

EVALUACIÓN DEL PACIENTE PREVIA A LA REHABILITACIÓN VESTIBULAR

Evaluation of the patient before vestibular rehabilitation

Claudia BUENDÍA-PAJARES; Gabriela MORALES-MEDINA; Isidora Paz RETTIG-INFANTE; Sara FERNANDEZ-CASCON

Hospital Universitario Río Hortega. Servicio de Otorrinolaringología. Valladolid. España

Correspondencia: sarafdz90@gmail.com

Fecha de recepción: 13 de agosto de 2019

Fecha de aceptación: 28 de agosto de 2019

Fecha de publicación: 30 de agosto de 2019

Fecha de publicación del fascículo: 1 de marzo de 2020

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses

Imágenes: Los autores declaran haber obtenido las imágenes con el permiso de los pacientes

Política de derechos y autoarchivo: se permite el autoarchivo de la versión post-print (SHERPA/RoMEO)

Licencia CC BY-NC-ND. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional

Universidad de Salamanca. Su comercialización está sujeta al permiso del editor

RESUMEN: Introducción y objetivo: Para realizar una adecuada rehabilitación vestibular es fundamental llevar a cabo una minuciosa valoración previa. El objetivo de este trabajo es estandarizar la evaluación preterapéutica que permita una correcta comunicación entre el facultativo que indica la rehabilitación vestibular y el responsable de realizarla. Método: Revisión narrativa. Resultados: En nuestro trabajo describimos las exploraciones que consideramos imprescindibles para estudiar al paciente con inestabilidad, previa realización de una rehabilitación vestibular. Discusión y Conclusiones: La evaluación de los pacientes con mareo es un trabajo difícil debido a la imprecisión, tanto por parte del enfermo, a la hora de describir el síntoma, como por parte del médico en interpretar lo que éste le transmite. Por este motivo, debemos ser metódicos en el interrogatorio, meticulosos al realizar la exploración física y apoyarnos en las pruebas instrumentales tras haber establecido una sospecha diagnóstica. La correcta realización de esta evaluación de forma individualizada es el pilar fundamental para orientar un tratamiento rehabilitador.

PALABRAS CLAVE: rehabilitación vestibular; vértigo; pruebas vestibulares; anamnesis y exploración física.

SUMMARY: Introduction and objective: In order to achieve an adequate vestibular rehabilitation, it is fundamental to perform a meticulous evaluation, which must allow a correct communication between the

person indicating the rehabilitation and the person responsible for carrying it out Method: A bibliographic review of the symptoms, physical examination and tests performed in a vestibular evaluation. Discussion y Conclusions: The evaluation of patients with instability is a difficult task due to the inaccuracy when it comes to describe the symptom. For this reason, we should be methodical at the time of questioning the patient, meticulous when performing the physical examination and lean on instrumental tests after establishing a diagnostic suspicion. The correct realization of this individualized evaluation is the fundamental point to guide a rehabilitation treatment.

KEYWORDS: vestibular rehabilitation; vertigo; vestibular function tests; patient's history and physical examination.

INTRODUCCIÓN

Es fundamental la realización de una completa evaluación antes de iniciar una rehabilitación vestibular. Dicha evaluación debe permitir una correcta comunicación entre la persona que indica la rehabilitación y la responsable de realizarla considerando unos parámetros comunes, teniendo en cuenta las necesidades individuales de cada paciente, objetivadas en una exploración física e instrumental y las que conciernen a su calidad de vida.

ANAMNESIS

La anamnesis es una de las partes más relevantes en el estudio de un cuadro de inestabilidad o mareo. En muchas ocasiones el paciente es impreciso al describir su sintomatología, utilizando términos médicos de forma coloquial que no se corresponden con lo que realmente siente, pudiendo estar influenciado por un componente emocional importante que altera la descripción de lo que padece. Debido a esta situación, el facultativo que recaba los datos de la historia clínica debe tener en cuenta estas circunstancias, ya que la interpretación será clave a la hora de realizar un diagnóstico. Para evitar errores es importante establecer una sistemática a la hora de enfocar la anamnesis.

Nos centraremos en:

1. La ilusión de movimiento: El paciente puede describir una sensación de movimiento del

entorno o del propio cuerpo, de tipo rotatorio, en forma de balanceo o incluso, tener la impresión de caída inminente. Otro síntoma a tener en cuenta es la oscilopsia, definida como la ilusión subjetiva de oscilación de pequeña amplitud que se produce en el entorno. Estas alteraciones indican disfunción del sistema vestibular [1].

2. Se debe establecer el inicio del cuadro y su evolución, si es agudo o por el contrario se presenta como una patología episódica recurrente.
3. Localizar los factores desencadenantes o que empeoran la clínica, considerando los cambios posturales o los movimientos cefálicos.
4. Y debemos filiar el tiempo que transcurre desde el inicio hasta el final de la crisis (única o recurrente), el cual puede ser de segundos, minutos, horas o días.

Una vez establecidas las características del cuadro vestibular, se interrogará acerca de otros síntomas asociados, como alteraciones auditivas, acúfeno, sensación de taponamiento óticos o sintomatología neurológica. Todo esto orientará nuestro diagnóstico de presunción.

Dentro de la evaluación que realicemos, se tendrán en cuenta otros aspectos como la medicación prescrita y comorbilidades que promuevan o incrementen el trastorno del equilibrio. Por este motivo debemos buscar posibles alteraciones

visuales, neurológicas, cardiovasculares y patología osteoarticular, que puedan influir en el equilibrio y que supongan una limitación para la rehabilitación vestibular.

ESCALAS

Además de la identificación objetiva de los síntomas, también es importante evaluar la repercusión que éstos generan en la vida del paciente. Para su cuantificación disponemos de diversos cuestionarios que expondremos a continuación [2].

Actualmente existen escalas que evalúan la discapacidad secundaria a los síntomas, otras que se centran específicamente en su intensidad y finalmente las que integran ambos conceptos [3] (Tabla 1). La mayoría de ellas han sido desarrolladas en países anglosajones y solo algunas validadas al español (Tabla 2).

1. ESCALAS DE DISCAPACIDAD ASOCIADA A SÍNTOMAS

Uno de los cuestionarios más utilizados es el *Dizziness Handicap Inventory* (DHI) [3]: que categoriza aspectos funcionales, emocionales y físicos de los trastornos del equilibrio. El *Activities-specific Balance Confidence* (ABC) [3] es el único que valora el miedo a las caídas en personas ancianas. El *Vestibular Disorders of Daily Living Scale* (VADL) [3] mide el impacto de los trastornos del equilibrio en los pacientes que están realizando la rehabilitación vestibular. Por último, el *Vertigo Handicap Questionnaire* (VHQ) [3] se creó con el fin de describir el contexto social, psicológico y de comportamiento, que experimentan los pacientes con deterioro vestibular [3].

2. ESCALAS DE SÍNTOMAS-INTENSIDAD

Existen dos cuestionarios que cuantifican los síntomas y su intensidad: *Vertigo Symptom Scale* (VSS) y la escala *European Evaluation of Vertigo* (EEV) [1], que ilustra de forma gráfica estos aspectos, durante la semana previa a la evaluación.

3. ESCALAS DE INTENSIDAD DE SÍNTOMAS Y REPERCUSIÓN DE LOS MISMOS (MIXTAS)

Las escalas que evalúan los dos ámbitos previos son: *Vertigo Dizziness, Imbalance Questionnaire* (VDI), *UCLA Dizziness Questionnaire* (UCLA-DQ) [2], *Vestibular Activities and Participation* (VAP) [2] y el *Dizzy Factor Inventory* (DFI) [1].

Conocer de forma precisa la repercusión que tiene la sintomatología en el paciente es complejo, puesto que las herramientas con las que contamos son muy heterogéneas y valoran un espectro limitado de la discapacidad asociada al desequilibrio, haciendo que la correlación entre síntomas y calidad de vida sea baja. La Clasificación Internacional de la Funcionalidad de la OMS (CIF) [3] indica la necesidad de evaluar 4 elementos: función corporal, estructura corporal, actividad y participación y factores ambientales.

Los cuestionarios mencionados no valoran estos cuatro criterios de la CIF a excepción del *Vestibular Activities and Participation* (VAP). A pesar de no estar validado al español, es una prueba simple de 35 ítems dividida en 5 niveles que se pasa a los pacientes varias veces durante la rehabilitación, para poder apreciar su eficacia [1].

Por tanto, si nos basamos en las herramientas validadas al español con las que contamos, recomendamos el uso de al menos dos de ellas:

1. *DHI (Dizziness Handicap Inventory)* [3]: Es el cuestionario de referencia más utilizado en el momento actual. Consta de 25 preguntas que deben ser respondidas en un tiempo aproximado de 10 minutos. Valora aspectos funcionales, emocionales y físicos permitiéndonos identificar cuál de ellos provoca una mayor repercusión en la vida de nuestros pacientes.

Valora la autopercepción de la enfermedad, y por tanto debe ser realizado a lo largo del seguimiento en varias ocasiones, para monitorizar la respuesta subjetiva a las diferentes terapias.

2. *UCLA Dizziness Questionnaire* [3]: Evalúa la frecuencia y gravedad del mareo, el miedo a que se

reproduzca y su impacto sobre la actividad diaria y la calidad de vida.

Se utiliza de forma complementaria al DHI, para obtener una valoración de la discapacidad y de la intensidad percibida.

Tabla 1. Cuestionarios según evaluación de discapacidad, síntomas o mixtas

Discapacidad asociada a síntomas	Síntomas-Intensidad	Síntomas-repercusión (Mixtas)
1. Dizziness Handicap Inventory (DHI)	1. Vertigo Symptom Scale (VSS)	1. Vertigo, Dizziness, Imbalance Questionnaire (VDI)
2. Activities-specific Balance Confidence (ABC)	2. European Evaluation of Vertigo (EEV)	2. UCLA Dizziness Questionnaire (UCLA-DQ)
3. Vestibular Disorders of Daily Living Scale (VADL)		3. Dizzy Factor Inventory (DFI)
4. Vertigo Handicap Questionnaire (VHQ)		4. Vestibular Activities and Participation (VAP)

Tabla 2. Cuestionarios validados en español

Cuestionarios validados al español
<ul style="list-style-type: none"> • VDI: Cuestionario para los Síntomas de Vértigo y Mareo • UCLA-DQ: Versión española del <i>UCLA Dizziness Questionnaire</i> • DHI: Versión Española del <i>Dizziness Handicap Inventory</i> • DHI-S: Versión Española del <i>Dizziness Handicap Inventory</i>- Versión reducida • BS/Balance Scale: Escala de Equilibrio de Berg • CEMPV: Cuestionario para la evaluación de la minusvalía en la patología vestibular

A pesar de la existencia de un gran número de escalas, su heterogeneidad y la pobre correlación con la sintomatología obliga a continuar desarrollando herramientas que permitan mejorar estos aspectos.

EXPLORACIÓN FÍSICA

La exploración física es el segundo paso tras la realización de una adecuada anamnesis para establecer una sospecha diagnóstica, que confirmaremos con las diferentes pruebas funcionales.

En muchas ocasiones el momento de la exploración del paciente no coincidirá con el cuadro vestibular agudo, por lo que los hallazgos podrían ser completamente normales.

El sistema del equilibrio está integrado por el sistema vestibular, la sensibilidad propioceptiva, el sistema visual y sus conexiones con el sistema nervioso central. La valoración de los movimientos oculares revela el estado de este sistema, así como la integridad de las vías y centros neurológicos [4].

Debemos tener en cuenta tres apartados fundamentales:

1. Exploración oculomotora

Evaluaremos los ojos en posición primaria (mirada al frente) y en el resto de las posiciones (arriba, abajo, izquierda y derecha), atentos a una posible fijación de la mirada que puede suprimir el nistagmo ocasionado por defectos vestibulares periféricos. Para eliminar esta fijación se pueden usar distintos métodos: gafas de Frenzel, oftalmoscopio, el procedimiento de Ganzfeld (hacer mirar a una superficie blanca como por ejemplo un papel o una pared) y la videoculografía que permite estudiar el movimiento ocular en la oscuridad mediante una o dos cámaras infrarrojas [5].

Los signos que buscaremos:

- A. Presencia de nistagmo: movimiento involuntario e incontrolable de los ojos. Se debe explorar en las 5 posiciones de la mirada desplazando lentamente los ojos, de lado a lado y pasando en cada cambio de dirección por el centro (posición primaria). El desplazamiento no debe sobrepasar los 45° ya que, si se supera, podría observarse un nistagmo fisiológico de mirada extrema. Si apareciera nistagmo, describiremos su morfología, ritmo, amplitud, intensidad y variación.

- B. Maniobra oculocéfálica o *Head Impulse Test* (HIT): Es una prueba que se basa en la respuesta óculo-cefálica, para identificar asimetrías vestibulares. Indicamos al paciente que mire a un punto fijo en la cara del explorador (generalmente a la nariz), inclinándole la cabeza hacia delante 30° (para horizontalizar el CSH). Sujetaremos firmemente su cabeza y realizaremos giros de unos 15 o 20 grados con un movimiento rápido hacia ambos lados en el plano horizontal. Al hacer este movimiento de gran intensidad, sólo actuará el laberinto homolateral al movimiento de la cabeza. Si uno de los laberintos es hipofuncionante, al ejecutar el movimiento cefálico en esa dirección, el ojo no tendrá información vestibular y no podrá mantener el objetivo visual, generando una sacada correctora de refijación, que indicará la positividad de la prueba [6].
- C. Prueba de agitación cefálica o *Head Shaking Nistagmus*: se realiza con ojos cerrados, mediante movimientos cefálicos alternantes en el plano horizontal (2 ciclos/seg), con la cabeza 30° en anteflexión, durante unos 15 segundos y al detener la maniobra de forma brusca, se observa con gafas de Frenzel si aparece algún nistagmo. Se considera positiva si se producen 5 o más batidas hacia el vestíbulo normofuncionante [5].
- D. Pruebas de posicionamiento o de provocación: Maniobra de Dix-Hallpike, McClure, Bow and Lean y la hiperextensión cefálica en decúbito. Estas maniobras evalúan la presencia de canalitiasis o cupulolitiasis en alguno de los canales semicirculares.
- E. Prueba de la fístula o de Lucae: Es positiva cuando ante cambios de presión en el conducto auditivo, se induce un nistagmo. Si el mismo aparece tras sonidos graves e intensos se denomina Fenómeno de Tulio. Nos indica la presencia de una estimulación anómala del laberinto posterior a través de una fístula en la cápsula ótica [2].
- F. Prueba de agudeza visual dinámica: Estudia las variaciones de la agudeza visual con los movimientos cefálicos en los planos horizontal y vertical [7]. En pacientes con hipofunción vestibular unilateral, la agudeza visual puede disminuir unas 3-4 líneas en una tabla de Snellen, en lesiones bilaterales o severas entre 5-6 líneas (en sujetos sin patología vestibular, podría disminuir 1-2 líneas) [7].
- G. Desviación oblicua o *Skew Test*: Valora la alineación de los ejes oculares al realizar una oclusión ocular alternante. Si se evidencia una desalineación vertical estaríamos ante una prueba positiva, que muy rara vez se debe a lesiones vestibulares periféricas y obliga a descartar procesos centrales [2].

EXPLORACIÓN VESTIBULOESPINAL [8]

Una vez integrada la información de los sistemas vestibular, visual y propioceptivo en el sistema nervioso central, somos conscientes de nuestra posición en el espacio y es cuando se generan los reflejos de respuesta motora [2,9]. Las distintas pruebas que nos ayudan a explorar las alteraciones en el sistema vestíbulo espinal son:

- A. Prueba de Romberg: Valora el equilibrio estático en bipedestación, al suprimir la información visual. Pone de manifiesto las alteraciones de la sensibilidad profunda o de la vestibular. En un déficit vestibular periférico, el paciente se inclina hacia el lado hipofuncionante.
- B. Prueba de Unterberger-Fukuda: Examina el equilibrio dinámico activo, mediante la marcha estática del paciente con los brazos al frente y los ojos cerrados. Valoramos la rotación del cuerpo en el eje axial. En una hipofunción laberíntica se gira hacia el lado afectado (entre 45-60°).
- C. Prueba de Babinski-Weil: Estudia la marcha con ojos cerrados al indicar al paciente que camine hacia delante y hacia atrás repitiendo la maniobra hasta cinco veces. Como en las

previas, ante una hipofunción laberíntica el paciente se desviará hacia el lado afecto.

- D. Prueba de Barany o de brazos extendidos: Evalúa la coordinación tónico muscular. El paciente sentado, debe extender los brazos al frente con los ojos cerrados y mantener esa postura. Ante la presencia de una hipofunción vestibular ambos brazos se desviarán hacia el lado enfermo. En lesiones centrales, se produce la desviación de un solo brazo [9].

Las pruebas que estudian el reflejo vestibuloespinal se pueden realizar a pie de cama, sin dificultad. Nos informarán de alteraciones segmentarias y de la marcha sin necesidad de realizar una exploración instrumental [9].

Es importante tener en cuenta las posibles limitaciones que presenta el paciente debido a patologías asociadas (neurológicas, osteoarticulares u oculares), en particular en ancianos [7].

La exploración física nos ayudará a determinar qué pruebas funcionales realizar y planificar una adecuada terapia rehabilitadora teniendo en cuenta la situación inicial del paciente.

OTRAS PRUEBAS

A veces se necesita solicitar la participación de otros especialistas, para obtener una valoración integral del paciente con problemas de equilibrio, tales como:

- A. Evaluación de la marcha: Definimos marcha como la serie de movimientos alternantes y rítmicos de las extremidades y el tronco que determinan un desplazamiento del centro de gravedad. Es efectiva cuando el equilibrio y la locomoción son armónicos. Para valorar la marcha debemos tener en cuenta: la caracterización del paso (longitud, altura, ritmo, amplitud de la base y velocidad), los desplazamientos del centro de gravedad (oscilaciones y movimientos laterales) y finalmente el movimiento articular.

1. Se debe explorar la amplitud articular y la presencia de patologías que la modifique o limite, puesto que es un punto clave a la hora de plantear una estrategia de rehabilitación.

- B. Valoración neurológica: Una completa exploración neurológica pone en evidencia la presencia de signos que puedan hacernos sospechar patología central. Dentro de esta exploración existen pruebas dirigidas a determinar si estamos ante un vértigo de origen central, como las que se emplean en el protocolo HINTS (*Head Impulse Test*, *Skew Test* y las características del *Nistagmo*, comentados previamente). Así mismo debemos tener en cuenta otras posibles alteraciones neurológicas, que no estén en relación con el vértigo y que puedan llegar a condicionar el tratamiento rehabilitador adecuado.

- C. Evaluación visual: Hay que estudiar: la alineación ocular, la convergencia, el seguimiento ocular y la motilidad ocular.

- D. Valoración psicológica: Como ya hemos descrito previamente, contamos con una serie de cuestionarios que nos permiten conocer la repercusión psíquica de los cuadros vestibulares. Ante la sospecha de patología, tipo ansiedad o depresión, sería necesario un estudio completo por el especialista, porque podría condicionar los resultados subjetivos de una rehabilitación vestibular.

EXPLORACIÓN INSTRUMENTAL

Una vez hemos establecido una sospecha diagnóstica basándonos en la anamnesis y exploración física completa, debemos contar con el apoyo de un conjunto de pruebas vestibulares instrumentales que describimos a continuación, que nos ayudarán a afianzar el diagnóstico y poder planificar una estrategia de rehabilitación vestibular.

PRUEBAS ROTATORIAS [10]

Se basan en la disposición anatómica de los canales semicirculares, la dinámica de los fluidos laberínticos y los movimientos oculares reflejos, que genera el desplazamiento angular tras un estímulo rotatorio. Consisten en someter al paciente a aceleraciones angulares que van a estimular los receptores vestibulares de los conductos semicirculares localizados en el plano de rotación explorado, registrando y cuantificando la respuesta nistágmica resultante.

Cuando el receptor periférico del vestíbulo detecta un movimiento, se generan impulsos nerviosos que son procesados por el sistema nervioso central, originando, tras una breve latencia (7-10 msg), un movimiento reflejo lento del globo ocular, de sentido opuesto al del giro de la cabeza y de igual intensidad y magnitud al estímulo angular que lo generó, denominado reflejo vestibuloocular (RVO) [11].

El RVO mantiene la estabilidad ocular fijando los objetos de interés en la fóvea de la retina.

Se trata de una prueba bien tolerada, que no depende de las características físicas del conducto auditivo externo ni del hueso temporal, y que nos permite aplicar múltiples estudios graduados en un corto periodo de tiempo [11,12].

Se realiza con el paciente sentado en un sillón rotatorio con la espalda recta y la cabeza inclinada hacia delante unos 30 grados, de forma que el canal semicircular horizontal se posiciona en el plano de máxima estimulación rotatoria. La cabeza debe estar fija para evitar cualquier movimiento que altere el RVO y el paciente debe mantener un nivel de alerta adecuado (evitar medicaciones sedantes) [11,12].

Aplicaremos entonces un estímulo de aceleración angular controlada, en el sillón rotatorio, a una velocidad máxima de 50 a 60° por segundo, registrándose los movimientos oculares en respuesta al estímulo. A continuación, se establece la relación obtenida entre el estímulo aplicado y la respuesta

refleja (RVO), determinando los parámetros de ganancia, fase y simetría [1]

Utilidad de las pruebas rotatorias [11-14]

- Muy útiles para el diagnóstico de hipofunción vestibular bilateral, permitiendo su detección precoz y de forma más precisa que con las pruebas calóricas. Además, informan sobre la función vestibular remanente y permiten evaluar el grado de compensación vestibular en estos casos.
- Diagnóstico de la hipofunción vestibular aguda unilateral, al detectar respuestas nistágmicas asimétricas a los estímulos rotatorios. Presenta limitaciones para la identificación del lado afecto cuando el déficit es parcial (en este caso son más útiles las pruebas calóricas) y sobre todo en fase crónica.
- Es una prueba útil y fiable para seguir la evolución de las lesiones unilaterales periféricas, puesto que con la compensación del paciente van disminuyendo las asimetrías entre ambos laberintos.
- Utilidad más limitada en el diagnóstico diferencial entre el vértigo periférico y el central.
- Es útil en la planificación y control de la rehabilitación vestibular [11]. Mediante el mecanismo de habituación de respuestas sustentadas y duraderas, se mantiene su efecto en el tiempo.

PRUEBAS CALÓRICAS [15]

Las pruebas calóricas se basan en la generación de gradientes de temperatura a lo largo del CSH, los cuales inducen cambios en la densidad de la endolinfa [16] y producen una estimulación directa del nervio vestibular independiente de la gravedad [17].

En la irrigación con agua caliente (44°C), la fase rápida del nistagmo se dirige al oído irrigado, y por el contrario con agua fría (30°C), la fase rápida del nistagmo se dirige al oído contralateral.

Se analizan 4 parámetros fundamentales en el registro calórico que son: la reflectividad total,

la paresia canalicular (hipofunción vestibular), la preponderancia direccional y el índice de fijación visual.

Actualmente, el valor que ha demostrado tener mayor estabilidad es la medida de la velocidad máxima de la fase lenta del nistagmo (V_{max}) [16], pero a pesar de ello presenta una gran variabilidad individual.

Interpretación de los resultados:

- A. Definimos hiporreflexia en una prueba calórica como el valor de hipofunción mayor al 25%. Localiza el lado hipofuncionante, pero no nos ofrece un topo-diagnóstico dentro de la vía vestibular.
- B. Hallazgo de hiperreflexia: se puede deber a mala realización de la prueba o a la existencia de patología central, especialmente cerebelosa [18].
- C. La preponderancia direccional define la presencia de respuestas nistágmicas de mayor intensidad en una dirección que en otra. Consideramos su existencia a partir de unos valores mayores al 28%. Puede aparecer en presencia de un nistagmo espontáneo o cuando ha existido un daño vestibular que no está completamente compensado. Al igual que la hipofunción, no ofrece un topo-diagnóstico [19,20].
- D. Índice de fijación o inhibición: Representa la capacidad del sistema nervioso central para suprimir el nistagmo vestibular. Si la intensidad nistágmica durante la estimulación no disminuye suficientemente durante la fijación visual, podemos considerarlo un hallazgo de moderado valor para localizar la lesión en el sistema de seguimiento (córtex parieto-occipital, protuberancia o cerebelo). Cuando el déficit es unilateral, la lesión podría localizarse a nivel de ángulo pontocerebeloso y cuando es bilateral es sugestivo de lesión cerebelosa [21,22].

E. Valor de la prueba calórica normal: es importante tener en cuenta que una prueba normal no indica ausencia de patología del sistema vestibular. Algunos ejemplos de patologías que pueden cursar con prueba calórica normal son: el vértigo posicional paroxístico benigno, la neuronitis vestibular inferior, la enfermedad de Ménière en fases iniciales y la migraña vestibular [18,21].

Esta prueba vestibular presenta ciertas limitaciones importantes de conocer: aplica un estímulo no calibrado; es sensible a variaciones anatómicas del oído medio que puedan conducir de distinto modo la temperatura (alteraciones residuales o postquirúrgicas); se trata de una prueba que estimula exclusivamente al canal semicircular horizontal; presenta una frecuencia de estímulo baja; es sensible al nistagmo preexistente y es mal tolerada, en general, debido al intenso cortejo vegetativo que produce [18,21].

Debemos también tener en cuenta que se debe suspender toda medicación sedante vestibular 24-48 horas antes de la realización de la prueba.

PRUEBAS OCULOMOTORAS [23]

Las pruebas visooculares consisten en detectar movimientos anómalos de los globos oculares, para explorar la integridad de los circuitos neuronales que integran el sistema oculomotor. Sus alteraciones orientan con frecuencia a patología central [2].

- Estudio de sacadas: Se proyectan en la videonistagmografía puntos alternantes en los que el paciente debe fijar la mirada. La alteración de los movimientos sacádicos puede deberse a lesiones del SNC, tranquilizantes, alcohol o fatiga. La afectación cerebelosa determina la aparición de movimientos sacádicos hiper o hipométricos (dismetría ocular) [24,25].
- Estudio del seguimiento lento: Se pide al paciente que siga con la mirada un punto que se desplaza ante él de forma lenta para detectar algún tipo de movimiento ocular anómalo

- (seguimiento sacádico, atáxico, abolido...) [25].
- Estudio del nistagmo optocinético: Se realiza como prueba complementaria al estudio de seguimiento lento. Consiste en una respuesta ocular (seguimiento, fase rápida de nistagmo) generada por un campo visual en movimiento, y es característico de animales con fóvea. Se explora con un tambor o una cinta en la cual están distribuidos de modo alterno cuadros, rayas o dibujos muy contrastados. La cinta o el tambor se desplaza delante del campo visual del paciente, al quien se pide que mantenga la mirada sobre la serie de estímulos que se desplazan. Este desplazamiento puede hacerse en cuatro direcciones: hacia la derecha, hacia la izquierda, hacia arriba y hacia abajo, mientras se observa si se desencadena el nistagmo optocinético [24].

El estímulo optocinético suele utilizarse de forma complementaria a otras pruebas de rehabilitación vestibular ya que estimula dos de los tres mecanismos: la habituación y la adaptación, no potenciando la sustitución. Es por esto que para poder realizar esta rehabilitación debe permanecer algún resto de actividad vestibular sobre el que pueda actuar la terapia, por lo que no están indicadas en las arreflexias vestibulares, ya que necesitarán de algún mecanismo de sustitución para compensarse. Sólo en casos específicos se utiliza como tratamiento de primera elección. Es por esta razón que en la mayoría de los casos se decide realizar la posturografía como tratamiento primario, ya que estimula los 3 mecanismos previamente mencionados [1].

POTENCIALES VESTIBULARES

El potencial evocado miógeno cervical (cVEMP) es un reflejo muscular de latencia corta y alta intensidad. La estimulación de las máculas del utrículo y el sáculo con sonidos de alta intensidad activa el reflejo vestibuloespinal, de forma que se

produce una relajación del músculo esternocleidomastoideo (ECM) ipsilateral. Los cambios del potencial eléctrico en estos grupos musculares pueden ser detectados mediante electrodos de superficie colocados sobre la piel [26].

La presencia de una respuesta frente al estímulo acústico, la intensidad necesaria para evocarla y la diferencia en la amplitud de la respuesta entre un oído y el otro, son parámetros utilizados para detectar patología en cuadros periféricos, mientras que la latencia entre estímulo y respuesta tiene gran valor en cuadros centrales [26,27].

Los VEMPs se utilizan clínicamente en patología vestibular para el diagnóstico, para conocer la extensión de una lesión y para monitorizar la recuperación o progresión de una enfermedad. Son de utilidad en presencia de un fenómeno de Tullio producido por la dehiscencia del canal semicircular superior, en la enfermedad de Ménière, en las crisis de Tumarkin y en la neuronitis vestibular, como complemento del v-HIT [26,27].

VIDEO-HEAD IMPULSE TEST (v-HIT)

El v-HIT nos ayuda a evaluar la función del reflejo vestibuloocular (RVO), el cual detecta la aceleración angular y lineal de la cabeza, integrando la información y traduciéndola en un movimiento ocular en dirección contraria al movimiento cefálico, con el fin de mantener estático el objetivo visual. La ganancia del sistema se interpreta como el cociente entre la velocidad cefálica (*input*) y la velocidad ocular (*output*) siendo considerada normal entre 0,8-1,2 [28], pues fisiológicamente, los movimientos oculares deben ser de velocidad y amplitud iguales a los cefálicos, de este modo, el punto de enfoque se mantiene en el área de máxima agudeza visual de la retina.

Es así como la prueba nos permite sospechar una hipofunción vestibular y su localización, al poder evaluar los seis canales semicirculares [29]. Podremos usar el v-HIT como alternativa en aquellos pacientes que no pueden ser evaluados mediante pruebas calóricas.

Sentaremos al paciente a una distancia de 1-1,5 metros de un punto fijo en la pared, colocándole las gafas de evaluación y nos aseguraremos de que las pupilas se encuentran en la región de interés, procediendo a la calibración del equipo. Una vez calibrado, solicitamos al paciente que mantenga la mirada en el punto estático intentando no parpadear. Iniciamos la prueba realizando unos 20 impulsos cefálicos a cada lado, de forma aleatoria. El sistema nos permite ir comprobando que la angulación, aceleración y velocidad sean las correctas [30].

La prueba presenta un sistema video asistido que consta de unas gafas ligeras con un acelerómetro que detecta los movimientos cefálicos y una cámara de alta velocidad que permite medir las sacadas encubiertas (*covert saccades*) y las sacadas descubiertas (*overt saccades*), que son aquellas que sí se evidencian por el ojo humano y que suelen aparecer al final de la aceleración cefálica. Un soporte informático mide cada uno de los impulsos, que serán registrados y cuantificados de forma numérica, al igual que el valor de la ganancia del RVO [30]. Posteriormente, los resultados serán representados en un diagrama que plasma la velocidad de los movimientos cefálicos y oculares realizados para cada impulso.

Esta prueba consta de ciertas limitaciones: diferentes resultados según el realizador de la prueba; la evaluación de las sacadas es subjetiva y operador dependiente y se necesita una pasesia canalicular de un 40-50% (medida previamente mediante pruebas calóricas) para que se generen las sacadas correctoras [29].

En conclusión, el v-HIT es una prueba rápida y sencilla en el momento de hacer el diagnóstico de hipofunción vestibular, que además nos permite evaluar cada uno de los canales semicirculares por separado proporcionando información acerca del RVO en condiciones fisiológicas [28]. A pesar de esto, no debería considerarse como sustituta de las pruebas que ya existen para el estudio de la patología vestibular. Es probable que en el futuro crezca

su importancia, ya que nos permite cuantificar la evolución y recuperación de determinadas patologías y nos ofrece la monitorización de la efectividad de determinados tratamientos.

POSTUROGRAFÍA

La estabilidad postural en el ser humano es el resultado del sentido de situación en el espacio y de la capacidad de mantenerla, para lo que intervienen de forma armónica las extremidades y la acción conjunta de diferentes grupos musculares y articulares [31]. Este control postural que nos permite desarrollar nuestro día a día con normalidad, funciona gracias a la integración de la información recibida por tres sistemas: el somatosensorial o propioceptivo, el visual y finalmente el vestibular, pudiéndose valorar a través de la posturografía cómo participa cada uno en el mantenimiento del equilibrio [32,33]. Es una técnica que analiza el control postural en bipedestación tanto en condiciones estables como inestables [34]. Su funcionamiento se basa en una plataforma dinamométrica que analiza las oscilaciones, definiéndose diferentes patrones en función de las condiciones de organización sensorial (Tabla 3).

Tabla 3: Condiciones del test de organización somatosensorial

	Ojos	Entorno Visual	Plataforma
Condición 1	Abiertos	Fijo	Fija
Condición 2	Cerrados	-	Fija
Condición 3	Abiertos	Móvil	Fija
Condición 4	Abiertos	Fijo	Móvil
Condición 5	Cerrados	-	Móvil
Condición 6	Abiertos	Móvil	Móvil

A. Análisis sensorial: Permite mediante la comparación de las diferentes condiciones, determinar el sistema o sistemas deficitarios que intervienen en la pérdida del equilibrio, estableciendo el asiento de la pérdida del control postural.

- **Cociente Somatosensorial:** Se basa en la capacidad del paciente para el uso de las referencias somatosensoriales. Dicho cociente, se obtiene comparando la condición 2 con la 1, suponiendo que existe un déficit en la integración somatosensorial cuando éste se aproxima a 0.
 - **Cociente Vestibular:** Se calcula comparando la condición 5 o 5 y 6 con la 1. En ausencia de referencias somatosensoriales y visuales, el paciente únicamente integra la información vestibular en el equilibrio. Por tanto, un cociente cercano a 0 indicaría un déficit de integración vestibular.
 - **Cociente Visual:** Se obtiene comparando la condición 4 con la 1. En ausencia de información somatosensorial, el paciente utiliza para equilibrarse el patrón visual. La disminución de dicho cociente o la alteración única en la condición 4, serían compatibles con un déficit de integración visual.
 - **Cociente de Preferencia Visual:** Compara los patrones 3 y 6 que presentan un conflicto visual, con los patrones 2 y 5 en los que hay una supresión visual; Valores inferiores a los estándar nos indican que ante un entorno visual conflictivo el paciente no es capaz de mantener el equilibrio.
- B. Patrones de organización sensorial**
- **Patrón de déficit somatosensorial:** Aparece cuando el cociente somatosensorial está disminuido.
 - **Patrón de déficit visual:** Tras la disminución de apoyo somatosensorial (plataforma móvil) disminuye la estabilidad del paciente.
 - **Patrón de déficit vestibular:** La ausencia de información visual (ojos cerrados) y somatosensorial (plataforma móvil) conlleva una pérdida del equilibrio.
- C. Alineación del centro de gravedad:** Nos posibilita conocer dónde asienta el centro de gravedad del individuo en cuestión, analizando los movimientos laterales que presenta y por tanto sentando los puntos débiles de la posición que debemos trabajar posteriormente durante la rehabilitación.
- D. Análisis de la estrategia:** Consideramos como estrategia individual, al tipo de movimiento realizado por el paciente para mantener su centro de gravedad tras la aplicación de diferentes movimientos [31,35]. Se describen 3 estrategias diferentes:
- **Estrategia de tobillo:** Mantenimiento de equilibrio gracias al soporte del tobillo. Generalmente empleado cuando la superficie de soporte es estable y mayor que la de los pies.
 - **Estrategia de cadera:** Movimientos realizados en base a la cadera. Aparece cuando la superficie es inestable y menor que la de los pies.
 - **Estrategia de paso:** Se genera cuando se sobrepasan los límites de estabilidad. Es una estrategia empleada para evitar una caída.
 - **LÍMITES DE ESTABILIDAD:** Consideramos como límite de estabilidad al área de la superficie en la que el individuo se mueve, desplazando su centro de gravedad de una forma segura sin producirse una caída. El conocimiento de dichos límites nos ofrece una estrategia fundamental para la planificación de la rehabilitación, puesto que nos permite trabajar para aumentar dichos límites.
 - **TEST DE ADAPTACIÓN:** Capacidad de respuesta ante movimientos inesperados y bruscos. Se cuantifica el balanceo que presenta tras la realización del movimiento. El patrón de normalidad es aquél en el que va disminuyendo la amplitud del balanceo a medida que se producen las sacudidas.
 - **ANÁLISIS DEL CONTROL RÍTMICO Y DIRECCIONAL:** Define la capacidad del paciente de realizar movimientos rítmicos dentro de su centro de gravedad mediante el seguimiento de una diana móvil.

Tras el análisis de todos los parámetros descritos logramos obtener un índice de equilibrio para cada individuo y gracias a él, podemos hacernos una idea de su capacidad de control postural estático y dinámico, estableciendo su patrón de déficit mediante el cálculo de los diferentes cocientes. Gracias a esta información basándonos en los puntos débiles y fuertes, lograremos establecer una estrategia de rehabilitación individualizada para afianzar el control postural, y mediante esta misma prueba, podremos cuantificar los resultados de la misma.

CONCLUSIONES

La evaluación del paciente con mareo o inestabilidad debe ser minuciosa y llevarse a cabo de una manera metódica para explorar los tres sistemas involucrados en el equilibrio (somatosensorial, visual y vestibular).

La principal evaluación del paciente se debe hacer con una anamnesis completa, que determine en que situaciones específicas se reproduce la clínica y que factores la desencadenan, agravan o calman. Entre los cuestionarios que hemos descrito, el *DHI (Dizziness Handicap Inventory)* que valora los aspectos funcionales, emocionales y físicos que provocan una mayor repercusión en la vida del paciente y el *UCLA Dizziness Questionnaire*, que evalúa la frecuencia y gravedad del mareo, el miedo a que se reproduzca y su impacto sobre la actividad diaria y la calidad de vida, son los más usados y que aportan información más útil en la valoración previa a la realización de una rehabilitación, monitorizando la respuesta subjetiva a la misma.

Mediante la exploración física y las distintas pruebas instrumentales, podremos afianzar el diagnóstico y cuantificar el grado de afectación de la función vestibular y lateralidad.

La posturografía, nos permite medir la contribución relativa de cada sistema sensorial sobre el control postural y de esta forma determinar cuál

es deficiente y que capacidad tiene el sistema de equilibrio para adaptarse a las distintas situaciones.

Con el sillón rotatorio podremos determinar si estamos ante una hipofunción vestibular unilateral o bilateral, así como valorar la función vestibular remanente. Es útil y fiable para seguir la evolución de las lesiones unilaterales periféricas, tras la rehabilitación vestibular. Por último el estímulo optocinético es bastante útil en vértigos desencadenados por estímulos visuales o en pacientes en los cuales el principal objetivo de la rehabilitación sea reequilibrar la tonicidad de los núcleos vestibulares, ya que esta técnica solo potencia el mecanismo de habituación y compensación. Por lo que no sería el tratamiento de elección en pacientes con arreflexia vestibular en los que la sustitución será el principal objetivo.

Las pruebas descritas permiten evaluar de forma objetiva y precisa cada componente del sistema vestibular (vHIT, VEMP, pruebas rotatorias y pruebas calóricas), así como analizar el estado general del equilibrio con la posturografía, junto con el estudio de la integración central del sistema vestibuloocular. Una vez determinado el déficit y las diversas alteraciones asociadas, definiremos los principales objetivos en los que basar nuestra estrategia de rehabilitación, enfocándonos en uno o varios de los mecanismos de compensación del equilibrio: la sustitución, habituación y adaptación. La evaluación pre-terapéutica del paciente es, por tanto, clave para establecer un diagnóstico, cuantificar un daño vestibular, si existiese, y plantear los aspectos principales sobre los que actuar.

AGRADECIMIENTOS

A los autores de la *Guía de Rehabilitación Vestibular* de la Sociedad Gallega de Otorrinolaringología y los autores del manual de *Exploración otoneurológica* por haber servido de guía en este trabajo.

A todos los autores participantes en la elaboración de Exploraciones Vestibulares, publicados

en Revista ORL, por haber servido de referente a la hora de escribir este artículo.

A los doctores Benito Orejas y Batuecas Caletrio, porque sin su compromiso y dedicación, este trabajo no sería posible.

Por último agradecemos al Dr. Pardal Refoyo por su dedicación, tiempo y trabajo de forma desinteresada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Boucarra D, Sémont A, Sterkers O. Rehabilitación vestibular. EMC- Otorrinolaringología 2016; 45(1):1-8 [Artículo E-20-206-A-10].
2. Oliva-Dominguez M. Exploración del paciente con alteraciones del equilibrio. En: Rossi- Izquierdo M, Soto-Varela A, Santos-Pérez S, editores. Rehabilitación vestibular [Internet]. Santiago de Compostela: Sociedad Gallega de Otorrinolaringología; 2016.p. 12-21. Disponible en: http://www.sgorl.org/images/Ponencias/Ponencia_SGORL_Rehabilitación_Vestibular_.pdf.
3. Pardal-Refoyo J, Batuecas-Caletrio Á. Revisión sobre los instrumentos de evaluación de la discapacidad en patología vestibular. Revista ORL [Internet]. 30 Ene 2018 [citado 10 Jul 2019]; 9(2): 145-164. Disponible en: <http://revistas.usal.es/index.php/2444-7986/article/view/17700>.
4. Duracinsky M, Monsier I, Bouccara D, Sterkers O, Chassany O, Working Group of the Société française d'oto-rhinolaryngologie (ORL). Literature review of questionnaires assessing vertigo and dizziness, and their impact on patients' quality of life. Value Health. 2007 jul-Aug;10(4):273-84.
5. Fernández-Cascón S, Fernández-Morais R, Álvarez-Otero R. Revisión sobre la importancia clínica del nistagmo espontáneo y de la prueba de agitación cefálica. Revista ORL [Internet]. 30 Nov 2017 [citado 27 Jun 2019]; 9(2): 111-19. Disponible en: <http://revistas.usal.es/index.php/2444-7986/article/view/17173>.
6. Batuecas-Caletrio A, Muñoz-Herrera A, Bronstein AM. Importancia de la maniobra de impulso óculo-cefálico o Head Impulse Test en la Consulta Otorrinolaringológica General. Rev. Soc. Otorrinolaringol. Castilla León Cantab. La Rioja. 2012; 3(32):266-70.
7. Sanz-Fernández R, Muerte-Moreno I, Yebra-González L. Interpretación de las pruebas vestibulares. Exploración clínica otoneurológica. En: Sanz Fernández R, Martín Sanz E editores. Exploración Otoneurológica. Barcelona: Amplifon Ibérica; 2016. p13-43.
8. Sánchez-Gómez H, Marco-Carmona M, Intraprendente-Martini J. Exploración vestibuloespinal. Revista ORL [Internet]. 5 Ene 2018 [citado 23 Jul 2019]; 9(2): 139-143. Disponible en: <http://revistas.usal.es/index.php/2444-7986/article/view/17424> [8].
9. Tusa RJ. History and Clinical Examination. En: Herdman S, editor. Vestibular Rehabilitation. Third edition. Philadelphia: F.A. David Company; 2007. p.108-23.
10. González-Aguado R. Prueba rotatoria. Técnica e interpretación. Revista ORL [Internet]. 16 Feb 2018 [citado 23 Jul 2019]; 9(3): 215-219. Disponible en: <http://revistas.usal.es/index.php/2444-7986/article/view/17717>.
11. Sanz-Fernández R. Pruebas rotatorias. En Sanz Fernández R, Martín Sanz E editores. Exploración Otoneurológica. Barcelona: Amplifon Ibérica; 2016. p. 97-118.
12. Martín-Sanz E, Sanz-Fernández R. Pruebas rotatorias. Exploración del paciente con alteraciones del equilibrio. En Rosssi- Izquierdo M, Soto-Varela A, Santos-Pérez S, editores. Rehabilitación vestibular [Internet]. Santiago de Compostela: Sociedad Gallega de Otorrinolaringología; 2016.p. 52-9. Disponible en: http://www.sgorl.org/images/Ponencias/Ponencia_SGORL_Rehabilitación_Vestibular_.pdf.
13. Pérez-Fernández N. Atlas de pruebas vestibulares para especialistas en otorrinolaringología. Barcelona: Profármaco; 2009.
14. Jacobson GP, Shepard NT. Balance Function Assessment and Management. San Diego: Plural Publishing, 2008.
15. Pérez-Vázquez P, Franco-Gutierrez V. La prueba calórica. Revista ORL [Internet]. 18 Ene 2018 [citado 23 Jul 2019]; 9(3): 193-213. Disponible

- en: <http://revistas.usal.es/index.php/2444-7986/article/view/17699>.
16. Baloh RW, Honrubia V. Laboratory Examination of the Vestibular System. En Baloh RW, Honrubia V Ed. *Clinical Neurophysiology of the Vestibular System*. New York: Oxford University Press; 2001. p.52-99.
 17. Coats AC. Body position and the intensity of caloric nystagmus. *Acta Otolaryngol*. 1967; 63(6): 515-32.
 18. Martín-Sanz E. Pruebas calóricas. En Sanz-Fernández R, Martín-Sanz E. *Exploración Otoneurológica*. Barcelona: Amplifon Ibérica; 2016. p121-45.
 19. Halmagyi GM, Cremer PD, Anderson J, Murofushi T, Curthoys IS. Isolated directional preponderance of caloric nystagmus: I. Clinical significance. *Am J Otol*. 2000; 21:559-67.
 20. Cartwright AD, Cremer PD, Halmagyi GM, Curthoys IS. Isolated directional preponderance of caloric nystagmus: II. A neural network model. *Am J Otol*. 2000; 21: 568-72.
 21. Franco-Gutiérrez V, Pérez-Vázquez P. Pruebas calóricas. En *Exploración del paciente con alteraciones del equilibrio*. En Rosssi- Izquierdo M, Soto Varela A, Santos Pérez S, editores. *Rehabilitación vestibular* [Internet]. Santiago de Compostela: Sociedad Gallega de Otorrinolaringología; 2016.p. 41-51. Disponible en: http://www.sgorl.org/images/Ponencias/Ponencia_SGORL_Rehabilitación_Vestibular_.pdf.
 22. Barin K. Interpretation and usefulness of caloric testing. In: Jacobson GP, Shepard NT, eds. *Balance Function Assessment and Management*. San Diego: Plural Publishing; 2008.p. 229-52.
 23. Franco-Gutiérrez V, Pérez-Vázquez P. Exploración oculomotora. *Revista ORL* [Internet]. 18 Ene 2018 [citado 23 Jul 2019]; 9(3): 169-192. Disponible en: <http://revistas.usal.es/index.php/2444-7986/article/view/17697>.
 24. Olivé JM, Zarranz JJ. Mareo, vértigo, sordera y acúfenos. En: Zarranz JJ. *Neurología*, Elsevier; 2003.p133-44.
 25. Esteban-Sánchez J, Martín-Sanz E. Pruebas Viso-oculares. En Sanz Fernández R, Martín Sanz E editores. *Exploración Otoneurológica*. Barcelona: Amplifon Ibérica; 2016. p65-96.
 26. Esteban-Sánchez J. Potenciales Vestibulares Miogénicos Evocados. En Sanz-Fernández R, Martín-Sanz E editores. *Exploración Otoneurológica*. Barcelona: Amplifon Ibérica; 2016. p170-212.
 27. Benito-Orejas JI. Utilidad clínica de los potenciales evocados miogénicos vestibulares (VEMPs). *Revista ORL* [Internet]. 18 Jun 2016 [citado 27 Jun 2019]; 7(4): 223-35. Disponible en: <http://revistas.usal.es/index.php/2444-7986/article/view/14643>.
 28. Vázquez-Iglesia F. Video-Head Impulse Test (v-HIT). Exploración del paciente con alteraciones del equilibrio. En Rosssi- Izquierdo M, Soto-Varela A, Santos-Pérez S, Editores. *Rehabilitación vestibular* [Internet]. Santiago de Compostela: Sociedad Gallega de Otorrinolaringología; 2016. p71-80. Disponible en: http://www.sgorl.org/images/Ponencias/Ponencia_SGORL_Rehabilitación_Vestibular_.pdf.
 29. Bickford R, Jacobson J, Cody D. Nature of average evoked potentials to sound and other stimuli in man. *Ann N Y Acad Sci*;1964. 112: 204-23.
 30. Rama-López J, Pérez-Fernández N. Pruebas vestibulares y posturografía. *Rev Med Uni Navarra*; 2003. 47(4):21-8.
 31. Baydal-Bertomeu JM, Peydro-Moya MF, Vivas-Broseta J. Evaluación y rehabilitación del equilibrio mediante posturografía. *Rehabilitación*; 2005. 39(6):315-23.
 32. Cordero-Civantos C, Calle-Cabanillas M. Primeros pasos en la posturografía dinámica computarizada. *Revista ORL* [Internet]. 13 Dic 2017 [citado 26 Jun 2019]; 9(3):227-37. Disponible en: <http://revistas.usal.es/index.php/2444-7986/article/view/17370>.
 33. Furman JM. Role of posturography in the management of vestibular patients. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1995; 112:8-15.
 34. Boniver R. Posture et posturographie. *Acta Otorhinolaryngol Belg*. 1989; 43:593-7.
 35. Karlsson A, Lanshammar H. Analysis of postural sway strategies using an inverted pendulum model and force plate data. *Gait and Posture*. 1997; 5:198-203.