504	< 0,001
Caso	21	1,162	0,313		
Control	20	0,839	0,051	1,159	0,005
Caso	21	1,089	0,297		
Control	20	0,809	0,053	1,497	< 0,001
Caso	21	1,073	0,242		

examination to all patients. It included clinical Head Impulse Test. We did not find pathological eye movements in any of the patients during the clinical exam.

VOR was assessed using the video Head Impulse Test (vHIT) with a device that consists of a high-speed infrared camera which includes an accelerometer (EyeSeeCam® Interacoustics, Denmark). This device gives us information about the gain of the six semicircular canals as well as the presence of abnormal eye movements (*saccades*). The age of patients allowed calibration with dots as we routinely do with adult patients. After calibration, the children were asked to fix their sight at a dot placed at the wall 1,5 m away from them. None of them were on vestibular sedative medication.

Taking that into account, we prospectively examined a group of twenty-one children (sixteen girls and five boys) diagnosed with Vestibular Migraine aged between eleven and sixteen years. These data were collected by the same examiner at two hospitals in Catalonia, Spain (one of them is a tertiary care hospital and the other one is a secondary care hospital).

The control group included twenty children (ten girls and ten boys) with no vestibular or neurological pathology and without problems of visual acuity. We performed audiometric tests in all patients. Patients with altered audiometric tests were ruled out for the study.

Due to the age of participants, the vHIT was relatively easy to

perform and we were able to obtain at least fifteen valid impulses at each of the six semicircular canals examined.

Our data were analyzed using the SPSS 23.0 (IBM Corp.; Armonk, NY).

3. Results

Cases included in the study were diagnosed with defined Vestibular Migraine according to the criteria of the Committee for Classification of Vestibular Disorders of the Bárány Society and the Migraine Classification Subcommittee of the International Headache Society.

We previously dismissed no valid tests due to lack of collaboration during calibration, excessive blinking, involuntary cervical muscles' contraction or any other cause that could make results not reproducible.

Case group had a median age of 13,48 (ranges between 11 and 16). Sixteen patients were female and five of them were male.

Control group had a median age of 13 (ranges between 11 and 16). Ten subjects were male and ten were female.

Children representing control patients ($n = 20$) had a median gain of 0,82 at lateral semicircular canals, median gain of 0,83 at RALP (Right Anterior/Left Posterior semicircular canals) and 0,82 at LARP (Left Anterior/Right Posterior semicircular canals).

Patients diagnosed with defined VM ($n = 21$) obtained mean gains of 1,25 at lateral semicircular canals, 1,20 at RALP (Right Anterior/Left Posterior semicircular canals) and 1,08 at LARP (Left Anterior/Right Posterior semicircular canals). No *saccades* were detected in any of the tests (Fig. 1).

Case group had significantly higher gains at all semicircular canals according to the non-parametric Mann-Whitney U test, with very large effect sizes (Cohen's d greater than 1 in all variables), see Table 1 and Figs. 2 and 3 for details.

4. Discussion

The VOR generates eye movements during head impulses with high acceleration to preserve retinal image stability which constitutes the main principle of this test. The VOR is conducted by an arc formed by three neurons: a primary afferent neuron in the vestibular nerve, a second neuron at the vestibular nucleus in the ponto-medullary region,

Example of a normal vHIT

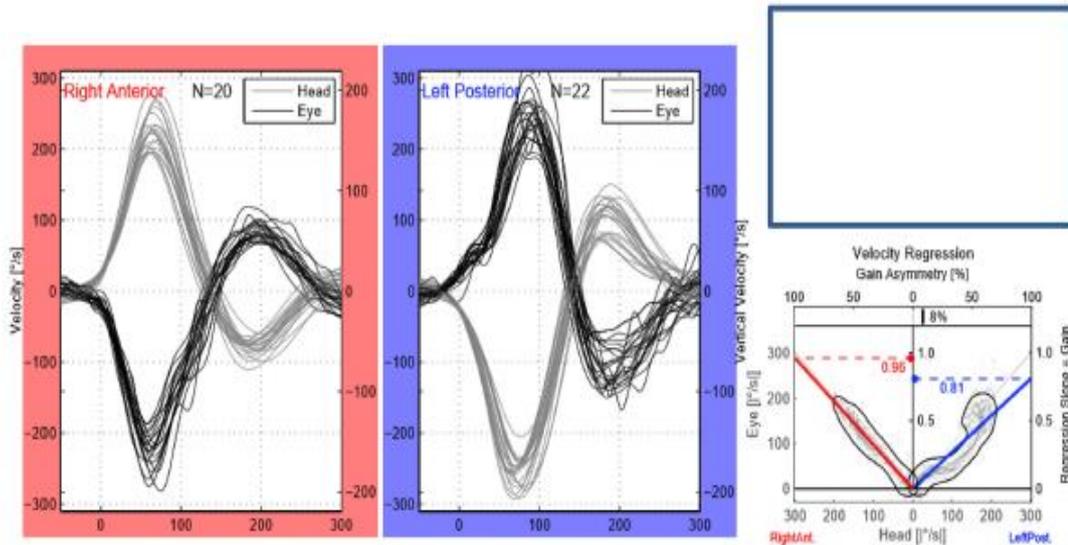


Fig. 2. Example of a normal vHIT.

Altered vHIT of a patient with Vestibular Migraine

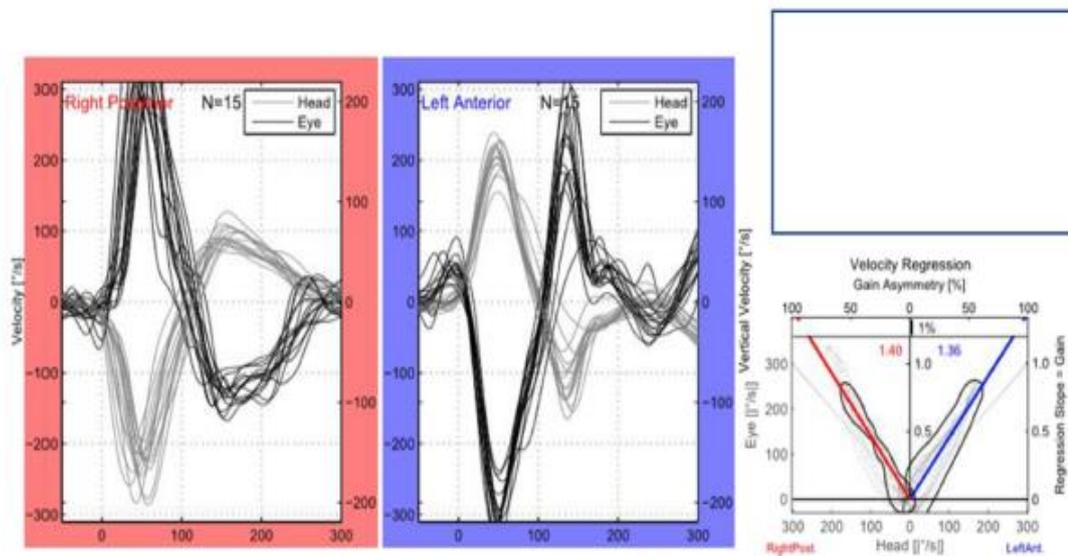


Fig. 3. Altered vHIT of a patient with Vestibular Migraine.

and an oculomotor neuron in the III, IV, or VI nuclei in the brainstem. The ipsilateral vestibular nuclei send excitatory stimuli to the oculomotor nuclei on the opposite side and inhibitory stimuli to antagonistic oculomotor neurons on the same side of the brainstem.

During the examination of the horizontal semicircular canals, the head impulses are made in a horizontal plane. In the same manner, we assess right anterior/left posterior and left anterior/right posterior semicircular canals with oblique head acceleration impulses. When VOR is normal, the head impulses are compensated by ocular movements that keep the image representation in the retina; on the contrary, if there is a dysfunction of the VOR, we will detect “catch-up” saccades

towards the target. These saccades are sometimes hard to spot by the naked eye, especially when they occur during the head movement. We call gain to the relation between head and eye movement and normal value is around 1.

Before the development of the video Head Impulse device, designed by Curthoys and Halmagyi, we could only assess the VOR using rotary chairs or caloric tests which are difficult to perform in pediatric patients. Currently, in our department, we have no other way of assessing the VOR other than by vHIT. We still think that the otoneurologic examination is of the utmost importance in patients who are seen in our department complaining of dizziness, instability or vertigo and this is a

relatively easy-to-perform vestibular test with minimal disturbance for our patients.

The low value of gain is interpreted as vestibular hypofunction, due to labyrinthitis or any other cause of vestibular hypofunction, but we still do not know how to interpret the high values of gain. We are well aware of the role of the cerebellar control of the VOR; the cerebellum and interconnected brainstem nuclei, especially the perihypoglossal nuclei in the medulla, are part of a polysynaptic vestibular ocular network. It could be part of our answer to the high values of gain found in patients with VM, and it might be explained by a lack of inhibition by this pathway. The quantification of vestibular function using the values of gain could be of special interest in patients diagnosed with overlapping syndrome of VM and Meniere's disease (MD). The management of these patients may often be challenging due to the fact that the symptoms are typical from both entities. The video Head Impulse Test can give us information about the predominant entity dominating at the time, so we are able to establish the most convenient treatment (for VM or MD).

5. Conclusion

The video Head Impulse Test is an easy-to-perform vestibular test that offers additional information about the vestibular function in children. Although we know that the meaning of low gain values is related to vestibular hypofunction, we need to be able to analyze the implication of *vestibular hyperfunction* in pediatric patients with Vestibular Migraine. Clinical examination and anamnesis are of the utmost importance as usual, and we intend to continue studying data of pediatric patients which hopefully should shed some light on the pathophysiology of this entity.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Our acknowledgment to Daniel Cuadras PhD for the treatment of statistics and interpretation of data.

Declarations of competing interest

None.

References

- [1] J.R. Brodsky, S. Lipson, N. Bhattacharyya, Prevalence of pediatric dizziness and imbalance in the United States, *Otolaryngol. Head Neck Surg.* 162 (2) (2020 Feb) 241–247.
- [2] R. Hiller, et al., Prevalence of peripheral vestibular diseases in children in Germany, *HNO* 68 (5) (2020 May) 360–366.
- [3] S.L. Cushing, R.C. Papsin, Special considerations for the pediatric patient, *Adv. Oto-Rhino-Laryngol.* (2019) 134–142.
- [4] J.B. Christy, Considerations for testing and treating children with central vestibular impairments, *Semin. Hear.* 39 (3) (2018 Aug) 321–333.
- [5] M. Beranek, F.M. Lambert, S.G. Sadeghi, *Development of Auditory and Vestibular Systems*, fourth ed., (2014), pp. 449–487.
- [6] R. Hiller, et al., Clinical experience with video head impulse test in children, *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 79 (2015) 1288–1293.
- [7] S.R. Wiener-Vacher, S.I. Wiener, Video head impulse tests with a remote camera system: normative values of semicircular canal vestibulo-ocular reflex gain in infants and children, *Front. Neurol.* 8 (2017) 434.
- [8] K. Janik, D. Givens, Vestibular, visual acuity and balance outcomes in children with cochlear implants: a preliminary report, *Ear Hear.* 36 (6) (2015) e364–e372.
- [9] T. Lempert, et al., Vestibular migraine: Diagnostic criteria *Journal of Vestibular Research* 22 (2012) 167–172.
- [10] L. Berneri, et al., Subclinical vestibular dysfunction in migraineurs without vertigo: a Clinical study, *Acta Neurol. Scand.* 138 (4) (2018) 270–277.
- [11] H. Breinbauer, J.L. Anabalón, K. Aracena, D. Nazal, M.A. Baena, Assessing vestibulo-ocular reflex of the horizontal semicircular canal with video Head Impulse Testing (vHIT), *Rev. Otorrinolaringol. Cir. Cabeza Cuello* 73 (2013) 115–124.
- [12] M. Tozar, E. Cömert, Z. Şencaa, G. Şimşek, N.B. Muluk, R. Kılıç, Video head impulse test in children with otitis media with effusion and dizziness, *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* 129 (2020) Feb 109783.
- [13] E. Jacot, T. Van den Abbeele, H.R. Debøe, S.R. Wiener-Vacher, Vestibular impairments pre- and post-cochlear implant in children, *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 73 (2) (2009 Feb) 209–217.
- [14] C. Dhondt, L. Maes, A. Oostra, I. Dhooge, Episodic vestibular symptoms in children with a congenital cytomegalovirus infection: a case series, *Otol. Neurotol.* 40 (6) (2019 Jul) e636–e642.
- [15] S.R. Wiener-Vacher, J. Quarez, A.L. Priol, Epidemiology of vestibular impairment in a pediatric population, *Semin. Hear.* 39 (3) (2018 Aug) 229–242.
- [16] Zhou G, C. Goutos, S. Lipson, J. Brodsky, Clinical significance of spontaneous nystagmus in pediatric patients, *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2018 Aug) 103–107.
- [17] N. Pérez, I. Garmendia, E. Martín, M.S. Boleas, R. García-Tapia, [Health measurement instruments in patients with vertigo], *Acta Otorrinolaringol. Esp.* 51 (8) (2000 Nov-Dec) 677–685.
- [18] K. Devaraja, Vertigo in children; a narrative review of the various causes and their management, *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 111 (2018) 32–38.
- [19] P.A. Sommerleck, et al., Balance disorders in childhood: main etiologies according to age. Usefulness of the video head impulse test, *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 87 (2016) 148–153.
- [20] M. Abouzari, A. Abiri, H.R. Djallilian, Successful treatment of a child with definite Meniere's disease with the migraine regimen, *Am. J. Otolaryngol.* 40 (3) (2019 May-Jun) 440–442.

Resumen del segundo artículo: “Normative values for the video Head Impulse Test in children without otoneurologic symptoms and their evolution across childhood by gender”.

El objetivo de este artículo es evaluar los valores de las ganancias del reflejo vestibulo-ocular en niños sanos en diferentes grupos de edad y compararlos con los valores de referencia de la normalidad en población adulta.

Métodos: Este es un estudio prospectivo de 187 niños reclutados entre pacientes sin enfermedades otoneurológicas, familiares sanos de esos pacientes, y familiares de trabajadores de un hospital de tercer nivel. Estos pacientes se dividieron en tres grupos de edad: de 3–6 años, 7–10 años, y de 11–16 años.

Se evaluaron las ganancias del reflejo vestibulo-ocular usando el equipo de video Head Impulse Test EyeSeeCam® de Interacoustics.

Resultados: Encontramos valores menores de ganancias en ambos canales semicirculares horizontales en el grupo de edad de 3–6 años cuando se comparó con los niños mayores de esta edad. No se encontró la misma tendencia en las ganancias de los canales semicirculares horizontales entre los grupos de edad de 7–10 años y 11–16 años, y tampoco se encontró diferencia en los valores entre los sujetos de diferente sexo del mismo grupo de edad.

Conclusión: Los valores de ganancia del reflejo vestibulo-ocular de los canales semicirculares horizontales aumentan con la edad hasta que los niños llegan al grupo de edad de 7-10 años, cuando igualan al valor normal de la población adulta.



Normative values for the video Head Impulse Test in children without otoneurologic symptoms and their evolution across childhood by gender

Rosana Rodríguez-Villalba^{1,2} · Miguel Caballero-Borrego^{3,4}

Received: 30 November 2022 / Accepted: 22 February 2023
© The Author(s) 2023

Abstract

Purpose The video Head Impulse Test is routinely used to assess semicircular canal function in adults, but to date, pediatric reference values are scarce. This study aimed to explore the vestibulo-ocular reflex (VOR) in healthy children at different development stages and to compare the obtained gain values with reference to those in an adult population.

Methods This prospective, single-center study recruited 187 children from among patients without otoneurological diseases, healthy relatives of these patients, and staff families from a tertiary hospital. Patients were divided into three groups by age: 3–6 years, 7–10 years, and 11–16 years. The vestibulo-ocular reflex was assessed by video Head Impulse Test, using a device with a high-speed infrared camera and accelerometer (EyeSeeCam[®]; Interacoustics, Denmark).

Results We found a lower vestibulo-ocular reflex gain of both horizontal canals in the 3–6-year-old group when compared with the other age groups. No increasing trend was found in the horizontal canals from age 7–10 years to age 11–16 years, and no differences were found by sex.

Conclusion Gain values in the horizontal canals increased with age until children reached age 7–10 years and matched the normal values for adults.

Keywords Adolescent · Balance · Children · Vertigo · Vestibulo-ocular reflex · Video head impulse test

Introduction

Vertigo is a more common complaint among adults than in the pediatric population [1]. However, the incidence of vestibular disorders during childhood is rising, probably due to greater awareness of their existence and the improvements in otoneurological and vestibular diagnosis [2–5]. Indeed, various reports describe children with vestibular dysfunction

[6–10], including those presenting as complications after cochlear implantation [11], Meniere's disease [12], otitis media with effusion [13], cytomegalovirus infection [14], primary ciliary dyskinesia [15], sensorineural hearing loss [16], and migraine [8, 17]. In response, criteria have recently been published for the diagnosis and management of vestibular migraine of childhood, probable vestibular migraine of childhood, and recurrent vertigo of childhood [18], based on patient-reported clinical features. Otoneurological evaluation and the diagnosis of vestibular disorders are also more challenging in young children than in adults because of the difficulty describing unsteadiness and vertigo accurately [17, 19, 20]. Consequently, vestibular disorders are often confused with neurological, motor, or coordination problems, leading to other specialists assessing them before referral to an otolaryngologist, which could delay the achievement of motor skills [21]. All patients with these symptoms should therefore undergo objective tests of their vestibular function [22].

The examination of eye movement is of utmost importance for the diagnosis of vestibular disorders and should

✉ Miguel Caballero-Borrego
mcaba@clinic.cat

¹ Department of Otorhinolaryngology, Hospital Sant Joan de Déu, Barcelona, Spain

² Department of Otorhinolaryngology, Althaia Xarxa Assistencial Universitària de Manresa, Manresa, Spain

³ Otorhinolaryngology-Head and Neck Surgery Department, Hospital Clínic, University of Barcelona, C/Villarroel, 170, Esc. 8, 2^a, 08036 Barcelona, Spain

⁴ Institut d'Investigacions Biomèdiques August Pi Sunyer (IDIBAPS), University of Barcelona, Barcelona, Spain

include assessment of the vestibulo-ocular reflex (VOR), nystagmus, and saccades [23]. Most vestibular tests evaluate the VOR, which acts to stabilize the gaze during head movements. Nystagmus refers to physiological or pathological involuntary eye movement, with pathology typically resulting from central nervous system disorders, toxicity, alcohol, and drugs. *Saccades* consist of a rapid eye movement that orientates gaze toward a target and locate its image onto the fovea [17, 24]. However, the VOR may only be altered during or shortly after an episode of vertigo, with disturbances occurring when asymptomatic [25]. Vestibular diagnosis is difficult in young children because it requires collaboration and can be influenced by anatomical and functional artifacts [26, 27].

The video Head Impulse Test (vHIT) is typically used to record abnormal eye movements or saccades, which may not be visible to the naked eye, and provide quantitative assessment of the VOR [26, 27]. This can reveal vestibular dysfunction. Furthermore, the vHIT can quantify semicircular canal function by measuring VOR gain (the ratio of the eye movement response to passive head movement applied during acceleration) [28]. To complete the test and minimize errors caused by slippage, patients must wear tight-fitting goggles that hold a camera. This tight fit can be difficult for children to tolerate and is a major reason for artifacts in the pediatric population [22, 29]. The vHIT should also be performed with high rotational velocities (150°/s or more) because most patients with unilateral vestibular dysfunction will have normal VOR gains at lower speeds [20, 30]. It is possible, for example, that lower velocities are experienced during normal activities that require compensatory processes. Therefore, pulses at low velocities should be considered invalid and discarded.

Another problem with the VOR gain recorded by the vHIT is the lack of normal values for the pediatric populations. Whereas some consensus exists for normal values in adults [30, 31], the lack of data on vHIT values in children without dizziness forces a reliance on adult reference values irrespective of age. Therefore, this study aimed to evaluate the VOR gain values measured by vHIT in children without otoneurological symptoms and to quantify their evolution through childhood. These results may be useful as reference values when evaluating children with vestibular disorders.

Methods

Subjects

This prospective study included 187 children from among healthy patients, the healthy relatives of those patients, and the families of staff at our tertiary hospital. Patients were divided into three age groups (3–6, 7–10, and 11–16 years)

after excluding those diagnosed with otoneurologic or ophthalmologic disorders, sleep apnea, and morbid obesity, as well as those using vestibular sedatives and wearing corrective glasses. A minimum sample size of 30 subjects per group was required to achieve statistical power.

Written informed consent was provided by all parents. The study was conducted in accordance with the ethical standards of the Declaration of Helsinki and was approved by the Ethics committee of our institution (file number: PS-09-20).

Protocol

All subjects underwent complete otomicroscopic and otoneurologic examination, including tympanometry, Dix-Hallpike and McClure maneuvers, and balance assessment by the Romberg, tandem walk, and Unterberger–Fukuda tests. We then performed the vHIT between February 2019 and March 2021 to assess the VOR, using a device with a high-speed infrared camera and accelerometer (EyeSeeCam® Interacoustics, Denmark). This provided data on the gain values for the six semicircular canals, together with the presence or absence of saccades. Children were asked to fix their sight on a dot placed on the wall 1 m away, with cartoon stickers used to attract the attention of children aged 3–6 years old. All data were collected by the same examiner. Tests considered invalid due to a lack of co-operation, excessive blinking, involuntary cervical muscle contraction, or any other factor that diminished reproducibility were discarded. Consistent with the protocol reported by Zamaro et al., artifacts or invalid impulses due to high or low test velocity were also excluded [32].

Statistical analysis

Categorical data were compared using chi-squared or Fisher's exact tests, as appropriate, and continuous data were assessed using analysis of variance. The Mann–Whitney *U* test was used to compare the mean VOR gain values by age and gender, with Bonferroni multiple comparison post-hoc tests used to compare median VOR gain values among the age groups. The relationship between the VOR gain values in any canal and age was analyzed by Spearman's rank correlation. All statistical analyses were performed using IBM SPSS, version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA), and *P*-values of <0.05 were considered statistically significant.

Results

Of the 187 children (117 girls and 70 boys) enrolled in this study, 34 (18.2%) were aged 3–6 years old, 69 (36.9%) were aged 7–10 years old, and 84 (44.9%) were

aged 11–16 years old. Table 1 and Fig. 1 show the VOR gains for the six semicircular canals by age. The mean VOR gains differed between the three age groups in all

six canals ($P < 0.001$). Bonferroni's multiple comparison post-hoc tests (Table 2) revealed that the VOR gain values in 3–6-year-old group were most relevant to daily clinical

Table 1 Vestibulo-ocular reflex gain values in each semicircular canal by age

Semicircular canal	Age															P
	3–6 Years Old					7–10 Years Old					11–16 Years Old					
	Mean	SD	Median	P25	P75	Mean	SD	Median	P25	P75	Mean	SD	Median	P25	P75	
Right horizontal	0.78	0.02	0.78	0.77	0.79	0.83	0.04	0.83	0.80	0.86	0.82	0.05	0.81	0.78	0.83	<0.001
Left horizontal	0.76	0.02	0.76	0.74	0.77	0.81	0.04	0.80	0.78	0.83	0.81	0.04	0.80	0.78	0.84	<0.001
Right anterior	0.75	0.03	0.76	0.72	0.78	0.78	0.04	0.79	0.77	0.80	0.75	0.08	0.74	0.68	0.80	<0.001
Left posterior	0.72	0.03	0.72	0.70	0.74	0.76	0.04	0.77	0.75	0.78	0.74	0.08	0.74	0.67	0.80	<0.001
Left anterior	0.72	0.04	0.72	0.69	0.76	0.76	0.04	0.77	0.74	0.78	0.72	0.09	0.70	0.65	0.80	<0.001
Right posterior	0.70	0.04	0.70	0.67	0.72	0.74	0.04	0.75	0.72	0.77	0.71	0.08	0.71	0.66	0.78	<0.001

Fig. 1 Box chart of the gain values for the vestibulo-ocular reflex in the six canals by age

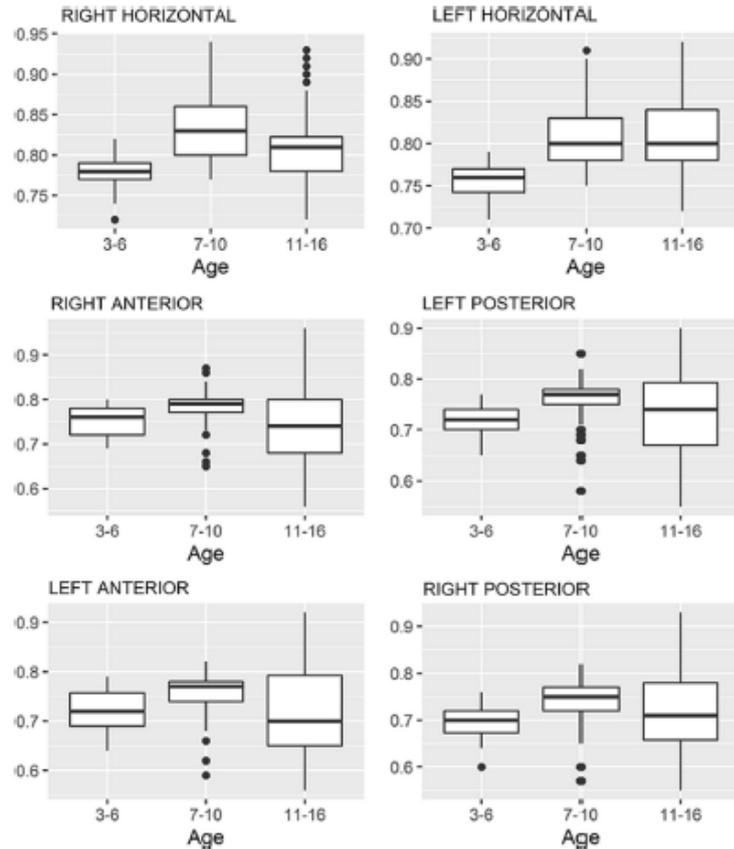


Table 2 Bonferroni's multiple comparison post-hoc tests of vestibulo-ocular reflex gain values in each semicircular canal by age

Semicircular canal	Age group (years)		
	3–6 vs 7–10	3–6 vs 11–16	7–10 vs 11–16
Right horizontal	<0.001	<0.001	0.013
Left horizontal	<0.001	<0.001	1.000
Right anterior	0.002	1.000	0.001
Left posterior	<0.001	0.040	0.069
Left anterior	0.004	1.000	0.001
Right posterior	0.001	0.335	0.013

Bold values denote statistical significance

Table 3 Spearman's rho correlation of mean gains with age for each semicircular canal. Bold values denote statistical significance.

Semicircular canal	Correlation coefficient	<i>P</i>
Right horizontal	0.157	0.032
Left horizontal	0.384	< 0.001
Right anterior	-0.051	0.488
Left posterior	0.107	0.144
Left anterior	-0.059	0.421
Right posterior	0.025	0.736

Bold values denote statistical significance

practice, with lower results than in the other groups for both horizontal canals. No increasing trends were observed in the horizontal canals from the 7–10-year-old to 11–16-year-old groups. Spearman's rho correlation of the mean gains in each canal by age detected a positive correlation in both horizontal canals, though this was lower in the right (0.157) than in the left (0.384) (Table 3). No correlation was demonstrated in the anterior or posterior canals. Finally, Table 4 and Fig. 2 show the VOR gain values by sex, revealing no statistical differences ($P > 0.001$) in the values for any canal between the two groups.

Table 4 Vestibulo-ocular reflex gain values for each semicircular canal by sex

Semicircular canal	Participant sex										<i>P</i>
	Girl					Boy					
	Mean	SD	Median	P25	P75	Mean	SD	Median	P25	P75	
Right horizontal	0.82	0.04	0.81	0.79	0.84	0.81	0.05	0.80	0.78	0.84	0.245
Left horizontal	0.80	0.04	0.79	0.77	0.83	0.80	0.04	0.79	0.78	0.82	0.639
Right anterior	0.76	0.06	0.77	0.72	0.79	0.76	0.06	0.78	0.71	0.80	0.494
Left posterior	0.74	0.06	0.75	0.71	0.78	0.74	0.06	0.75	0.70	0.78	0.973
Left anterior	0.73	0.07	0.74	0.69	0.78	0.74	0.08	0.76	0.69	0.78	0.699
Right posterior	0.72	0.06	0.72	0.67	0.77	0.72	0.07	0.74	0.68	0.77	0.591

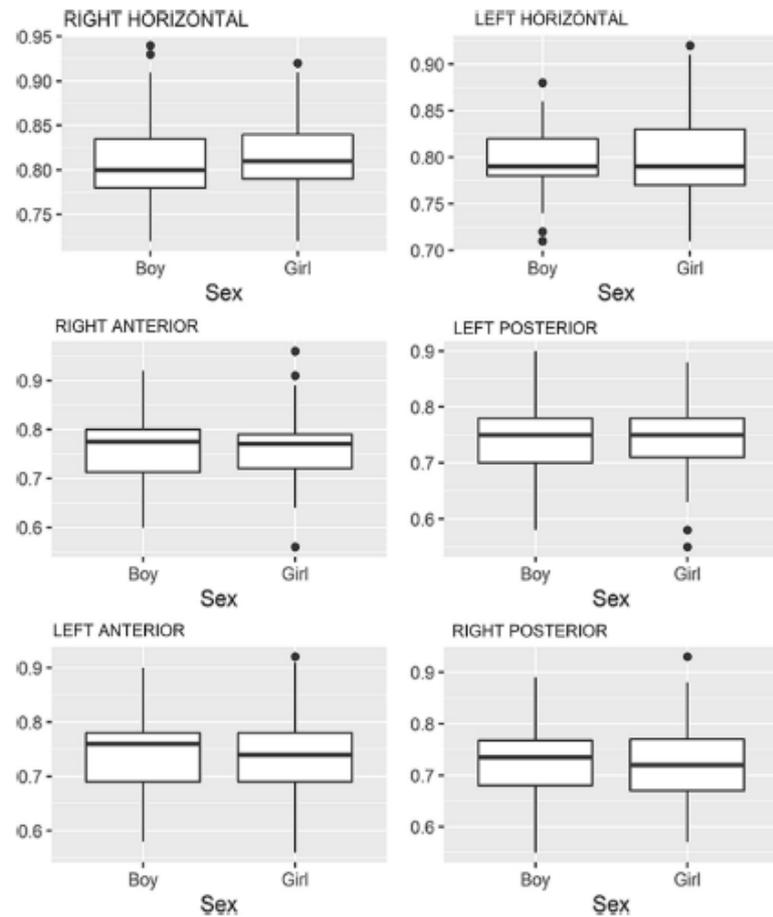
Discussion

Evidence suggests that the incidence of vestibular disorders is increasing in pediatric populations [3, 4, 8–10, 33, 34]. Although vHIT is among the most widely used methods for studying vertigo, normal VOR gain values have not been established for young children. This may reflect the difficulty in performing a complete vestibular evaluation, especially in the young and when patients may have hearing loss, neurological disorders, or developmental disorders [1, 5, 26].

The present study reports the vHIT results for healthy children at three developmental stages to provide reference values. We show that the VOR gains of the horizontal semicircular canals were more homogeneous than those of the anterior or posterior canals. This probably reflects the relative ease of applying head acceleration to study the horizontal semicircular canals compared with the vertical canals [29], even though most children have better ranges of neck movement than older people. Although Wiener-Vacher and Wiener have also reported normal values for infants and children, their results are not comparable to ours because they used a remote camera system to avoid intolerance of the tight-fitting goggles in classical vHIT testing [29]. Some authors also describe that children produce more artifacts than adults and that greater care is required to avoid technical errors in children [26].

Cut-off values for VOR gain may vary by age even in adult populations, though normal values probably sit between 0.8 and 1.0 [27]. The researchers also demonstrated an optimal cut-off point of 0.7 (specificity, 100%; sensitivity, 67%) in a non-healthy pediatric cohort [27], consistent with our results among younger children. It seems that the VOR gain is low in children younger than 3 years old [20] and that it follows a rapid increase until age 6 years. Therefore, progress slows to age 16 years, when adult values are achieved [20, 29], and finally decrease again from age 80 years [30, 31]. We observed a similar evolution, with the trend for VOR gains in the horizontal canals to increase rapidly until age 7–10 years and then stabilize to

Fig. 2 Box chart of the gain values for the vestibulo-ocular reflex in the six canals by gender



age 11–16 years old. Most studies also confirm that no differences exist between older children or adolescents and adults [27, 35, 36]. Contrasting with these results, however, some authors have not observed changes from age 4 years to age 18 or 20 years [27, 37]. Some of the variation among these findings may result from the different devices used, as demonstrated by van Dooren et al. when comparing the EyeSeeCam (Interacoustics VOG; Munich, Germany), ICS Impulse (GN Otometrics; Taastrup, Denmark), and Ulmer (Synapsys, Marseille, France) in adults [38]. For example, when analyzing normative values for semicircular canal function in adolescents aged 11–18 years with the Otometrics IC Impulse vHIT, Emekci et al. obtained mean VOR gain values higher than ours (i.e., 0.89 and 0.87 for the lateral and posterior canals, respectively) [39]. They also found no age-related differences among adolescents, consistent with our data for adolescents aged 11–16 years old [39]. When using the EyeSeeCam device, Retamal et al. found no

differences between their 5–10-year-old and 11–17-year-old groups, although this research was also limited by a particularly small sample size [40]. Surprisingly, and contrasting with our findings, they also found differences between the VOR gain values of the right and left horizontal canals [40].

Although the vestibular end organs are considered mature even before birth [41], anatomical and functional development could explain the changes in VOR gain with age. Notably, central pathways in the cerebellum that are important for controlling the VOR lack maturation at birth and mature during the first years of life [42]. Another reason for could be that anatomical changes occur in eye size and interpupillary distance during childhood [43]. Children under 3 years of age often have hypermetropia, which could compromise their view of the target during the vHIT [44]. These factors, together with the lack of co-operation and poor fit of goggles among young children [27], justify the exclusion of children aged < 3 years from our study.

The main limitations of this study are the difficulty in performing examinations in young children and the differences in anatomical development and neurological maturation between subjects in each age group. Both factors may have affected the results. Future prospective studies should include more participants grouped into shorter age groups to define the range of normal test values for children at different ages.

Conclusion

The vHIT is a reliable, non-invasive, and easy-to-perform test that can be used in emergency rooms to assess children with dizziness or vertigo, potentially avoiding the need for costly CT scans or MRI that frequently require sedation. However, the vHIT test results are difficult to interpret in pediatric populations because standard gain values have not been fully established for children without otoneurological pathology. Our results suggest that the gain values of horizontal canals increase with age until age 7–10 years, when the normal values remain largely stable to adolescence and approximate normal values in adults. We also found no differences by sex. The reference values identified in this study have the potential to inform the evaluation of children with vestibular disorders. Research with other vestibular tests should now try to elucidate the evolution or maturation of pathways necessary for the VOR and how these affect age-specific normal values.

Acknowledgements We would like to thank Dr Robert Sykes and Michael Maudsley, scientific editors at the Language Services of the University of Barcelona, for help with the English.

Funding Open Access funding provided thanks to the CRUE-CSIC agreement with Springer Nature.

Availability of data and materials The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author, [MC], upon reasonable request.

Declarations

Conflict of interest The authors have no conflicts of interest to disclose.

Disclosure No financial support or financial interests reported.

Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will

need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

References

- Maudoux A, Vitry S, El-Amraoui A (2022) Vestibular deficits in deafness: clinical presentation, animal modeling, and treatment solutions. *Front Neurol* 13:1–26. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.816534>
- Christy JB (2018) Considerations for testing and treating children with central vestibular impairments. *Semin Hear* 39:321–333. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666821>
- Brodsky JR, Lipson S, Bhattacharyya N (2020) Prevalence of pediatric dizziness and imbalance in the United States. *Otolaryngol neck Surg Off J Am Acad Otolaryngol Neck Surg* 162:241–247. <https://doi.org/10.1177/0194599819887375>
- Hülse R, Biesdorf A, Hörmann K et al (2019) Peripheral vestibular disorders: an epidemiologic survey in 70 million individuals. *Otol Neurotol* 40:88–95. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002013>
- Hazen M, Cushing SL (2021) Vestibular evaluation and management of children with sensorineural hearing loss. *Otolaryngol Clin North Am* 54:1241–1251. <https://doi.org/10.1016/j.otc.2021.08.001>
- Dhondt C, Dhooge I, Maes L (2019) Vestibular assessment in the pediatric population. *Laryngoscope* 129:490–493. <https://doi.org/10.1002/lary.27255>
- Zhou G, Goutos C, Lipson S, Brodsky J (2018) Clinical significance of spontaneous nystagmus in pediatric patients. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 111:103–107. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.06.007>
- Devaraja K (2018) Vertigo in children; a narrative review of the various causes and their management. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 111:32–38. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2018.05.028>
- Wiener-Vacher SR, Quarez J, Le PA (2018) Epidemiology of vestibular impairments in a pediatric population. *Semin Hear* 39:229–242
- Sommerfleck PA, González Macchi ME, Weinschelbaum R et al (2016) Balance disorders in childhood: main etiologies according to age. Usefulness of the video head impulse test. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 87:148–153. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2016.06.020>
- Jacot E, Van Den Abbeele T, Debré HR, Wiener-Vacher SR (2009) Vestibular impairments pre- and post-cochlear implant in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 73:209–217. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2008.10.024>
- Abouzari M, Abiri A, Djalilian HR (2019) Successful treatment of a child with definite Meniere's disease with the migraine regimen. *Am J Otolaryngol Head Neck Med Surg* 40:440–442. <https://doi.org/10.1016/j.amjoto.2019.02.004>
- Tozar M, Cömert E, Şencan Z et al (2020) Video head impulse test in children with otitis media with effusion and dizziness. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol*. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2019.109783>
- Dhondt C, Maes L, Oostra A, Dhooge I (2019) Episodic vestibular symptoms in children with a congenital cytomegalovirus infection: a case series. *Otol Neurotol* 40:E636–E642. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000002244>
- Zawawi F, Papsin BC, Dell S, Cushing SL (2022) Vestibular and balance impairment is common in children with primary ciliary dyskinesia. *Otol Neurotol* 43:e355–e360
- Gadsbøll E, Erbs AW, Hougaard DD (2022) Prevalence of abnormal vestibular responses in children with sensorineural hearing

- loss. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 279:4695–4707. <https://doi.org/10.1007/s00405-021-07241-2>
17. Rodríguez-Villalba R, Caballero-Borrego M, Villarraga V et al (2020) Vestibulo-ocular reflex assessed with video head impulse test in children with vestibular migraine: our experience. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 137:110161. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110161>
 18. Van De Berg R, Widdershoven J, Bisdorff A et al (2021) Vestibular migraine of childhood and recurrent vertigo of childhood: diagnostic criteria consensus document of the committee for the classification of vestibular disorders of the Bárány Society and the international headache society. *J Vestib Res Equilib Orient* 31:61–67. <https://doi.org/10.3233/VES-200003>
 19. Gruber M, Cohen-Kerem R, Kammer M, Shupak A (2012) Vertigo in children and adolescents: characteristics and outcome. *Sci World J* 2012:109624. <https://doi.org/10.1100/2012/109624>
 20. Janky KL, Rodriguez AI (2018) Quantitative vestibular function testing in the pediatric population. *Semin Hear* 39:257–274. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1666817>
 21. Singh A, Raynor EM, Lee JW et al (2021) Vestibular dysfunction and gross motor milestone acquisition in children with hearing loss: a systematic review. *Otolaryngol Neck Surg* 165:493–506. <https://doi.org/10.1177/0194599820983726>
 22. Hülse R, Hörmann K, Servais JJ et al (2015) Clinical experience with video head impulse test in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 79:1288–1293. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2015.05.034>
 23. Kheradmand A, Zee DS (2012) The bedside examination of the vestibulo-ocular reflex (VOR): an update. *Rev Neurol (Paris)* 168:710–719. <https://doi.org/10.1016/j.neurol.2012.07.011>
 24. Beranek M, Lambert FM, Sadeghi SG (2014) Functional development of the vestibular system: sensorimotor pathways for stabilization of gaze and posture. In: Romand R, Varela-Nieto I (eds) *Development of auditory and vestibular systems*. Academic Press, San Diego, pp 449–487
 25. Bernetti L, Pellegrino C, Corbelli I et al (2018) Subclinical vestibular dysfunction in migraineurs without vertigo: a clinical study. *Acta Neurol Scand* 138:270–277. <https://doi.org/10.1111/ane.12941>
 26. Kim K-S, Jung YK, Hyun KJ et al (2020) Usefulness and practical insights of the pediatric video head impulse test. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 139:110424. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2020.110424>
 27. Hamilton SS, Zhou G, Brodsky JR (2015) Video head impulse testing (VHIT) in the pediatric population. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 79:1283–1287. <https://doi.org/10.1016/j.ijporl.2015.05.033>
 28. Yang CJ, Lee JY, Kang BC et al (2016) Quantitative analysis of gains and catch-up saccades of video-head-impulse testing by age in normal subjects. *Clin Otolaryngol* 41:532–538. <https://doi.org/10.1111/coa.12558>
 29. Wiener-Vacher SR, Wiener SI (2017) Video head impulse tests with a remote camera system: normative values of semicircular canal vestibulo-ocular reflex gain in infants and children. *Front Neurol* 8:1–14. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00434>
 30. McGarvie LA, MacDougall HG, Halmagyi GM et al (2015) The video head impulse test (vHIT) of semicircular canal function—age-dependent normative values of VOR gain in healthy subjects. *Front Neurol* 6:1–11. <https://doi.org/10.3389/fneur.2015.00154>
 31. Strupp M, Grimberg J, Teufel J et al (2020) Worldwide survey on laboratory testing of vestibular function. *Neurol Clin Pract* 10:379–387. <https://doi.org/10.1212/cpj.0000000000000744>
 32. Zamaro E, Tehrani ASS, Kattah JC et al (2020) VOR gain calculation methods in video head impulse recordings. *J Vestib Res Equilib Orient* 30:225–234. <https://doi.org/10.3233/VES-200708>
 33. Balzanelli C, Spataro D, Redaelli de Zinis LO (2021) Prevalence of pediatric and adolescent balance disorders: Analysis of a mono-institutional series of 472 patients. *Children* 8:1–11. <https://doi.org/10.3390/children8111056>
 34. Fancello V, Palma S, Monzani D et al (2021) Vertigo and dizziness in children: an update. *Children*. <https://doi.org/10.3390/children8111025>
 35. Janky KL, Givens D (2016) Vestibular, visual acuity and balance outcomes in children with cochlear implants: a preliminary report. *Ear Hear* 176:139–148. <https://doi.org/10.1097/AUD.000000000000194.Vestibular>
 36. Ross LM, Helminski JO (2016) Test–retest and interrater reliability of the video head impulse test in the pediatric population. *Otol Neurotol* 37:558–563. <https://doi.org/10.1097/MAO.0000000000001040>
 37. Lehnen N, Ramaioli C, Todd NS et al (2017) Clinical and video head impulses: a simple bedside test in children. *J Neurol* 264:1002–1004
 38. van Dooren TS, Starkov D, Lucieer FMP et al (2020) Comparison of three video head impulse test systems for the diagnosis of bilateral vestibulopathy. *J Neurol* 267:256–264. <https://doi.org/10.1007/s00415-020-10060-w>
 39. Emekci T, Uğur KŞ, Cengiz DU, Men Kılınç F (2021) Normative values for semicircular canal function with the video head impulse test (vHIT) in healthy adolescents. *Acta Otolaryngol* 141:141–146. <https://doi.org/10.1080/00016489.2020.1836396>
 40. Retamal SR, Díaz PO, Fernández AM et al (2021) Assessment protocol and reference values of vestibulo-ocular reflex (VOR) gain in the horizontal plane recorded with video-head impulse test (VHIT) in a pediatric population. *Codas* 33:1–7. <https://doi.org/10.1590/2317-1782/20202020076>
 41. Nikolaeva EI, Efimova VL, Vergunov EG (2022) Integration of vestibular and auditory information in ontogenesis. *Children* 9:1–12. <https://doi.org/10.3390/children9030401>
 42. Romero JE, Coupe P, Lanuza E et al (2021) Toward a unified analysis of cerebellum maturation and aging across the entire lifespan: a MRI analysis. *Hum Brain Mapp* 42:1287–1303. <https://doi.org/10.1002/hbm.25293>
 43. Helo A, Pannasch S, Sirri L, Rämä P (2014) The maturation of eye movement behavior: scene viewing characteristics in children and adults. *Vision Res* 103:83–91. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.08.006>
 44. Mezer E, Meyer E, Wygnanski-Jaffe T et al (2015) The long-term outcome of the refractive error in children with hypermetropia. *Gräfe's Arch Clin Exp Ophthalmol Albr von Graefes Arch für Klin und Exp Ophthalmol* 253:1013–1019. <https://doi.org/10.1007/s00417-015-3033-z>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Discusión

La evidencia científica actual sugiere que la incidencia de la patología vestibular en la población pediátrica está aumentando [1, 23, 28, 42]. En las clínicas especializadas en trastornos del equilibrio y patología vestibular la prevalencia de la disfunción vestibular en la población infantil varía de 20 a 36.5% [24]. Una de las principales causas es el aumento de la consciencia de los pediatras, los neurólogos y los otorrinolaringólogos, así como de la población general sobre la patología vestibular y las causas otológicas de mareo o vértigo en niños. [16]

Además de la implicación evidente del vértigo y la inestabilidad en la edad infantil, existe evidencia de que los niños con disfunción vestibular bilateral presentan retraso severo en los hitos más importantes del desarrollo motor [40]. Desafortunadamente, no existe un protocolo de evaluación uniforme para la función vestibular y el equilibrio en niños. Este asunto puede ser objeto del siguiente paso en la investigación clínica de este tema, ya que es complejo valorar el impacto de la disfunción vestibular asociada o no a hipoacusia si no existe un consenso sobre las pruebas a hacer. Está claro que los niños con hipoacusia neurosensorial profunda o severa presentan mayor incidencia de disfunción vestibular, pero deberíamos conocer el impacto de ésta en niños con menor grado de hipoacusia para valorar la necesidad de iniciar rehabilitación vestibular temprana.[31] En este sentido, son necesarias más herramientas objetivas y subjetivas, como cuestionarios dirigidos a niños y a tutores o padres, para evaluar el impacto en la calidad de vida que tiene la patología vestibular en la vida diaria de estos pacientes. [48, 51]

Con el conocimiento de que el sistema vestibular permite la orientación, la deambulación y la estabilidad principalmente mediante dos vías: el reflejo vestibulo-ocular (encargado de estabilizar la mirada durante los movimientos) y el reflejo vestibulo-espinal (encargado de estabilizar la postura mediante el cambio de tono cervical, de los miembros y del tronco), se describió la maniobra de Halmagyi-Curthoys o prueba de impulso cefálico (HIT, por sus siglas en inglés). [7]

Hasta hace 20 años, el HIT era la prueba clínica con mayor rendimiento ante un síndrome vestibular agudo, ya que permite valorar el RVO mediante la existencia de sacadas en caso de un fallo vestibular agudo [14]. Con la llegada del vHIT, que fue presentado en 2004 en la reunión de la Sociedad Bárány, se ha mejorado el diagnóstico permitiendo la cuantificación de las ganancias del RVO.

A pesar de que el vHIT está entre las exploraciones instrumentales de función vestibular más utilizadas, existe consenso acerca de los valores normales en población adulta [Yang CJ 2016] pero no existe consenso sobre los valores normales de las ganancias en niños. Seguramente lo anterior se debe a la dificultad en completar la prueba, especialmente en niños pequeños [17, 18, 32, 47, 52]. Para completar la prueba se requiere de un mínimo de atención en el objetivo colocado en la pared, y de no parpadear durante las aceleraciones cefálicas para que la cámara sea capaz de censar los movimientos oculares mediante la captación de la imagen de la pupila.[53] Además de esto, y no menos importante, es preciso que el paciente no se recolque las gafas, ya que sería necesario recalibrar el equipo y reiniciar la prueba, lo que hace que la prueba sea especialmente complicada de completar en pacientes pediátricos y en pacientes con patología psiquiátrica o en ancianos con deterioro cognitivo.

Antes de valorar comenzar con este trabajo, se debía revisar la fisiología y el desarrollo de las vías vestibulares a lo largo de la infancia. Existe evidencia acerca del correcto funcionamiento de las conexiones de las vías existentes entre el laberinto y los núcleos oculomotores desde antes de la semana 24 de gestación. También sabemos que el nervio vestibular es el primer par craneal en completar la mielinización, es decir, que el sistema vestibular y sus conexiones son funcionales mucho antes del nacimiento [11]. De todas formas, la evolución y el establecimiento de los hitos del desarrollo hacen pensar que la maduración del equilibrio se establece gradualmente y hay evidencia que el RVO se modifica a lo largo de la vida [54], lo que fue una motivación para valorar las ganancias del RVO a lo largo de la infancia.

Durante la valoración de pacientes con diagnóstico de hipoacusia neurosensorial de diferente severidad, nos encontramos con la queja de algunos de ellos de desequilibrio o “torpeza” al ejecutar algún deporte o las actividades de la vida diaria. Fue precisamente la demanda de los padres y de los pacientes la que llevó a investigar sobre la literatura médica publicada hasta el momento acerca de la evaluación de la función vestibular en niños; evidenciándose la falta de consenso sobre las pruebas a realizar y sobre los valores normales en niños en pruebas rutinarias en las Unidades de Pruebas Vestibulares, como es el vHIT. La presencia de sacadas en el vHIT nos hace pensar en que existe o ha existido un evento que ha alterado la función vestibular, y podremos inferir si la disfunción vestibular se ha compensado dependiendo de los valores de las ganancias y de la relación de las sacadas con el movimiento cefálico.

Es importante conocer la implicación de la presencia de sacadas en la gráfica del vHIT, asociadas o no a valores de ganancia disminuidos. En los casos de hiporreflexia vestibular causada por neuritis vestibular, por ejemplo, los valores de las ganancias el RVO están globalmente disminuidos en los canales afectados y también aparecen sacadas overt de forma temprana. Los valores de las ganancias del RVO típicamente aumentan los meses posteriores a la neuritis vestibular, por ejemplo, y se ha descrito una desaceleración en la recuperación de la ganancia después de tres meses del evento [55]. En población adulta este aumento en los valores de las ganancias se puede evaluar de forma adecuada porque sabemos que los valores normales de la ganancia del RVO en la población adulta es de 0,8 a 1 [56], pero necesitábamos conocer los valores de referencia en población infantil.

La hipótesis generalizada sobre los mecanismos por los que es posible la compensación después de una neuritis vestibular es que juegan un papel fundamental dos componentes, que son la compensación central y la recuperación periférica. [55].

La compensación central es posible por el papel que juegan los núcleos vestibulares contralaterales, que se activan mediante mecanismos de plasticidad sináptica, estimulando los órganos vestibulares. La recuperación periférica ha sido objeto de estudio los últimos años y se ha confirmado en modelos animales que el daño histológico a los órganos vestibulares no siempre es definitivo [57]. Hay evidencia, con imágenes de microscopía electrónica, de que ocurren reparaciones en las sinapsis

primarias en el oído interno en casos de ototoxicidad moderada o isquemia, lo que puede hacer pensar que, en estos casos, podría haber daño parcial de estas sinapsis, lo que preservaría la información proveniente de estas vías, que se complementa con la información proveniente del vestíbulo contralateral que viajaría hacia los núcleos vestibulares del tallo cerebral, lo que facilitaría la recuperación del equilibrio electrofisiológico entre éstos (Figuras 5 y 13).

Las sinapsis pueden estar parcial o totalmente dañadas y en el primer caso la recuperación funcional se podría completar en horas o días, al llevarse a cabo mecanismos de modulación de compensación central.

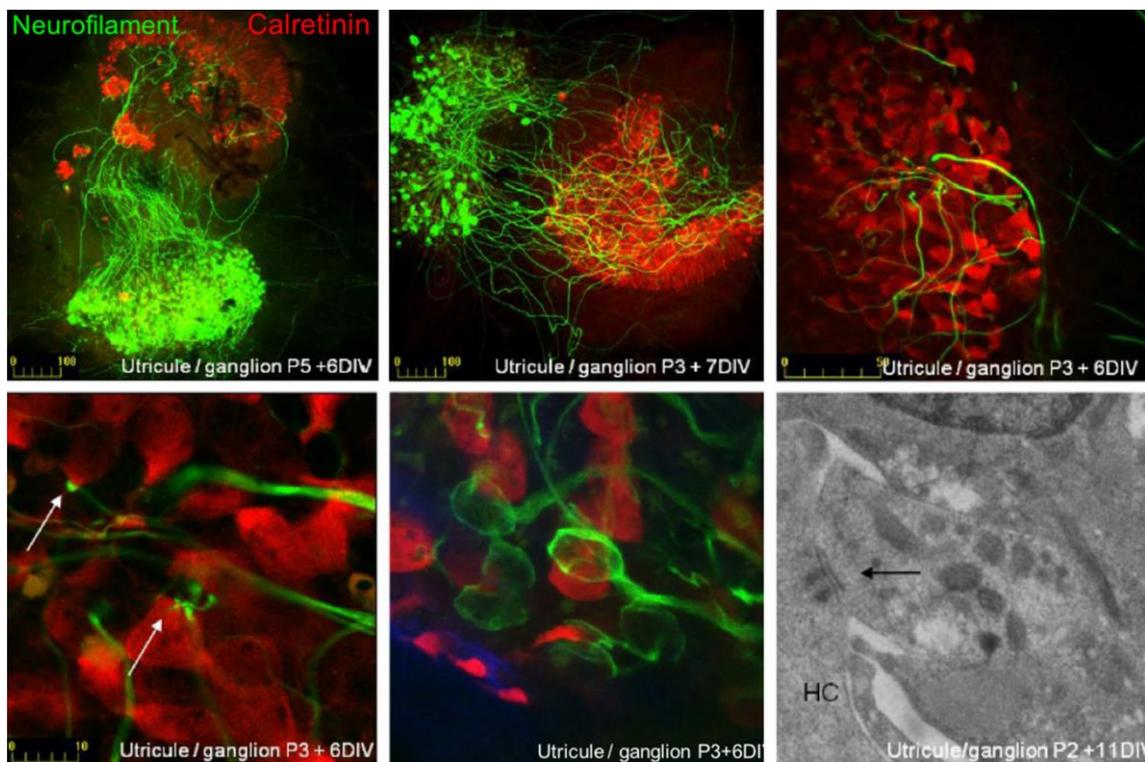


Figura 14 (con permiso de Tighilet B y colaboradores: Journal of Neurology (2019) 266 (Suppl 1): S27–S32): Plasticidad después de una lesión de las neuronas primarias vestibulares en cultivos de ganglios de Scarpa y órganos vestibulares de roedores jóvenes y adultos. Las neuronas primarias vestibulares están inmunomarcadas en verde (neurofilamento) y las células ciliadas en rojo (calretinina) en cultivos de ratas después de 6 días in vitro (DIV; arriba a la izquierda) y de ratas después de 7 DIV (arriba en el centro), destacándose el crecimiento axonal orientado hacia el epitelio sensorial. Los

procesos neuronales penetran dentro del epitelio sensorial (arriba a la derecha) e hicieron contactos de célula a célula con las células sensoriales para formar botones (abajo a la izquierda) y cálices (abajo en el centro). [57]

La observación bajo microscopía electrónica reveló características de sinapsis maduras (flecha) tales como los cuerpos densos presinápticos o las densidades postsinápticas (abajo a la derecha). [57]

En casos en los que hay un daño severo, existe evidencia en modelos animales de edema y retracción en los terminales aferentes que hacen sinapsis con las células ciliadas [58]. También en estos casos se ha descrito una reparación espontánea de estas sinapsis.

Estos hallazgos podrían explicar las disfunciones vestibulares crónicas con clínica de mareo o inestabilidad que persisten a lo largo de los años, que podrían ser debidas a una reinervación inadecuada, lo que podría enviar información errónea a los núcleos vestibulares y a la corteza [57].

En estos casos de vestibulotoxicidad o neuritis vestibular, los valores de ganancia del RVO se relacionan con el estado de pérdida o recuperación de la función vestibular, junto con la presencia de sacadas. En el caso de hiporreflexia vestibular bilateral, los pacientes refieren oscilopsia, lo que se debe a la imposibilidad de fijar los objetos en la fovea. En estos casos, los valores de la ganancia no reflejan de forma fiable la recuperación de la función del RVO, sino que debe tomarse en cuenta también la presencia de sacadas covert (incluidas en el movimiento cefálico) y la agudeza visual dinámica. A medida que la latencia de la sacada se hace más corta (de sacada overt a covert), mejora también la agudeza visual dinámica. En sujetos sanos, la agudeza visual dinámica y la presencia de sacadas covert disminuyen con la edad, lo cual se puede atribuir a cambios fisiológicos relacionados con la edad [9, 59].

De todo lo anterior se concluye que, a medida que los mecanismos de compensación vestibular actúan, la hiporreflexia vestibular se resuelve, aumentando de forma progresiva los valores de ganancia y acercándose las sacadas de forma progresiva al impulso cefálico en la gráfica. En caso de haber una buena compensación vestibular, las

ganancias vuelven a la normalidad y las sacadas se “acercan” al impulso cefálico, y, en el caso contrario, las sacadas no se agrupan y se mantienen representadas a lo largo de la gráfica y puede haber valores límite o incluso normales de ganancias. Este último caso es más frecuente en pacientes ancianos [60]

El hallazgo de valores de ganancia del RVO por debajo de los valores considerados como normales tiene una implicación conocida, pero los valores elevados de ganancia no tienen una explicación aceptada. La observación de pacientes que acudían a nuestra consulta con diagnóstico clínico de Migraña Vestibular y el hallazgo de valores altos de ganancias en sus vHITs fue un motivo para comenzar a estudiar sobre el tema, descubriendo que no hay literatura médica que explique de forma concluyente el significado de la “hiperreflexia vestibular”. [44]

Para considerar que existe una hiporreflexia o “hiperreflexia” vestibular en pacientes pediátricos, necesitábamos saber los valores de normalidad en la población infantil. Como ya se ha comentado previamente, la poca literatura médica publicada acerca de los valores de referencia de las ganancias del RVO en niños fue una motivación para trabajar en este tema.

En el segundo artículo que se incluye en este trabajo, se divide a los niños en tres grupos de edad (3 a 6 años, 7 a 10 años y 11 a 16 años) pensando en las semejanzas en neurodesarrollo que hacen que los agrupemos de esta forma. Los resultados muestran que la distribución de las ganancias de los canales semicirculares horizontales es más homogénea que la de los canales anteriores o posteriores. Probablemente lo anterior se debe a la dificultad técnica para evaluar estos canales cuando se compara con la facilidad para obtener impulsos válidos en los canales semicirculares horizontales, debido al mayor rango de movimiento cefálico al valorar estos últimos. Para obtener impulsos válidos, se necesita aplicar una aceleración de 2000 a $3000^\circ/s^2$, para lo que a veces no colaboran los niños más pequeños.

Hasta hace unos años, no disponíamos de equipos de vHIT que examinaran los seis canales semicirculares, por lo que existen publicaciones que aún hacen referencia a la evaluación de los canales semicirculares laterales solamente, lo cual hacía más difícil el

diagnóstico de las neuritis vestibulares inferiores o incompletas, por ejemplo, al no evaluarse la función del canal semicircular posterior en los equipos antiguos.

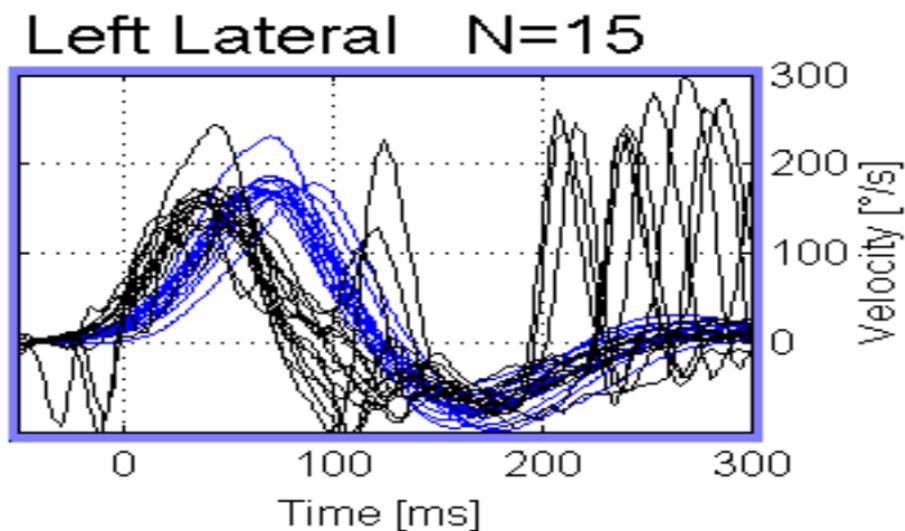


Figura 15. vHIT de paciente con sacadas overt en canal semicircular lateral izquierdo (Original de R. Rodríguez Villalba).

Existen publicaciones del grupo del servicio de Otorrinolaringología del Hôpital Necker de París [52] acerca de los valores de ganancias del RVO en población infantil normal. Dichos valores no se pueden extrapolar al vHIT usado de forma rutinaria en la mayoría de los hospitales a nivel mundial, debido a que se estudió a población infantil sin patología de base con otro equipo de vHIT (Synapsys®) que usa una cámara remota para el censo de los movimientos cefálicos y oculares (no se utilizan gafas, sino que la cámara que registra los movimientos está frente al paciente). Este equipo podría tener un problema de fiabilidad, debido a que la sensibilidad podría cambiar al usarse una cámara remota, con los artefactos que esto podría generar.

Este grupo midió las ganancias de todos los canales semicirculares de 274 niños sanos, con edades comprendidas entre los 2,6 meses y los 15 años, obteniendo valores menores de ganancias del RVO en los niños más pequeños, los cuales fueron aumentando con la edad hasta llegar a un punto de inflexión a los 6 años. De allí en

adelante, los valores fueron incrementándose hasta los 16 años, cuando alcanzaron los valores de la población adulta. Podríamos inferir que los cambios más rápidos durante los primeros seis años de vida podrían deberse a los cambios en la anatomía craneal durante esta edad y también a la maduración de las vías centrales. Sólo hacemos referencia a las vías centrales porque hay evidencia sobre la madurez de los órganos vestibulares y la mielinización de las primeras neuronas aferentes al nacimiento o muy poco después de éste [61]

Existen publicaciones que apuntan a que la ganancia del reflejo vestíbulo-ocular es baja en niños menores de 3 años, aumentando hasta la edad de 6 años [32].

Después de este aumento hasta los 6 años, el avance parece ser más lento hasta los 16 años, cuando los valores normales se igualan a los de la población adulta y se mantienen estables hasta la octava década de la vida [2, 32].

En nuestro trabajo se observó una evolución similar a esos grupos de investigación, con una tendencia a aumentar desde los 3 años hasta el grupo de 7 a 10 años y luego se estabiliza en el grupo de edad de 11 a 16 años, haciéndose los valores similares a los de la población adulta (0,8-1,0). En este sentido, se confirma lo que algunas publicaciones afirman: que los valores de las ganancias en el vHIT en la población adolescente son similares a los de la población adulta [54, 62].

En algunos casos, las variaciones en los valores de las ganancias podrían variar dependiendo del tipo de equipo de vHIT utilizado como ha sido descrito por un grupo de investigación holandés [63]. Este grupo compara las ganancias del VOR en adultos obtenidas con los tres tipos de vHIT que hay en el mercado actualmente, que son EyeSeeCam (Interacoustics VOG; Munich, Germany), ICS Impulse (GN Otometrics; Taastrup, Denmark), y Ulmer (Synapsys, Marseille, France). Los autores compararon a 46 pacientes con Vestibulopatía Bilateral diagnosticada de acuerdo con los criterios de la Sociedad Bárány [64] y realizaron las pruebas de vHIT tomando en cuenta principalmente los valores de la ganancia del RVO, que deben ser de menos de 0,6 para cumplir los requisitos para el diagnóstico. Los impulsos con artefactos o con menor aceleración de la requerida fueron descartados y este grupo concluyó que los valores de la ganancia del RVO de las pruebas hechas con Synapsys fueron diferentes de forma

significativa comparados con los otros dos equipos: esto podría deberse a que Synapsys no usa una cámara adaptada a las gafas, sino que la cámara está ubicada lejos de la cabeza, por lo que podría ser menos sensible a las aceleraciones cefálicas y al registro y detección de la pupila de los pacientes.

En esta misma línea, en otro artículo firmado por Strupp et al. [56] se realiza una encuesta con un cuestionario que se hizo a médicos que hacían pruebas vestibulares en 38 centros de cuatro continentes. El objetivo era intentar unificar criterios sobre los valores normales y patológicos de varias pruebas vestibulares: vHIT, pruebas calóricas y VEMPs. Con esto, lo que se quiere evitar es diagnosticar al mismo paciente con función vestibular normal en un centro y alterada en otro centro, lo que a veces podría deberse a los diferentes equipos usados en cada uno de ellos. [63] Concluyen que cada centro debería usar los valores de referencia descritos por el fabricante de su equipo, y que, los centros especializados que manejan muchos pacientes, se deberían generar sus propios valores de referencia para cada prueba.

Otros autores han descrito valores de ganancias del RVO en adolescentes similares a los valores normales en la población adulta. [62] Estos autores publicaron valores ligeramente más altos de ganancias del RVO que los obtenidos en nuestro trabajo, en adolescentes entre 11 y 18. Este grupo utilizó el Otometrics IC Impulse a diferencia del equipo utilizado por nosotros (EyeSeeCam, Interacoustics Denmark). Asimismo, no encontraron diferencias significativas entre los miembros del grupo de adolescentes entre sí, lo que coincide con los datos del grupo de adolescentes estudiados en este trabajo (niños entre 11 y 16 años).

Estudiaron un grupo de cien adolescentes sanos de entre 11 y 18 años, obteniendo una ganancia media del canal semicircular lateral de 0,96, una ganancia media del canal semicircular posterior de 0,87 y un valor medio de ganancia de 0,89 del canal semicircular anterior, lo cual corresponde a los valores normales encontrados en población adulta.

En otros estudios, como el de Retamal et al., no se encontraron diferencias en las ganancias entre los niños de entre 5 y 17 años, a pesar de que estos resultados deben relativizarse debido a que la cantidad de pacientes por grupo era muy pequeña [65].

Los autores estudiaron 39 niños con edades entre 5 y 17 años, excluyendo pacientes con patología ótica (se excluyeron pacientes con historia de vértigo, alteraciones en la impedanciometría o presencia de alteraciones evidentes a la otoscopia) y describen valores similares en la población infantil y adulta, con una diferencia estadísticamente significativa entre el canal semicircular horizontal izquierdo y derecho, siendo menores los valores medios de ganancia de este último (0,93 la ganancia media del conducto semicircular derecho vs 1,08 la del izquierdo) a diferencia del resto de literatura médica al respecto, que no encuentra diferencias significativas entre los dos oídos.

A pesar de que el sistema vestibular se considera maduro incluso antes del nacimiento, pueden existir cambios funcionales e incluso anatómicos que expliquen los cambios en los valores de ganancias a lo largo de la vida [61] En la vía del RVO, las conexiones interneuronales centrales ubicadas en el cerebelo no están completamente maduras al nacimiento y completan su desarrollo durante los primeros años de vida [9][Romero JE,2021]. Otro de los motivos por los que podría haber cambios anatómicos que podrían estar relacionados con los cambios en los valores de las ganancias a lo largo de la vida podrían ser el aumento del tamaño ocular y de la distancia interpupilar durante la infancia [12, 66]. Entre las características en la esfera oftalmológica de los niños más pequeños, hay que recordar que los niños menores de tres años a menudo tienen hipermetropía, lo que podría también comprometer la visión del objetivo durante la prueba del vHIT [66] Por todo lo anterior, junto con la dificultad para ajustar las gafas del equipo y la falta de cooperación de los niños más pequeños, se decidió excluir a los niños menores de 3 años en este trabajo.

En nuestro trabajo encontramos que los valores de ganancia del RVO de los canales semicirculares horizontales fueron de distribución más homogénea que los de los canales anteriores y posteriores, lo cual probablemente sea debido al menor rango de movimiento cervical del que disponemos para aplicar la aceleración necesaria en los planos sagitales de la prueba.[21] Nuestros sujetos tuvieron una evolución similar a la de otros artículos publicados: la tendencia de los valores medios de ganancias de los canales semicirculares aumenta rápidamente hasta el grupo de edad de 7-10 años y luego se estabiliza en el grupo de edad de 11-16 años, cuando llega a equipararse a los valores normales de la población adulta.

Estos hallazgos nos parecen de interés porque nos aportan valores de referencia de utilidad en el apoyo diagnóstico de la patología vestibular en niños. Los criterios diagnósticos de la patología vestibular en niños son clínicos [50] pero durante el debut o la presentación de estas patologías, la clínica suele ser abigarrada, lo cual, unido a la dificultad de muchos niños para la descripción de los síntomas durante la anamnesis, puede resultar un problema y generar retraso en el diagnóstico y el tratamiento de estos pacientes.

En cuanto al primer artículo [67], describimos los hallazgos en los vHIT realizados a 21 niños de entre 11 y 16 años que cumplían criterios diagnósticos de Migraña Vestibular [50] Los valores de ganancia fueron superiores a lo normal y no se detectaron sacadas en ninguna de las pruebas realizadas.

Clásicamente se ha asociado la disfunción o hiporreflexia vestibular a los valores de ganancias por debajo de la normalidad, habitualmente por debajo de 0,6 [64]. Los valores de ganancia por encima de lo normal no son fácilmente justificables y, hoy en día, no disponemos de una explicación consensuada cuando obtenemos valores elevados de ganancias a pesar de haber descartado los impulsos con artefactos.

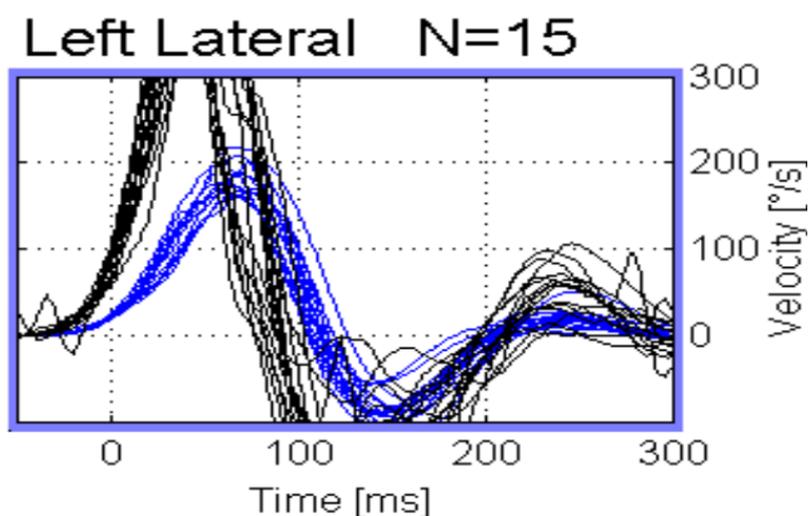


Figura 16. vHIT con ganancias elevadas en paciente con Migraña Vestibular (Original de R. Rodríguez Villalba).

Desde el inicio del uso del vHIT en las consultas de patología vestibular, hemos aprendido a interpretar los valores bajos de ganancias, así como los trazos correspondientes a los movimientos sacádicos, pero no sabemos qué implicación puede tener el valor elevado de las ganancias. Sabemos que existe control cerebelar en el RVO: los núcleos del tallo cerebral y los núcleos del cerebelo, especialmente los núcleos perihipoglosos de la médula oblongata tienen una red polisináptica encargada de regular el RVO; esto podría explicar los valores elevados de ganancias que encontramos en los pacientes con migraña vestibular, ya que podría haber una falta de inhibición de esta vía en esta patología.

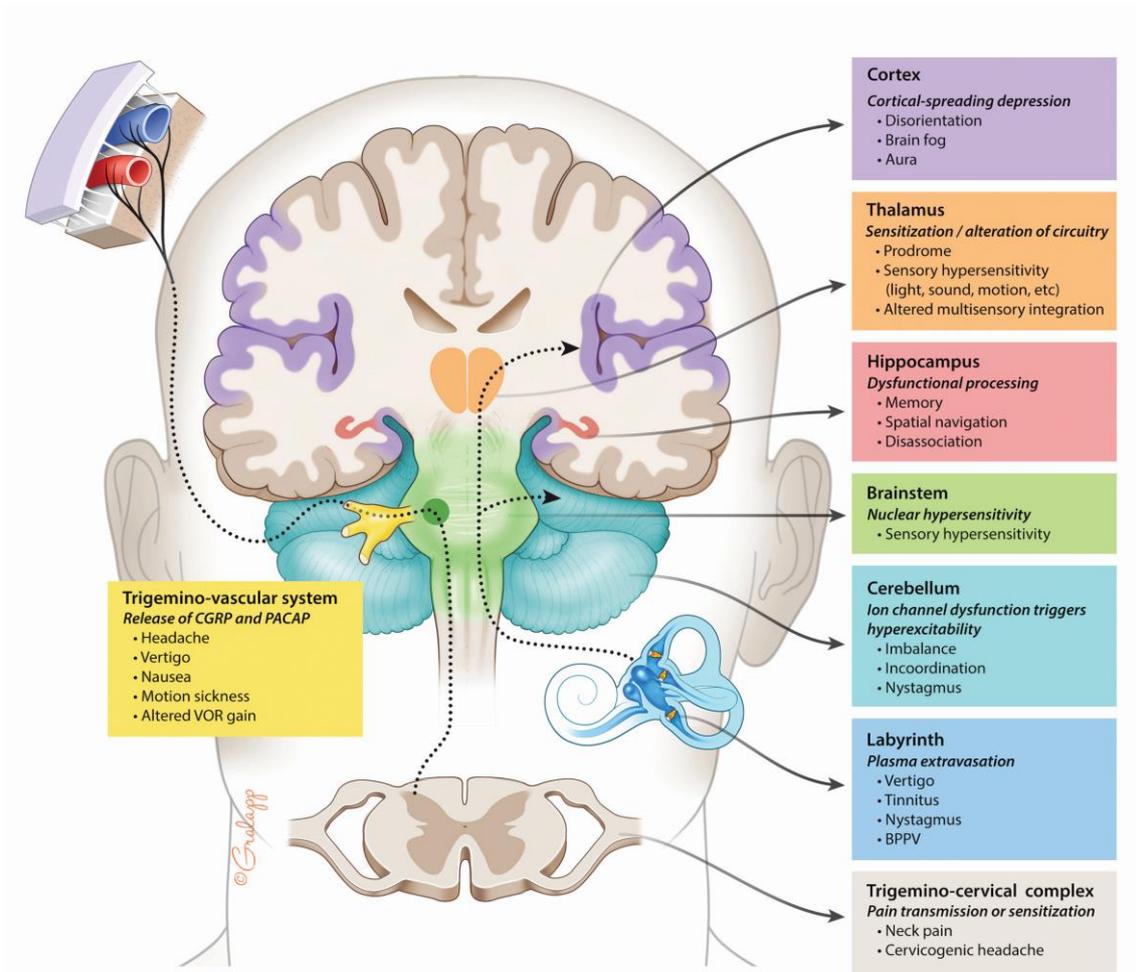


Figura 17. Síndromes asociados a la Migraña Vestibular © (2019) Chris Gralapp, usado con permiso

CRITERIOS DE MIGRAÑA VESTIBULAR DE LA INFANCIA DE LA SOCIEDAD BÁRÁNY:

Migraña Vestibular de la Infancia:

- A. *Al menos 5 episodios con síntomas vestibulares de intensidad moderada o severa, con duración entre 5 minutos y 72 horas*
- B. *Antecedentes (previos o actuales) de migraña con o sin aura*
- C. *Al menos la mitad de los episodios están asociados con al menos una de las siguientes tres características de las migrañas:*
 - 1. *Cefalea con al menos dos de las siguientes características:*
 - a) *Unilateral*
 - b) *Pulsátil*
 - c) *Cefalea de intensidad moderada o severa*
 - d) *Empeoramiento con la actividad física rutinaria*
 - 2. *Fotofobia y fonofobia*
 - 3. *Aura visual*
- D. *Edad < 18 años*
- E. *No cumple criterios diagnósticos de otro tipo de cefalea, problema vestibular u otra condición.*

Probable Migraña Vestibular de la infancia:

- A. *Al menos tres episodios con síntomas vestibulares de intensidad moderada o severa, que duran entre 5 minutos y 72 horas.*
- B. *Sólo uno de los criterios B y C para Migraña Vestibular de la infancia.*
- C. *Edad < 18 años*
- D. *No cumple criterios diagnósticos de otro tipo de cefalea, problema vestibular u otra condición*

Tabla 1. Criterios diagnósticos de Migraña Vestibular de la Infancia de la Sociedad Bárány
[50]

Como ya sabemos, los criterios diagnósticos de Migraña Vestibular se basan en características clínicas, aunque existen pacientes con características de Migraña Vestibular y enfermedad de Ménière en los que los valores de las ganancias podrían ayudar a hacer el diagnóstico diferencial y decidir el manejo y el tratamiento más adecuados. [68][El grupo de Murofushi acuñó el diagnóstico de Síndrome de

Solapamiento de estas dos entidades y estudió 10 pacientes (9 mujeres y un hombre) de entre 22 y 54 años, que presentaban una combinación de síntomas que cumplían los criterios diagnósticos para enfermedad de Ménière definitiva y para Migraña Vestibular en cada uno de los episodios que presentaban. Todos ellos tuvieron resultados de cVEMP compatibles con hidrops endolinfático, y la mitad de estos pacientes referían antecedentes familiares de trastornos vestibulares similares, lo que hace pensar que hay factores genéticos involucrados en estas patologías [46]. Es interesante pensar en la opción que plantea el grupo de Murofushi porque aún existen pacientes con síndromes vestibulares episódicos que no se pueden clasificar en ninguna de las categorías diagnósticas expuestas y publicadas previamente en la literatura médica.

Los criterios diagnósticos de la Migraña Vestibular de la Infancia son criterios clínicos y no se basan en el resultado de pruebas complementarias como el vHIT [50]. A pesar de ello, en algunos niños, especialmente los más pequeños, que pueden tener dificultades para describir sus síntomas, el vHIT puede tener especial utilidad para diagnosticar disfunción vestibular o evidenciar ganancias elevadas para valorar iniciar tratamiento en pacientes con probable Migraña Vestibular de la Infancia.

A pesar de las limitaciones de la exploración vestibular en la población infantil, existe evidencia de que, con dos impulsos a alta velocidad y sin artefactos, tenemos suficiente para evaluar la función vestibular con el vHIT en casos de condiciones difíciles como puede ser hacer la prueba en niños pequeños. El resto de los impulsos registrados a partir del tercero parece no mejorar la fiabilidad de la prueba [3]. De esta forma, el vHIT es la prueba complementaria más rápida y que nos aporta más información durante la exploración vestibular.

Antes del desarrollo del vHIT sólo podíamos valorar el RVO con las pruebas calóricas y la silla rotatoria, que son pruebas complicadas de hacer y de valorar en niños pequeños. Con el vHIT tenemos una herramienta muy valiosa para valorar el RVO y la función de los canales semicirculares que es relativamente fácil de realizar, no invasiva y de corta duración, con excepción de la prueba en niños más pequeños, de los que precisa una colaboración y una atención difíciles de lograr en este grupo de edad (menores de 3 años). La correcta anamnesis y la exploración otoneurológica completa no pueden ser sustituidas por pruebas complementarias, pero existen entidades en las que éstas

pueden ser normales y existir indicios de disfunción en el vHIT. En las Unidades de Hipoacusia de los hospitales de tercer nivel este hecho es particularmente importante, debido a que la prevalencia de disfunción vestibular en la población infantil con hipoacusia neurosensorial está entre el 20 y el 70% [24].

Seguiremos estudiando posibilidades de evaluación de la función vestibular en la población infantil, así como cuestionarios de evaluación del equilibrio y de la función vestibular en niños que nos ayuden a tomar decisiones sobre el tratamiento de los niños más pequeños con hipoacusia profunda que son candidatos a implantes cocleares [6, 25, 39, 48], ya que pueden verse perjudicados o beneficiados de un implante coclear bilateral simultáneo. En algunos casos de disfunción vestibular, los pacientes presentarán menos complicaciones postoperatorias (inestabilidad, vértigo) cuando se intervienen de forma secuencial, en caso de tener indicación de implante coclear bilateral.

Las principales limitaciones de nuestro estudio fueron la dificultad para realizar la prueba en los niños más pequeños, así como las diferencias en la anatomía y la maduración neurológica que puede existir entre individuos del mismo grupo de edad. [22] Estos factores también podrían haber afectado los resultados. Los estudios que estamos valorando realizar en el futuro deberían incluir un mayor número de niños en grupos de menor edad para definir el rango de valores normales de la ganancia del RVO para niños en edades más tempranas.

En cualquier caso, y basándonos en el trabajo de muchos años del grupo que desarrolló el vHIT [33], animamos a realizar la prueba a todos los pacientes valorados en urgencias y en consultas que acuden por síndrome vestibular, ya que, a nuestro juicio, en la actualidad es la prueba complementaria de la que se obtiene mayor rendimiento en el diagnóstico de esta patología.

Conclusiones

1. El video Head Impulse Test es una prueba fácil y rápida de realizar en niños mayores de 3 años.
2. Los valores de ganancia del reflejo vestibuloocular en población sin patología otoneurológica aumentan con la edad hasta los 7-10 años, cuando los valores permanecen estables hasta la adolescencia, aproximándose a los valores normales de la población adulta.
3. Los valores de ganancia no se ven modificados por el sexo del paciente.
4. Los valores de ganancia están elevados en pacientes pediátricos con diagnóstico de Migraña Vestibular.

Bibliografía

Referencias bibliográficas

1. Sommerfleck PA, González Macchi ME, Weinschelbaum R, De Bagge MD, Bernáldez P, Carmona S. Balance disorders in childhood: Main etiologies according to age. Usefulness of the video head impulse test. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2016) 87:148–153.
2. Wiener-Vacher SR, Quarez J, Priol A Le Epidemiology of Vestibular Impairments in a Pediatric Population. *Semin Hear* (2018) 39:229–242
3. Wenzel A, Hülse R, Thunsdorff C, Rotter N, Curthoys I. Reducing the number of impulses in video head impulse testing – It’s the quality not the numbers. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2019) 125:206–211.
4. Brodsky JR, Lipson S, Bhattacharyya N Prevalence of Pediatric Dizziness and Imbalance in the United States. *Otolaryngol Head Neck Surg* (2020) 162:241–247.
5. Hülse R, Warken C, Biesdorf A, Erhart M, Rotter N, Hörmann K, et al. Prevalence of peripheral vestibular diseases in children in Germany. *HNO* (2020) 68:360–366.
6. Janky KL, Givens D Vestibular, Visual Acuity and Balance Outcomes in Children with Cochlear Implants: A Preliminary Report. *Ear Hear*(2016) 176:139–148.
7. Beranek M, Lambert FM, Sadeghi SG Chapter 15 - Functional Development of the Vestibular System: Sensorimotor Pathways for Stabilization of Gaze and Posture(2014). In: Romand R, Varela-Nieto IBT-D of A and VS (eds). Academic Press, San Diego, pp 449–487 DOI:10.1016/B978-0-12-408088-1.00015-4
8. Halmagyi GM, Chen L, MacDougall HG, Weber KP, McGarvie LA, Curthoys IS. The

- Video Head Impulse Test. *Front Neurol* (2017) 8:258-280.
9. Romero JE, Coupe P, Lanuza E, Catheline G, Manjón J V Toward a unified analysis of cerebellum maturation and aging across the entire lifespan: A MRI analysis. *Hum Brain Mapp* (2021) 42:1287–1303.
 10. Aw ST, Haslwanter T, Halmagyi GM, Curthoys IS, Yavor RA, Todd MJ. Three-dimensional vector analysis of the human vestibuloocular reflex in response to high-acceleration head rotations. I. Responses in normal subjects. *J Neurophysiol* (1996) 76:4009–4020.
 11. Cushing SL, Papsin BC. Special considerations for the pediatric patient. *Adv Otorhinolaryngol*(2019) 82:134–142.
 12. Helo A, Pannasch S, Sirri L, Rämä P. The maturation of eye movement behavior: scene viewing characteristics in children and adults. *Vision Res* (2014) 103:83–91.
 13. Kheradmand A, Zee DS. The bedside examination of the vestibulo-ocular reflex (VOR): an update. *Rev Neurol (Paris)* (2012) 168:710–719.
 14. Kattah JC, Talkad A V, Wang DZ, Hsieh Y, Newman-Toker DE. HINTS to diagnose stroke in the acute vestibular syndrome: three-step bedside oculomotor examination more sensitive than early MRI diffusion-weighted imaging. *Stroke* (2009) 40:3504–3510.
 15. Zhou G, Goutos C, Lipson S, Brodsky J Clinical significance of spontaneous nystagmus in pediatric patients. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2018) 111:103–107.
 16. Gruber M, Cohen-Kerem R, Kaminer M, Shupak A. Vertigo in children and adolescents: characteristics and outcome. *ScientificWorldJournal* (2012):ID 109624.
 17. Kim KS, Jung YK, Hyun KJ, Kim MJ, Kim HJ. Usefulness and practical insights of the pediatric video head impulse test. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2020) 139:110424.

18. Hamilton SS, Zhou G, Brodsky JR. Video head impulse testing (VHIT) in the pediatric population. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2015)79:1283–1287.
19. Balzanelli C, Spataro D, Redaelli de Zinis LO. Prevalence of pediatric and adolescent balance disorders: Analysis of a mono-institutional series of 472 patients. *Children* (2021) 8(11):1056.
20. Fancello V, Palma S, Monzani D, Pelucchi S, Genovese E, Ciorba A . Vertigo and dizziness in children: An update. *Children* (2021) 8(11):1025.
21. Ross LM, Helminski JO .Test-retest and Interrater Reliability of the Video Head Impulse Test in the Pediatric Population. *Otol Neurotol* (2016) 37(5):558-563.
22. Lehnen N, Ramaioli C, Todd NS, Bartl K, Kohlbecher S, Jahn K, Schneider E. Clinical and video head impulses: a simple bedside test in children. *J. Neurol* (2017) 264:1002–1004
23. Casani AP, Dallan I, Navari E, Sellari Franceschini S, Cerchiai N. Vertigo in childhood: proposal for a diagnostic algorithm based upon clinical experience. *Acta Otorhinolaryngol Ital* (2015) 35:180–185
24. Hazen M, Cushing SL . Vestibular Evaluation and Management of Children with Sensorineural Hearing Loss. *Otolaryngol Clin North Am*(2021) 54:1241–1251.
25. Dhondt C, Dhooge I, Maes L .Vestibular assessment in the pediatric population. *Laryngoscope* (2019)129:490–493.
26. Christy JB. Considerations for Testing and Treating Children with Central Vestibular Impairments. *Semin Hear* (2018) 39:321–333.
27. Hülse R, Hörmann K, Servais JJ, Hülse M, Wenzel A. Clinical experience with video Head Impulse Test in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2015) 79:1288–1293.
28. Maudoux A, Vitry S, El-Amraoui A. Vestibular Deficits in Deafness: Clinical Presentation, Animal Modeling, and Treatment Solutions. *Front Neurol* (2022)13:1–26.
29. Hülse R, Biesdorf A, Hörmann K, Stuck B, Erhart M, Hülse M, Wenzel A. Peripheral

- Vestibular Disorders: An Epidemiologic Survey in 70 Million Individuals. *Otol Neurotol* (2019) 40:88–95.
30. Dhondt C, Maes L, Oostra A, Dhooge I. Episodic Vestibular Symptoms in Children with a Congenital Cytomegalovirus Infection: A Case Series. *Otol Neurotol* (2019) 40(6):E636–E642.
 31. Gadsbøll E, Erbs AW, Hougaard DD. Prevalence of abnormal vestibular responses in children with sensorineural hearing loss. *Eur Arch Oto-rhino-laryngology* (2022) 279:4695–4707.
 32. Janky KL, Rodriguez AI. Quantitative Vestibular Function Testing in the Pediatric Population. *Semin Hear* (2018) 39:257–274.
 33. Halmágyi GM, Akdal G, Welgampola MS, Wang C. Neurological update: neuro-otology 2023. *J Neurol* (2023) 270:6170–6192.
 34. MacDougall HG, Weber KP, McGarvie LA, Halmagyi GM, Curthoys IS. The video head impulse test: diagnostic accuracy in peripheral vestibulopathy. *Neurology* (2009) 73:1134–1141.
 35. Rosenfeld RM, Kay D. Natural history of untreated otitis media. *Laryngoscope* (2003) 113:1645–1657.
 36. Breinbauer K H, Anabalón B JL, Aracena C K, Nazal D, Baeza MA. Experiencia en el uso video-Impulso Cefálico (vHIT) en la evaluación del reflejo vestibulo-ocular para el canal semicircular horizontal. *Rev Otorrinolaringol y cirugía cabeza y cuello* (2013) 73:115–124.
 37. Marques P, Manrique-Huarte R, Perez-Fernandez N. Single intratympanic gentamicin injection in Ménière's disease: VOR change and prognostic usefulness. *Laryngoscope* (2015) 125:1915–1920.
 38. Tozar M, Cömert E, Şencan Z, Şimşek G, Muluk NB, Kılıç R. Video head impulse test in children with otitis media with effusion and dizziness. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2020) 129,109783.
 39. Jacot E, Van Den Abbeele T, Debre HR, Wiener-Vacher SR. Vestibular

- impairments pre- and post-cochlear implant in children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2009)73:209–217.
40. Singh A, Raynor EM, Lee JW, Smith SL, Heet H, Garrison D, et al. Vestibular Dysfunction and Gross Motor Milestone Acquisition in Children With Hearing Loss: A Systematic Review. *Otolaryngol Neck Surg* (2021) 165(4):493–506.
 41. Zawawi F, Papsin BC, Dell S, Cushing SL . Vestibular and Balance Impairment Is Common in Children With Primary Ciliary Dyskinesia. *Otol Neurotol* (2022) 43: e355–e360.
 42. Devaraja K Vertigo in children; a narrative review of the various causes and their management. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2018) 111:32–38.
 43. Lempert T, Olesen J, Furman J, Waterston J, Seemungal B, Carey J, et al. Vestibular migraine: diagnostic criteria. *J Vestib Res* (2022) 32:1–6.
 44. Bernetti L, Pellegrino C, Corbelli I, Caproni S, Eusebi P, Faralli M, et al. Subclinical vestibular dysfunction in migraineurs without vertigo: A Clinical study. *Acta Neurol Scand* (2018) 138:270–277.
 45. Abouzari M, Abiri A, Djalilian HR. Successful treatment of a child with definite Meniere’s disease with the migraine regimen. *Am J Otolaryngol* (2019) 40:440–442.
 46. Lopez-Escamez JA, Cheng AG, Grill E, Liu T-C. Editorial: Epidemiology and Genetics of Vestibular Disorders. *Front. Neurol* (2021) 12:743379
 47. Janky KL, Patterson JN, Shepard NT, Thomas MLA, Honaker JA. Effects of device on video head impulse test (vHIT) gain. *J Am Acad Audiol* (2017) 28(9): 778–785.
 48. Sommerfleck PA, Piraíno RM, Bisogno JP . Cross-cultural adaptation of the Dizziness Handicap Inventory – child/adolescent to Spanish version. Analysis of its application in children. *Acta Otorrinolaringol* (2023) 74:23–30.
 49. Martens S, Dhooge I, Dhondt C, Vanaudenaerde S, Sucaet M, Rombaut L, et al. Pediatric Vestibular Assessment: Clinical Framework. *Ear Hear* (2023) 44:423–436.

50. Van De Berg R, Widdershoven J, Bisdorff A, Evers S, Wiener-Vacher S, Cushing SL, et al. Vestibular Migraine of Childhood and Recurrent Vertigo of Childhood: Diagnostic criteria Consensus document of the Committee for the Classification of Vestibular Disorders of the Bárány Society and the International Headache Society. *J Vestib Res* (2021) 31:1-9.
51. Pérez N, Garmendia I, Martín E, Boleas MS, García-Tapia R. Health measurement instruments in patients with vertigo. *Acta Otorrinolaringol Esp* (2000) 51 (8):677–685
52. Wiener-Vacher SR, Wiener SI . Video head impulse tests with a remote camera system: Normative values of semicircular canal vestibulo-ocular reflex gain in infants and children. *Front Neurol* (2017) 8:1–14.
53. Zamaro E, Saber Tehrani AS, Kattah JC, Eibenberger K, Guede CI, Armando L, et al VOR gain calculation methods in video head impulse recordings. *J Vestib Res*(2020) 30:225–234.
54. McGarvie LA, MacDougall HG, Halmagyi GM, Burgess AM, Weber KP, Curthoys IS. The video head impulse test (vHIT) of semicircular canal function - age-dependent normative values of VOR gain in healthy subjects. *Front Neurol* (2015) 6:1–11.
55. Esteban-Sanchez J, Martin-Sanz E . Long-Term Evolution of Vestibular Compensation, Postural Control, and Perceived Disability in a Population of Patients with Vestibular Neuritis. *J Clin Med* (2022) 11:3941.
56. Strupp M, Grimberg J, Teufel J, Laurell G, Kingma H, Grill E. Worldwide survey on laboratory testing of vestibular function. *Neurol Clin Pract* (2020) 10:379–387.
57. Tighilet B, Bordiga P, Cassel R, Chabbert C . Peripheral vestibular plasticity vs central compensation: evidence and questions. *J Neurol* (2019) 266:27–32.
58. Sedó-Cabezón L, Jedynek P, Boadas-Vaello P, Llorens J. Transient alteration of the vestibular calyceal junction and synapse in response to chronic ototoxic insult in rats. *Dis Model Mech* (2015) 8:1323–1337.

59. Hermann R, Pelisson D, Dumas O, Urquizar Ch, Truy E, Tilikete C. Are Covert Saccade Functionally Relevant in Vestibular Hypofunction? *Cerebellum*(2018) 17:300–307.
60. Agrawal Y, Merfeld DM, Horak FB, Redfern MS, Manor B, Westlake KP, et al. Aging, Vestibular Function, and Balance: Proceedings of a National Institute on Aging/National Institute on Deafness and Other Communication Disorders Workshop. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* (2020) 75: 2471–2480 .
61. Nikolaeva EI, Efimova VL, Vergunov EG . Integration of Vestibular and Auditory Information in Ontogenesis. *Children* (2022) 9:1–12.
62. Emekci T, Uğur KŞ, Cengiz DU, Men Kılınç F. Normative values for semicircular canal function with the video head impulse test (vHIT) in healthy adolescents. *Acta Otolaryngol* (2021) 141:141–146.
63. van Dooren TS, Starkov D, Lucieer FMP, Vermorken B, Janssen AML, Guinand N et al. Comparison of three video head impulse test systems for the diagnosis of bilateral vestibulopathy. *J Neurol* (2020) 267:256–264.
64. Strupp M, Kim J-S, Murofushi T, Straumann D, Jen JC, Rosengren SM et al. Bilateral vestibulopathy: Diagnostic criteria Consensus document of the Classification Committee of the Bárány Society. *J Vestib Res*(2017) 27:177–189.
65. Retamal SR, Díaz PO, Fernández AM, Muñoz CG, Espinoza MR, Araya VS, et al. Assessment Protocol and Reference Values of Vestibulo-Ocular Reflex (VOR) Gain in the Horizontal Plane Recorded with Video-Head Impulse Test (VHIT) in a Pediatric Population. *CoDAS*(2021) 33:1–7.
66. Mezer E, Meyer E, Wygnansi-Jaffe T, Haase W, Shauly Y, Biglan AW. The long-term outcome of the refractive error in children with hypermetropia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* (2015) 253:1013–1019.
67. Rodríguez-Villalba R, Caballero-Borrego M, Villarraga V, Rivero V, Claveria MA, Haag O. Vestibulo-ocular reflex assessed with Video Head Impulse Test in

children with Vestibular Migraine: Our experience. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* (2020) 137:110161.

68. Murofushi T, Tsubota M, Kitao K, Yoshimura E . Simultaneous Presentation of Definite Vestibular Migraine and Definite Ménière's Disease: Overlapping Syndrome of Two Diseases. *Front Neurol* (2018) 9:749.

Referencias de figuras y tablas

Figura 1. Cúpula doblándose con el movimiento de la endolinfa © (2014) Chris Galapp, usado con permiso.

Figura 2. Ampollas de los canales semicirculares © (2016) Chris Galapp, usado con permiso.

Figura 3. Orientación coplanar de los canales semicirculares © (2016) Chris Galapp, usado con permiso.

Figura 4. Ampolla de canal semicircular © (2014) Chris Galapp, usado con permiso.

Figura 5. Sistema Vestibular Central y sus conexiones © (2016) Chris Galapp, usado con permiso.

Figura 6. Audiometría de paciente con enfermedad de Ménière derecha (original de R.Rodríguez Villalba).

Figura 7. Representación del Head Impulse Test (HIT) (Original de R. Rodríguez Villalba).

Figura 8. Cover Test normal (Original de R. Rodríguez Villalba).

Figura 9. Cover Test patológico (Original de R. Rodríguez Villalba).

Figura 10. Niño con gafas de vHIT (Original de R. Rodríguez Villalba).

Figura 11. Ejemplo de vHIT con sacadas overt en un paciente con hiporreflexia vestibular (original de R. Rodríguez Villalba).

Figura 12. Ampolla del canal semicircular© (2014) Chris Galapp, usado con permiso.

Figura 13. Conexiones del reflejo oculomotor © (2016) Chris Galapp, usado con permiso.

Figura 14 (con permiso de Tighilet y colaboradores: : Journal of Neurology (2019) 266 (Suppl 1):S27–S32): Plasticidad después de una lesión de las neuronas primarias vestibulares en cultivos de ganglios de Scarpa y órganos vestibulares de roedores jóvenes y adultos.

Figura 15. vHIT de paciente con sacadas overt en canal semicircular lateral izquierdo (Original de R. Rodríguez Villalba).

Figura 16. vHIT con ganancias elevadas en paciente con Migraña Vestibular (Original de R. Rodríguez Villalba).

Figura 17. Síndromes asociados a la Migraña Vestibular © (2019) Chris Galapp, usado con permiso.

Tabla 1. Criterios diagnósticos de Migraña Vestibular de la Infancia de la Sociedad Bárány