



ARTÍCULO ORIGINAL

¿Cómo analizar un Potencial evocado Miogénico Vestibular? Aplicación de un método no lineal

Jorge Rey-Martínez^{a,*}, Julio Rama-López^b, Nicolás Pérez-Fernández^c y Rafael Barona-De Guzmán^d

^a Departamento de Otorrinolaringología, Facultad de Medicina, Universidad de Navarra, Pamplona, España

^b Servicio ORL, Hospital Universitario Son Dureta, Palma de Mallorca, España

^c Departamento de Otorrinolaringología, Clínica Universitaria de Navarra, Universidad de Navarra, Pamplona, España

^d Clínica Barona y Asociados, Hospital Casa de Salud, Valencia, España

Recibido el 5 de agosto de 2010; aceptado el 27 de octubre de 2010

Disponible en Internet el 3 de enero de 2011

PALABRAS CLAVE

Potencial evocado miogénico vestibular;
Red neural artificial;
Análisis matemático

KEYWORDS

Vestibular evoked myogenic potential;
Artificial neural network;
Mathematical analysis

Resumen

Introducción: El propósito de este artículo es investigar la utilidad clínica de las redes neurales artificiales como alternativa a la interpretación del potencial evocado miogénico vestibular (VEMP).

Métodos: Para ello se diseña una aplicación informática que implementa una red neural que reproduce e interpreta el potencial vestibular a estudio, ofreciendo un error estimado de su propia interpretación.

Resultados: El grado de correlación obtenido en las distintas fases del trabajo entre la red neural y un observador experimentado se encontró siempre por encima del 95%.

Conclusión: La red neural creada es válida para ofrecer una interpretación útil y fiable de los potenciales evocados miogénicos vestibulares según los criterios clínicos actuales.

© 2010 Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

How to analyse a Vestibular Evoked Myogenic Potential? Applying a non-lineal method

Abstract

Introduction: This article presents the investigation of the clinical utility of artificial neural networks as an alternative in interpreting vestibular evoked myogenic potential (VEMP).

Methods: We developed an application that incorporates a neural network. This software reproduces and analyses the vestibular potential under study. The software also gives an estimated error for this process.

Results: The correlation obtained in this study between the neural network and an experienced human observer was always above 95%.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: bendermh@hotmail.com (J. Rey-Martínez).

Conclusion: The neural network created offers useful, reliable interpretations of vestibular evoked myogenic potential, in agreement with current clinical parameters.
© 2010 Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La aplicación clínica del registro del reflejo vestibulo espinal se inicia con los trabajos desarrollados por Halmagyi y Colebatch en 1992¹, en los que se sientan las bases para emplearlos como prueba diagnóstica en pacientes con trastorno vestibular. Si bien desde entonces hasta ahora se han ido caracterizando para las distintas enfermedades que afectan a este órgano sensitivo, son múltiples los criterios descritos por distintos autores a la hora de su obtención e interpretación.

Se define el potencial evocado miogénico vestibular (VEMP) como el registro electromiográfico de inhibición de la actividad contráctil máxima voluntaria en el músculo esternocleidomastoideo (ECM). Desde el punto de vista experimental, la estimulación eléctrica de la terminación nerviosa del sáculo y utrículo produce potenciales post-sinápticos inhibidores en las motoneuronas del ECM ipsilateral y las del utrículo produce potenciales post-sinápticos excitadores en las motoneuronas del ECM contralateral: por tanto, la vía del sáculo es ipsilateral e inhibidora. Los estudios en seres humanos permiten considerar que la respuesta evocada es mediada por una vía anatómica unilateral, ipsilateral que incluye la mácula del sáculo, nervio vestibular inferior, núcleos vestibulares (lateral, medial e inferior), haz vestibulo-espinal medial y las motoneuronas del ECM. Existen diversas técnicas, y no menor controversia en la literatura, sobre el método de estimulación sonora² y el de registro a nivel cervical³.

Las aplicaciones clínicas de los VEMP son múltiples, podemos citar entre otras: el síndrome de dehiscencia del conducto semicircular superior⁴, el schwannoma vestibular⁵, la alteración vestibular en la enfermedad de Ménière⁶ o la afectación del nervio vestibular inferior en la neuritis vestibular⁷. Si bien existen otras aplicaciones clínicas recogidas en la literatura especializada, no hay una clara orientación acerca de los criterios electromiográficos que caracterizan cada trastorno, aunque de los citados anteriormente, en los casos de dehiscencia de conducto semicircular superior es característica la disminución del umbral de estimulación y el aumento de la amplitud⁴. La interpretación del registro abarca múltiples aspectos, no exentos de controversia: ausencia de respuesta, retraso en la aparición de la misma, asimetría de amplitud entre ambos oídos, etc.⁸.

Esto no es infrecuente a lo largo del proceso del estudio del paciente con patología vestibular en el que habitualmente se encuentra la dificultad de interpretar correctamente una prueba de la que no siempre se tiene un criterio objetivo que permita establecer si es o no patológica dejando en muchas ocasiones al criterio subjetivo del explorador esta tarea.

La intención de este trabajo es el desarrollo de una herramienta que nos oriente en esta tarea. Cuando se desconoce de una manera fehaciente el punto de corte normal-patológico en el resultado de una prueba o cuando

las variables que influyen en el resultado son numerosas y además no se sabe en qué sentido, es preciso recurrir a ecuaciones u otras soluciones matemáticas para interpretarlas. Con el desarrollo logrado en los últimos años en los campos de la informática y la matemática no lineal esta labor se ha simplificado, en particular, con el empleo de redes neurales. Una red neural es básicamente un algoritmo (conjunto de ecuaciones complejas) que simulan el funcionamiento del cerebro animal. Esto es, un grupo de neuronas que aprenden a relacionarse entre ellas para obtener un resultado a partir de unos datos iniciales conocidos. En una red neural se sabe de antemano cuáles son las condiciones iniciales y finales de un determinado evento, pero se desconocen los pasos intermedios que las relacionan.

Las redes neurales se emplean comúnmente en el reconocimiento de la voz o de la escritura. En el ámbito científico sus aplicaciones son múltiples⁹ y, en el ámbito concreto de la otorrinolaringología, se utilizan para la detección de la influencia del factor visual en pacientes con afección vestibular, facilitando la manera de diagnosticar el «vértigo visual»^{10,11}.

Para su funcionamiento, la red establece mediante relaciones aleatorias de sus neuronas distintos caminos entre los datos de entrada y los de salida. Cuando el conjunto de relaciones obtenidas da un resultado que concuerda con el esperado ésta se refuerza o se marca positivamente y cuando no lo es, se elimina. El proceso se repite cíclicamente hasta que es capaz de obtener prácticamente en todas las ocasiones un resultado válido. Estableciendo finalmente una red de vías neurales especializadas que se pueden enfrentar a la realidad. Lógicamente cuanto más fiabilidad se le exija a la red o cuanto más complejas sean las variables de entrada mayor es número de experimentos conocidos que precisamos para que la red aprenda.

Para este trabajo se diseñó, entrenó y posteriormente se probó una red neural con el objetivo de interpretar la relevancia del grado de asimetría de la respuesta evocada desde cada oído.

Material y método

Diseño de la red neural

Técnicamente una red neural emplea un número determinado de variables de entrada que pueden adoptar cualquier valor comprendido entre 0 y 1 y ofrece una salida de las mismas características acompañada de una tasa de error del proceso. Así se establecieron 4 neuronas de entrada que recogen para cada oído: a) latencia de p13 y b) diferencia de amplitud interpico p13-n23. Para la normalización de los registros obtenidos a valores comprendidos entre 0 y 1 se empleó una base de datos de 40 sujetos libres de enfermedad vestibular, neurológica y musculoesquelética, con edades comprendidas entre los 20 y 60 años de

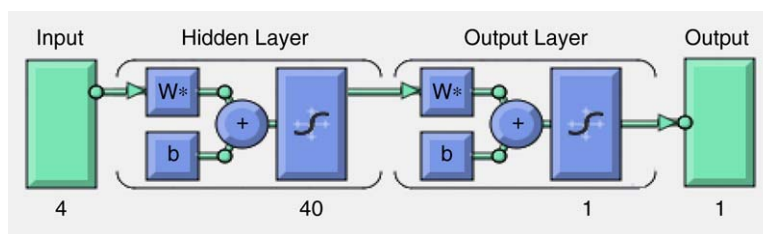


Figura 1 Esquema de la red neuronal: consta de 4 vías de entrada y una de salida (*input* y *output*). La capa de procesamiento interno (*hidden layer*) la componen 40 neuronas, en esta figura, el ítem w^* representa cada uno de los elementos de la matriz de operaciones realizados en cada neurona y b representa el vector de comunicación con otra neurona de la capa.

edad. Para el registro de los potenciales se utilizó un equipo Racia Centor-C, registrando mediante electrodos de superficie los potenciales obtenidos con estímulo sonoro con clics de 0,1 ms de duración, a 90, 100 y 105 dB; para la contracción del ECM se solicita al sujeto que gire la cabeza al lado contrario en estudio. Los valores obtenidos a 100 dB fueron los siguientes: Latencia onda p13: $11,2 \pm 0,87$ ms. Duración p13-n23: $8 \pm 0,47$ ms. Amplitud interpico p13-n23: $70 \pm 82,03$ mV.

Como arquitectura se estableció una red de procesamiento en capa única de 40 neuronas sin retroalimentación. Como vector de salida se estableció una neurona. El esquema de la red se detalla en la [figura 1](#).

La base de datos fue realizada con SPSS 15.0 para Windows y para el diseño de la red neuronal se empleó Matlab 7.4.0 (R2007a) para Windows.

Entrenamiento de la red neuronal

Para el entrenamiento de la red neuronal se seleccionaron 40 casos de una base de datos de 200 sujetos, 160 de ellos con patología vestibular diversa. Para esta selección se emplearon casos con enfermedad bien definida, con una historia clínica precisa y congruente y al menos otra prueba vestibular y/o audiológica (en las enfermedades que lo requerían) claramente anormal. Ninguno de los pacientes presentaba sintomatología vestibular u otológica. Los pacientes incluidos fueron: sujetos normales ($n = 12$), enfermedad de Ménière ($n = 9$), neuritis vestibular aguda ($n = 10$),

schwannoma vestibular ($n = 4$) y vértigo posicional paroxístico benigno ($n = 5$).

Los datos fueron normalizados y presentados a la red neuronal para su entrenamiento. Como parámetros del mismo se estableció una fiabilidad mínima del 70% y un coeficiente de correlación entre los datos obtenidos y los esperados de $R = 0,9$.

Como parámetros de salida de la red se establecieron los valores 0, (-)1 y (+)1 asignados categóricamente a los resultados «patológico de lado izquierdo» «simétrico» y «patológico del lado derecho». Los valores esperados fueron asignados en la base de datos por un observador científico, el mismo que se había encargado durante los 4 años que abarca la base de datos de emitir un informe escrito de los potenciales, atendiendo a los criterios conocidos en la literatura médica para cada enfermedad. En la [tabla 1](#) se presentan 10 casos de los 40 que se emplearon para el entrenamiento de la red neuronal.

Creación y prueba de la aplicación de interpretación de potenciales

Se creó una aplicación informática que integra la red neuronal ya entrenada, en la cual se pueden introducir los parámetros obtenidos en cualquier potencial. Si bien para realizar una correcta normalización de los mismos se han de introducir los valores de referencia del laboratorio. La aplicación fue compilada en código C++ para su ejecución en sistema operativo Windows (R) y consta de un área de

Tabla 1 Muestra de los resultados obtenidos en el entrenamiento de la red neuronal

P13 OD	P13 OI	AIP OD	AIP OI	Humano	Red neural	Error
11,6	10,4	6,48	7,22	1	1	0,02
12,6	12,6	1,26	1,26	0	0	0,05
8,2	8,2	1,11	1,11	0	0	0,10
11,2	11,2	20,72	7,21	-1	-1	0,00
8,2	9,4	1,64	1,92	0	0	0,10
14,4	13,6	3,6	0,78	-1	-1	0,12
12,2	10,8	2,28	2,44	1	0	0,74
14	19,2	2,37	2,29	-1	-1	0,03
10,2	12,6	3,7	7,77	1	1	0,00
13	15,4	0,91	2,4	1	1	0,03

En las 4 primeras columnas se muestran los valores de entrada para la red neuronal, latencia del potencial (ms) y amplitud interpico (mV) de cada oído a 100 dB. La columna humano recoge la interpretación del observador científico (1 derecha patológica, 0 simétricos, -1 izquierda patológica). Las últimas 2 columnas recogen los vectores de salida de la red neuronal entrenada (red neural) y el error esperado en el proceso (error).

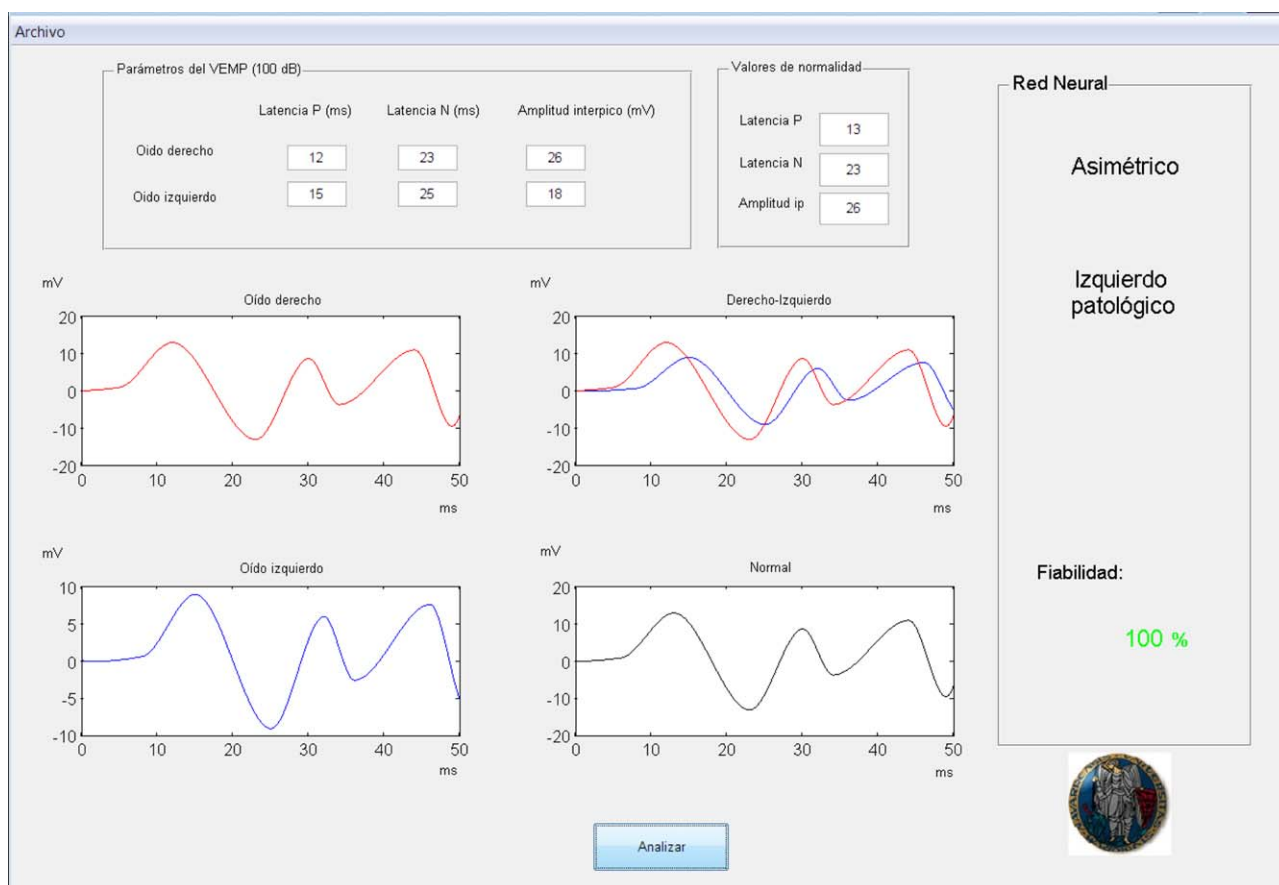


Figura 2 Aspecto final de la aplicación. En el área superior se introducen los parámetros del potencial y los valores de referencia del laboratorio. En la parte inferior a esta se representan los potenciales de oído derecho (rojo) e izquierdo (azul) introducidos, una gráfica que los superpone a la misma escala y otra donde se representa el potencial de referencia del laboratorio (negro). Las gráficas son resultado de la interpolación realizada por el programa a partir de los parámetros introducidos. En el lado derecho de la aplicación se ofrece la interpretación obtenida con la red neural, en este caso los potenciales se estiman asimétricos, a expensas de una alteración en el potencial izquierdo, con un grado de fiabilidad de esta estimación del 100% según los potenciales conocidos por la red en su entrenamiento.

introducción de datos, otra de simulación de potenciales y otra de interpretación de los mismos por la red neural.

Para la representación gráfica de los potenciales introducidos se empleó la interpolación cúbica de Hermite, que obtiene gráficas polinómicas a partir de los puntos de inflexión conocidos. Se muestra en la [figura 2](#) el aspecto de la aplicación informática desarrollada.

Finalmente se realizó una prueba de la aplicación. Ésta se hizo con 14 potenciales procedentes de la base de datos empleada en este trabajo. En esta ocasión de los potenciales seleccionados 5 eran similares a los empleados en el entrenamiento de la red y los otros 9 ofrecían unos potenciales o una historia clínica más inespecíficos o incompletos.

Resultados

Se entrenó una red neural con un grado de rendimiento de 0,0000022 (rendimiento máximo=0), el coeficiente de correlación entre los valores teóricos y los obtenidos en el entrenamiento de la red fue de $R=0,96$.

La aplicación informática desarrollada fue capaz de interpretar correctamente el 100% de los casos con VEMP que habían sido definidos por el observador como claramente alterados ($n=5$). En los casos de interpretación incierta por el observador ($n=9$) la red neural informó como patológicos el 78% de los potenciales, con un porcentaje de error inferior al 25%. Los resultados obtenidos se detallan en la [tabla 2](#).

Discusión

A la hora de interpretar los hallazgos en nuestro trabajo es necesario reconocer la existencia de diversos aspectos controvertidos en el uso de las redes neurales. En primer lugar no se puede conocer el método que la red neural emplea para la obtención del resultado: en este sentido cada red neural es única, así pues, la misma red sometida al mismo proceso de entrenamiento en otro entorno de realización de la prueba daría como resultado otra red distinta. Esto aparentemente es una clara desventaja, si bien como contrapartida parece útil que cada red se pueda adaptar

Tabla 2 Resultados obtenidos con la red neural ya entrenada

Diagnóstico	Historia	R. neural	Informe VEMP	P. error
VPP		Izquierdo		14%
VPP		Izquierdo		35%
VPP		Derecho		30%
VPP		Derecho		12%
VPP		Derecho		1%
VPP		Derecho		3%
VPP		Izquierdo		0%
VPP		Simétrico		4%
EM	Izquierdo	Izquierdo	Izquierdo	1%
EM	Izquierdo	Izquierdo		1%
EM	Izquierdo	Izquierdo	Izquierdo	18%
EM	Derecho	Derecho	Derecho	4%
EM	Derecho	Derecho	Derecho	2%
Neurinoma	Derecho	Derecho	Derecho	1%

EM: enfermedad de Ménière; Historia: lado patológico según otras exploraciones realizadas; Informe VEMP: lado alterado según el observador científico; P. error: porcentaje de error esperado por la red neural en su interpretación; Neurinoma: schwannoma vestibular; R. neural: interpretación obtenida por la red neural; VPP: vértigo posicional paroxístico.

específicamente a las situaciones del laboratorio en el que se utilice.

Nuestra red neural no ofrece un dato numérico ni una orientación diagnóstica categórica, únicamente nos informa del grado de simetría de los potenciales pues, como se expuso en la introducción, existen muy pocos estudios en la literatura especializada que hagan referencia al valor numérico a partir del cual un potencial se puede considerar patológico. En cuanto al diseñar una red con capacidad diagnóstica, desde el punto de vista teórico, no hay motivo alguno que lo impida, las redes se pueden diseñar prácticamente con cualquier fin. El problema real es que según aumentamos el grado de variabilidad en los datos de entrada o de salida de la misma el número de casos conocidos que necesitamos para entrenarla crece exponencialmente, siguiendo el símil humano, el que más acierta suele ser el que más ha estudiado. Nuestra red cuenta con 4 vectores de entrada (datos del potencial a 100 dB) y uno de salida, para entrenar una red neural fiable se estima un mínimo de 30 casos. Si quisiéramos entrenarla con más parámetros, como por ejemplo, los potenciales obtenidos a 90 y 105 dB necesitaríamos 12 vectores de entrada y aproximadamente unos 4.000 casos conocidos para entrenarla con la misma fiabilidad.

Otro punto crítico es la imposibilidad de controlar la variabilidad de los datos introducidos en el entrenamiento y sobre los que la red neural puede aprender erróneamente. Muy clarificador en este sentido es el lado del que proviene la alteración vestibular. Aunque el diseñador de la red intente equilibrar el número de oídos izquierdos y derechos anormales, no puede controlar la magnitud de variación de los mismos sin manipular la realidad, así siempre habrá un oído que en global se desvíe más que el otro. Si la red aprende que los oídos izquierdos son más patológicos que los derechos, ante un potencial con la misma magnitud de variación, puede interpretar un oído como patológico mientras que el mismo potencial en el oído contralateral se hubiera interpretado como normal.

Un reflejo de la precisión del sistema es el caso de un paciente en el que durante el proceso de entrenamiento

neural resultaba siempre discordante entre la red y el observador y, además, el aparente error se repetía al variar las condiciones de entrenamiento. Al revisar el caso, se advirtió que el potencial se establecía como patológico en función del registro obtenido a otra intensidad sonora, no analizada por nuestra red neural.

En cuanto al método empleado para la obtención de los potenciales, la influencia de determinadas variables como pueden ser la edad¹², el grado de contracción muscular o el tipo de estimulación sonora, somos conscientes de que pueden haber influido en este estudio, si bien, como ya hemos dicho anteriormente, siguen faltando datos en la literatura especializada que nos permitan seleccionar estas variables con evidencia científica suficiente.

Esta aplicación informática no ha sido probada en otros laboratorios, aunque está diseñada para comportarse de manera similar en otras condiciones, no sabemos a priori cuál será su comportamiento, aunque por lo aprendido en este trabajo nos parece que esta dificultad no hará otra cosa que convertirla en una herramienta más eficaz y precisa, pues las redes neurales pueden diseñarse para continuar aprendiendo y al igual que nosotros, mejorar con nuestra experiencia y el análisis crítico de nuestros propios errores.

Conclusiones

Es posible crear una red neural capaz de interpretar los potenciales evocados miogénicos vestibulares, ofreciendo una información útil, sencilla y fiable al examinador clínico.

Con la experiencia obtenida en este trabajo podemos afirmar que la cantidad de información y la fiabilidad de la misma se verían notablemente incrementadas con un mayor número de casos a interpretar y un entorno de trabajo más amplio. Sería muy interesante poder desarrollar este método de análisis en colaboración con otros centros de investigación.

Las redes neurales artificiales son una herramienta útil en aquellas situaciones en las que un número determinado de variables puedan provocar una respuesta clínicamente rele-

vante, aún sin conocerse exactamente el mecanismo por el cual la provocan, o aquellas conocidas en las que su análisis es excesivamente complejo fuera de unas situaciones idóneas de experimentación. A la luz de este trabajo, nos parece que este método se puede emplear con éxito en el campo de la otoneurología, y creemos que es aplicable a otros ámbitos de nuestra especialidad.

Pese a su importante potencial, las redes neurales no son una herramienta que sea capaz de sustituir el criterio médico y deben ser entendidas como un asistente en el trabajo clínico.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Colebatch JG, Halmagyi GM. Vestibular evoked potentials in human neck muscles before and after unilateral vestibular deafferentation. *Neurology*. 1992;42:1635–6.
2. Cheng PW, Huang TW, Young YH. The influence of clicks versus short tone bursts on the vestibular evoked myogenic potentials. *Ear Hear*. 2003;24:195–7.
3. Akin FW, Murnane OD, Panus PC, Caruthers SK, Wilkinson AE, Proffitt TM. The influence of voluntary tonic EMG level on the vestibular-evoked myogenic potential. *J Rehabil Res Dev*. 2004;41:473–80.
4. Streubel SO, Cremer PD, Carey JP, Weg N, Minor LB. Vestibular-evoked myogenic potentials in the diagnosis of superior canal dehiscence syndrome. *Acta Otolaryngol Suppl*. 2001;545:41–9.
5. Murofushi T, Shimizu K, Takegoshi H, Cheng PW. Diagnostic value of prolonged latencies in the vestibular evoked myogenic potential. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2001;127:1069–72.
6. Young YH, Huang TW, Cheng PW. Assessing the stage of Meniere's disease using vestibular evoked myogenic potentials. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 2003;129:815–8.
7. Ochi K, Ohashi T, Watanabe S. Vestibular-evoked myogenic potential in patients with unilateral vestibular neuritis: abnormal VEMP and its recovery. *J Laryngol Otol*. 2003;117:104–8.
8. Boleas-Aguirre M, Sánchez-Ferrándiz N, Artieda J, Pérez N. Vestibular evoked myogenic potentials and benign paroxysmal positional vertigo. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2007;58:173–7.
9. Iglesias Rodríguez R, Fernández Delgado M, Barciela García J, Peña Crecente RM, García Martín S, Herrero Latorre C. Comparison of several chemometric techniques for the classification of orujo distillate alcoholic samples from Galicia (northwest Spain) according to their certified brand of origin. *Anal Bioanal Chem*. 2010;16 (publicación electrónica).
10. Rama-López J, Pérez N. Characterisation of the influence exerted by the visual factor in patients with balance disorders. *Rev Neurol*. 2004;39:513–6.
11. Rama-López J. Caracterización de la influencia del factor visual y de los patrones posturográficos de preferencia visual en una población de pacientes con patología vestibular [tesis doctoral]. Universidad de Navarra, 2005.
12. Lee SK, Cha CI, Jung TS, Park DC, Yeo SG. Age-related differences in parameters of vestibular evoked myogenic potentials. *Acta Otolaryngol*. 2007;22:1–7.