



Método de Evaluación en campo libre de los umbrales en pacientes con Implante Coclear: utilidad de los potenciales evocados auditivos de estado estable para la valoración del rendimiento Objetivo de los Implantes cocleares

Pablo Arias¹, María del Carmen Hernández², Pilar Zuluaga³, Pilar Calero¹

1 Servicios Auditivos Ibiza, Madrid. España. 2 Centro de Neurociencias de Cuba. La Habana. Cuba. 3 Departamento de Estadística I.O. Facultad de Medicina U.C.M .Madrid. España.

Resumen

La evaluación de la ganancia funcional en campo libre, en pacientes con implantes cocleares, constituye un elemento fundamental en la audiología clínica. Una herramienta objetiva son los Potenciales Evocados Auditivos de estado estable a múltiples frecuencias (PEAee MF) que permiten esta evaluación de la ganancia funcional. Este trabajo pretende demostrar el valor clínico de los PEAee MF en la caracterización objetiva de los umbrales auditivos en pacientes con implante coclear. Este estudio clínico-electrofisiológico se ha llevado a cabo en 14 pacientes, todos ellos portadores de implantes cocleares, y de edades comprendidas entre 2 y 14 años, para los que se tiene 44 registros. Para cada registro se tienen 8 medidas (2 para cada una de las frecuencias 500Hz, 1000Hz, 2000Hz y 4000Hz) de la ganancia funcional en campo libre medidas mediante dos métodos: umbrales conductuales (UC) y umbrales obtenidos con los PEAee MF (UE). Los PEAee MF se han realizado en campo libre, en condiciones de sueño natural y en una cabina sonoamortiguada. Así mismo, a cada paciente se le ha realizado un estudio conductual en campo libre que nos ha permitido comparar los umbrales conductuales (UC) con los umbrales obtenidos con los PEAee MF (UE).

Los valores medios de los potenciales evocados (UE) quedan por debajo que los UC, para las frecuencias de 500Hz, 1000Hz, 2000Hz y 4000 Hz y además el comportamiento según las frecuencias es el mismo. Los valores de las diferencias de las medias (UC-UE) se representa en la figura 4, siendo las mayores diferencias a los 500Hz (1.50 dBHL) y 4000Hz (1.49 dBHL) respectivamente.

La diferencia entre ambos tipos de umbrales UC y UE varía de 1 dBHL a 1.5 dBHL, no siendo estas diferencias estadísticamente significativas. Estos resultados concluyen que la audiometría obtenida con PEAee a MF constituye una metodología objetiva que permite aportar una información valiosa y muy útil para la caracterización de los umbrales auditivos en campo libre en pacientes con implantes cocleares.

Palabras claves: potenciales evocados auditivos de estado estable, prótesis auditivas, campo libre, múltiples frecuencias, implante coclear, audiometría.

Introducción

La audiometría se basa principalmente en un método de medición psicoacústica, donde el sujeto en estudio responde de manera activa ante la presentación de un estímulo sonoro (Katz, 2002). En niños de muy corta edad, o en pacientes con pérdida auditiva, además de algún tipo de discapacidad neurológica, conductual y/o cognitiva, la audiometría como método subjetivo, presenta cierta dificultad para la obtención de un umbral audiológico fiable, ya que el resultado obtenido depende en gran medida de la experiencia del evaluador. En estos niños de corta edad y pacientes con deficiencia auditiva es fundamental investigar en otras alternativas de exploración objetiva que permitan evaluar de manera eficiente la audición.

Los Potenciales Evocados Auditivos de Estado Estable de múltiple frecuencia (PEAee MF), constituyen un método de evaluación objetiva de la audición, en la práctica clínica de estos últimos años. Los PEAee MF aportan múltiples ventajas y diferencias respecto a PEATC. Los PEAee MF permiten la obtención de los umbrales con caracterización frecuencial en la exploración de la vía aérea (Lins y cols, 1996; Pérez-Abalo y cols, 2001) y de la vía ósea (Hernández Cordero y cols, 2007 y 2012), permitiendo además obtener resultados a intensidades de 110 dB HL lo que facilita el estudio audiológico objetivo en pacientes con hipoacusia neurosensorial profunda. En este tipo de potenciales para la detección de la respuesta se aplican métodos estadísticos, lo que proporciona otra ventaja importante si se compara con el PEATC cuyo informe se realiza por inspección visual, dependiendo de la experiencia del profesional que evalúa la presencia o no de respuesta (Stapells, 2000).

La estrecha relación entre audición y adquisición de lenguaje, pone en evidencia la gran trascendencia que tiene la correcta indicación y ajuste de prótesis auditiva en pacientes de edades tempranas, ya que de ello depende el desarrollo adecuado del lenguaje. Los protocolos diseñados específicamente para esta población, se basan en métodos electrofisiológicos, ya que la exploración conductual con audiometría por refuerzo visual no es viable hasta los 5-6 meses de edad. Así mismo, no se debe aplicar en aquellos niños que presenten trastornos neurológicos, de desarrollo, cognitivos u otras enfermedades asociadas a la hipoacusia, donde las respuestas obtenidas por valoración conductual no son fiables (Stroebel y cols, 2007).

Los procesos fundamentales en el procedimiento de indicación y ajuste de prótesis auditivas en niños y adultos son:

1. La caracterización de la hipoacusia,
2. La selección y ajuste de los parámetros de la prótesis auditiva indicada según el tipo de pérdida auditiva
3. La verificación de la ganancia funcional obtenida en cada caso.

La incorporación de los PEAee MF en este proceso,

aporta un método rápido y objetivo para determinar los umbrales auditivos. A partir de los resultados obtenidos se procede a la selección del tipo de prótesis. Esta técnica permite su aplicación para el estudio en campo libre y evaluación del beneficio objetivo de la prótesis auditiva adaptada.

La obtención de los umbrales con prótesis auditiva en campo libre, es una medición más objetiva que la obtenida con PEATC para comprobar la ganancia funcional en los pacientes una vez ajustada la prótesis auditiva (Stroebel y cols, 2007). La posibilidad de obtener los umbrales a través de los potenciales evocados PEATC ha sido un reto importante en el campo de la investigación audiológica en los últimos años. Así lo demuestran estudios donde se ha utilizado el PEATC con estos fines a pesar de las limitaciones referidas a la utilización de los estímulos transitorios con el "click" o el "tone pip" utilizados (Garnham, y cols, 2000). Estos estímulos breves en campo libre se distorsionan en el altavoz al procesarlos a través de un audífono digital. Mientras que los PEAee MF se definen como el candidato ideal para este tipo de exploración (Picton y cols, 1998; Stroebel y cols, 2007).

Una de las aplicaciones más importantes de la evaluación objetiva de la audición mediante los PEAee MF en campo libre en pacientes con prótesis auditivas, lo constituyen los pacientes con implantes cocleares debido a que el procedimiento quirúrgico muchas veces se realiza en niños pequeños. En estos casos, la validación clínica de una herramienta objetiva como los PEAee MF para determinar la ganancia funcional, constituye un elemento fundamental para su inclusión posterior en los protocolos de evaluación audiológica. La obtención precisa de los umbrales auditivos con caracterización frecuencial, permite la verificación de una programación adecuada.

El principal objetivo de este estudio, es evidenciar la utilidad clínica de PEAee MF como método de registro objetivo con caracterización frecuencial en campo libre en pacientes con implante coclear. Este método de registro permitiría obtener el valor objetivo de la ganancia funcional de la prótesis auditiva.

Material y Métodos

Pacientes

El presente estudio clínico se ha llevado a cabo en 14 pacientes de edades comprendidas entre 2 y 14 años, para los que se tiene 44 registros. Para cada registro se tienen 8 medidas (2 para cada una de las frecuencias 500, 1000, 2000 y 4000 Hz) de la ganancia funcional en campo libre medidas mediante dos métodos: umbrales conductuales (UC) y umbrales obtenidos con los PEAee MF (UE). Los pacientes han sido diagnosticados con hipoacusia neurosensorial profunda. De los pacientes incluidos en este estudio, 13 son portadores de implante coclear bilateral y 1 portador unilateral. Se realiza el estudio, según la posición de uso y programación optimizada del implante coclear para cada

paciente, independientemente de la identificación del modelo, de la estrategia de programación utilizada y de la tasa de estimulación, debido a que el objetivo del mismo es valorar la ganancia funcional objetiva con el implante y su comparación en la misma posición de uso y programación con respecto a la medida de la ganancia funcional conductual.

En todos los casos se evaluaron los umbrales conductuales (UC) y electrofisiológicos (UE). Los UC para la obtención de la ganancia funcional se realizaron en campo libre a través de la presentación de tonos modulados (*warble tone*). Estos UC se obtuvieron explorando la serie de intensidades con un audiómetro Interacustics digital modelo AC-40 con amplificador interno y presentado a través de altavoces Topak TS.320W de dos vías con respuesta en frecuencias de 60Hz-20Khz.

La obtención de todos los valores audiológicos de este estudio se han realizado en una cabina sonoamortiguada.

Potenciales Evocados Auditivos de Estado Estable a Múltiples Frecuencias (PEAee MF)

Estímulo

Todos los registros electrofisiológicos se obtuvieron con una combinación de 4 tonos portadores continuos 500Hz, 1000Hz, 2000Hz y 4000Hz, modulados en amplitud (95% de profundidad) a las frecuencias de 104Hz, 108Hz, 111Hz y 115Hz respectivamente; los cuales fueron presentados en campo libre (altavoz SAMSON, Active Studio Monitor). Los estímulos fueron generados digitalmente con el estimulador del sistema Audix (modelo # NDOO1A USB, Neuronic SA). La frecuencia máxima de conversión digital analógica (D/A) fue de 35KHz.

Calibración

Los estímulos acústicos fueron calibrados con un sonómetro modelo 2260 y con un micrófono tipo 4144(Brüel & Kjaer). El estímulo acústico multifrecuencia se calibró para asegurar que la energía acústica de cada frecuencia portadora, medida en dB SPL, se correspondía con su valor nominal en dB HL más su respectivo umbral.

Registro

Los PEAee MF se registraron con el equipo AUDIX V (modelo # NDOO1A USB, Neuronic SA). Se utilizaron electrodos de disco (Ag/AgCl) fijados al cuero cabelludo mediante pasta conductora, colocando el electrodo activo (positivo) en la posición Cz, el electrodo de referencia (negativo) en el íonion y el electrodo de tierra en la posición Fpz. Los valores de impedancia se fijaron por debajo de 5 K Ω .

La actividad bioeléctrica se amplificó con una ganancia de 100.000 y se filtró analógicamente con un ancho de banda entre 10 y 300 Hz. La obtención de cada poten-

cial se obtuvo promediando entre 32 y 40 segmentos de electroencefalografía (EEG) de 11.2 segundos cada uno (8192 muestras digitalizadas con una frecuencia de muestreo de 920 Hz). La Transformada Rápida de Fourier (FFT) se calculó en línea para cada segmento de EEG o ventana de análisis. El resultado (espectro de la respuesta) se actualizaba gráficamente en la pantalla del monitor durante el proceso de promediación. La detección de la respuesta se obtuvo con la prueba T2 de Hotelling (T2H) que evalúa la diferencia entre los componentes de la señal y la media de los componentes del espectro usado para estimar el ruido (60 puntos a cada lado de la frecuencia de la señal). La T2H se calculó en línea durante la promediación de cada ventana. Los resultados de la detección estadística de la respuesta se actualizan de forma continua en pantalla.

El nivel de significación estadística para la detección de la señal se fijó para $p < 0.05$.

Estudio estadístico de los resultados

Las técnicas estadísticas empleadas son: Test Wilcoxon de muestras apareadas para comparar los valores obtenidos por ambos métodos, coeficiente de correlación de Spearman para medir la correlación entre ambos métodos, coeficiente de Li para medir la concordancia de ambos métodos.

Los paquetes estadísticos utilizados son SPSS, Statgraphics Centurion y MedCalc.

Resultados

Los resultados correspondientes a UC de un paciente con implante coclear se representan en un audiograma conductual (Figura 1).

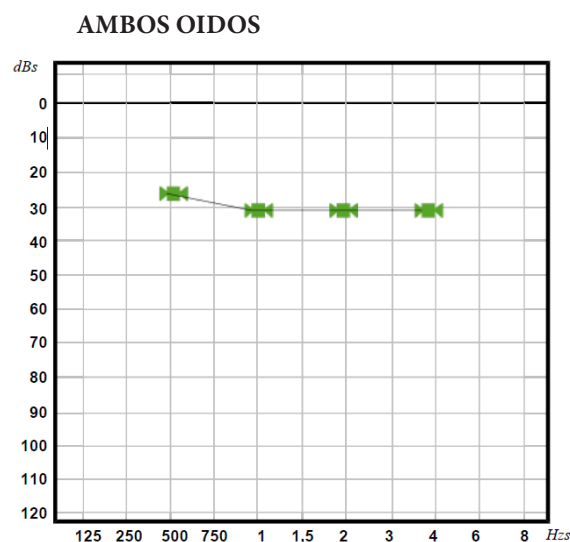
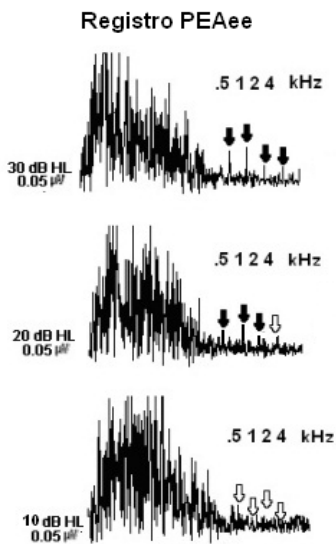


Figura 1: Representación gráfica de un estudio conductual en campo libre bilateral (ambos oídos, ambas prótesis) y las respuestas obtenidas en las cuatro frecuencias exploradas: 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz.



KHz 2A

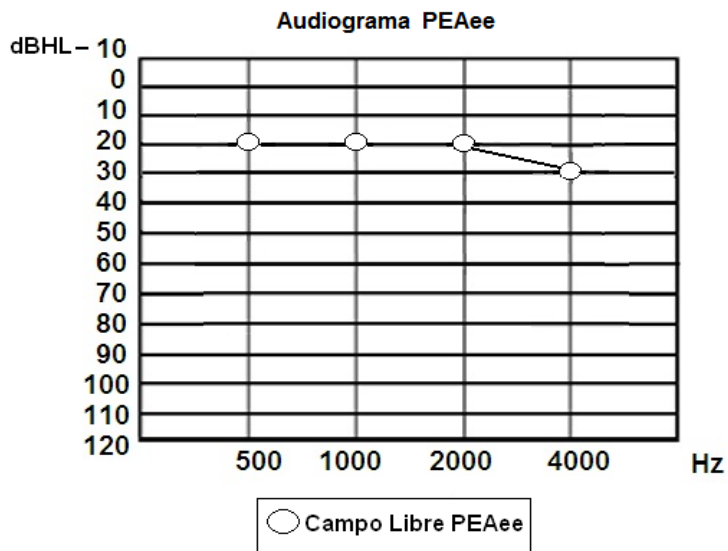


Figura 2B

Figura 2: Figura 2A. Registro de PEAee MF. Las flechas en negro indican la presencia de respuestas significativas. Las flechas blancas indican ausencia de respuesta. Figura 2B. Representa el audiograma electrofisiológico y las respuestas obtenidas en las 4 frecuencias exploradas: 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz.

Los resultados correspondientes a UE de un paciente con implante coclear se representan en un audiograma electrofisiológico o electroaudiometría (Figura 2). La Figura 2A representa el espectro de frecuencia del registro electrofisiológico correspondiente a la Figura 2B el cual se representa e interpreta de manera similar a la práctica clínica audiológica.

En todos los pacientes se exploró la serie de intensidades hasta obtener el umbral objetivo, el cual se define como la mínima intensidad a la cual se obtiene respuesta significativa.

Los valores de las medias, desviaciones y cuartiles (percentiles 25, 50 y 75) se muestran a continuación en la Tabla 1.

	Media	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Percentiles		
					25	50	75
UE500	28,7209	6,73415	15,00	45,00	25,0000	30,0000	30,0000
UE1000	25,4651	6,97051	15,00	40,00	20,0000	25,0000	30,0000
UE2000	26,1628	8,22577	15,00	50,00	20,0000	25,0000	30,0000
UE4000	30,8333	8,61908	10,00	50,00	25,0000	30,0000	35,0000
UC500	30,2273	5,99947	20,00	45,00	25,0000	30,0000	33,7500
UC1000	26,4773	7,43808	15,00	40,00	20,0000	25,0000	30,0000
UC2000	27,2727	8,72410	10,00	55,00	20,0000	25,0000	30,0000
UC4000	32,3256	9,40800	15,00	60,00	25,0000	30,0000	40,0000

Tabla 1: Valores de media, desviación estándar y cuartiles de los umbrales obtenidos en las 4 frecuencias exploradas mediante audiometría conductual y PEAee MF en campo libre en pacientes con implante coclear. N=44. Nota. Umbrales Conductuales (UC). Umbrales electrofisiológicos (UE).

Los UE obtenidos mediante el registro electrofisiológico son ligeramente inferiores respecto a los UC obtenidos

mediante la audiometría conductual. La representación gráfica de los resultados descritos anteriormente se ilustra en la Figura 3.

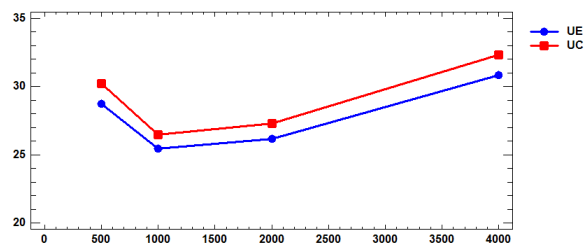


Figura 3: Representación gráfica de valores medios en las 4 frecuencias exploradas en campo libre en pacientes con implante coclear. N=44.

Los valores medios de los potenciales evocados (UE) quedan por debajo que los UC, para todas las frecuencias y además el comportamiento según las frecuencias es el mismo.

La representación gráfica de las diferencias de las medias (UC-UE) se representa en la Figura 4, siendo las mayores diferencias a los 500Hz (1.50 dBHL) y 4000Hz (1.49 dBHL).

El test de Wilcoxon de muestras apareadas demuestra que no hay diferencias significativas entre ambos métodos para ninguna de las frecuencias analizadas (todos los p-valores >0.05). En la Tabla 2 se recogen los valores concretos de los p-valores.

Dado que los datos están medidos cada 5 dBHL para

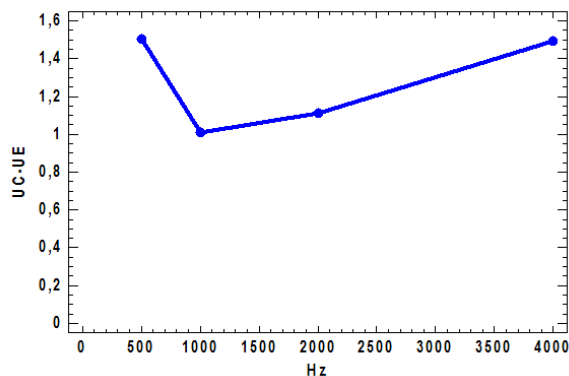


Figura 4: Valores de las diferencias de las medias (UC-UE). Nota: La media de la diferencia se encuentra entre 1 y 1.50dB HL.

	UE500 - UC500	UE1000 - UC1000	UE2000 - UC2000	UE4000 - UC4000
Z	-1,293	-1,335	-1,128	-1,106
Sig. asintótica (bilateral)	,196	,182	,259	,269

Tabla 2: Estudio de los valores de la variable diferencia entre UC-UE mediante el test de Wilcoxon para datos apareados. NOTA: No existen diferencias significativas entre ambos métodos en ninguna de las frecuencias analizadas (todos los p-valores >0.05).

medir la correlación se aportan los coeficientes de correlación de Spearman y sus p-valores, que representados en la Tabla 3.

Frecuencia	Coefficiente de Spearman	p-valor	Coefficiente de Li
UC500 vs UE500	0.266	0.043	0.218
UC1000 vs UE1000	0.762	0.000	0.741
UC2000 vs UE2000	0.663	0.000	0.724
UC4000 vs UE4000	0.640	0.000	0.597

Tabla 3: Valores de los coeficientes de correlación de Spearman, sus p-valores y valores del coeficiente de concordancia de Li.

En la Tabla 3 se reflejan los coeficientes de correlación, que son todos positivos y significativos. Estos coeficientes indican que al aumentar los valores de UE aumentan significativamente los de UC, siendo la frecuencia de 500Hz donde esta relación es menor. Además se incluye en esta tabla los valores de una medida de concordancia de ambos métodos obtenidos con el coeficiente de Li.

Discusión

Los PEAAE MF se utilizan en la práctica audiológica para la caracterización de la audición por vía aérea y vía ósea (Hernández Cordero y cols. 2007 y 2012). Los

resultados del presente estudio ponen en evidencia que los PEAAE MF en campo libre son un candidato ideal para la evaluación de la ganancia funcional en pacientes de corta edad portadores de implante coclear. Estos resultados demuestran la utilidad clínica de los PEAAE MF para la caracterización frecuencial, permitiendo obtener el valor del umbral de la respuesta en frecuencia objetiva sin la colaboración del paciente portador de prótesis auditiva. En todo registro lo que se persigue es que no existan variables de error en la muestra. Los PEAAE MF permiten excluir al paciente como variable de error, porque la obtención de la respuesta no depende de su participación durante la evaluación auditiva. Mientras que los valores obtenidos en las audiometrías conductuales es necesaria la colaboración del paciente. Este tipo de registros UE permiten objetivizar el funcionamiento de la prótesis adaptada. La diferencia entre UC y UE es de 1dBHL a 1.50 dBHL. Estos resultados confirman que este tipo de potenciales PEAAE MF constituyen una metodología de evaluación muy adecuada en aquellos pacientes portadores de implantes cocleares de difícil evaluación conductual.

El uso en campo libre de los PEAAE MF para la verificación y evaluación de la ganancia funcional de pacientes portadores de implantes cocleares es muy novedoso en la clínica diaria de audiología, aunque son varios los autores que han puesto de manifiesto diferentes protocolos de trabajo y métodos de obtención de UE.

Así mismo se debe señalar que en la investigación se utilizaron estímulos de tipo Warble Tone para la exploración conductual y tonos modulados en frecuencia para el estudio electrofisiológico, lo cual permite obtener un mejor resultado en este tipo de estudio, ya que en las prótesis auditivas, éste no es cancelado por los algoritmos internos de cada equipo.

Algunos autores hacen referencia al uso de PEAAE MF para la valoración de la ganancia funcional en audífonos digitales (Picton y cols, 1998; Stroebel y cols, 2007; Mona y cols, 2012). Picton y cols, (1998); utilizan los PEAAE MF en la evaluación objetiva de la ganancia funcional en niños con prótesis auditivas digitales. En este trabajo, la diferencia entre los umbrales UC y UE en campo libre, son de 17 dBHL, 13 dBHL, 13dBHL y 16 dBHL en las frecuencias de 500 Hz., 1000 Hz., 2000 Hz. y 4000 Hz respectivamente, pero no siendo estas diferencias estadísticamente significativas. En 2007, Stroebel y cols, estudiaron la utilidad de estos potenciales PEAAE MF en el cálculo objetivo de la ganancia funcional en pacientes menores de 1 año de edad y portadores de prótesis auditivas. Los resultados de este trabajo mostraron diferencias de 15 dBHL respecto al umbral conductual. Mona y cols, (2012) demuestran una alta correlación entre los umbrales auditivos, al comparar la técnica de audiometría conductual y los PEAAE. MF con y sin prótesis auditivas. Estos estudios sugieren la validez de los PEAAE MF para el proceso de verificación de la ganancia funcional en pacientes usuarios de prótesis auditivas digitales.

Scott y cols. (2010) documentan en un estudio la evaluación auditiva con PEAAE MF en un grupo de 15

adultos normoyentes y 10 pacientes con implante coclear. Las diferencias entre los valores obtenidos en la estimación conductual y la electrofisiológica, se encuentran entre 0 dBHL y 5 dBHL.

El presente trabajo aporta como novedoso el estudio en niños mediante PEAE MF portadores de implantes cocleares en condiciones fisiológicas de sueño natural. Además las diferencias en las estimaciones entre la audiometría conductual y electrofisiología se encuentra entre valores de 1 dB HL y 1.50 dB HL siendo sensiblemente inferiores a las documentadas por Scott y cols. (2010)

Las diferencias entre los umbrales UC y UE de este estudio con pacientes implantados son menores que los resultados obtenidos con audífonos digitales (Picton y cols, 1998; Stroebel y cols, 2007; Mona y cols, 2012). Estas diferencias podrían deberse a que el procesamiento que realiza el audífono digital del tono modulado que se presenta, depende de las características electroacústicas propias de cada modelo de dispositivo, pudiendo introducir variaciones en la obtención de los potenciales evocados a diferencia de los registros obtenidos con implante coclear independientemente de la marca y el modelo del implante coclear.

La fiabilidad de este tipo de potenciales utilizados en pacientes con implante coclear, demuestra que las respuestas obtenidas, fueron de naturaleza fisiológica y no artefactuales.

Conclusiones

Los presentes resultados demuestran que los PEAE MF son una técnica objetiva y de gran fiabilidad para evaluar los umbrales auditivos en campo libre en pacientes con implante coclear.

La utilidad clínica de PEAE MF permitiría obtener con gran fiabilidad los umbrales auditivos en campo libre en pacientes portadores de distintos tipos de prótesis auditivas.

Los potenciales PEAE MF son de gran utilidad clínica, especialmente en pacientes que tienen muchas dificultades para poder colaborar.

La importancia de obtener un valor objetivo en los umbrales facilita la precisión en el ajuste de las prótesis auditivas.

Finalmente los potenciales PEAE MF en campo libre facilitan la obtención de la información necesaria para mejorar el rendimiento de las prótesis auditivas del paciente, siendo éste el fin último del ejercicio diario en la clínica audiológica y otorrinolaringológica.

Bibliografía

1. **Hernández Cordero MC, Pérez Abalo MC, Rodríguez Dávila E, Rioja Rodríguez L.** (2007). La audiometría por vía ósea mediante potenciales evocados auditivos de estado estable a multifrecuencia: estudio en sujetos normoyentes *Rev Logop Foniatr Audiol*, 27, 86-91.
2. **Hernández Cordero MC, Pérez Abalo MC** (2012). Evaluación objetiva de la conducción del sonido por vía ósea con potenciales

evocados auditivos. *Rev. Audito*, 3(3), pp. 61-66.

3. **Garnham J, Cope Y, Durst C, McCormick B, Mason SM** (2000). ABR assessment of aided thresholds before cochlear implantation. *Br J Audiol*, 34, 267-278.
4. **Katz J** (2002). *Hanbook of Clinical Audiology*. Lippicott Willians&Wilkins, pp 307- 319
5. **Lins OG, Picton PE, Picton TW, Champagne SC, Durieux-Smith A** (1995). Auditory steady-state responses to tones amplitude-modulated at 80-110 Hz. *J Acoust Soc Am*, 97, 3051-3063.
6. **Mona H, Mostafa E, Amira M, Hedayet S, Elfouly H** (2012). Comparing sound field audiometry and free field auditory steady state response in the verification of hearing aid fitting in adults. *The Egyptian Journal of Otolaryngology*, 28, 201-207
7. **Pérez-Abalo MC, Savio G, Torres A, Martín V, Rodríguez E, Galán L** (2001). Steady state responses to multiple amplitude-modulated tones: an optimized method to test frequency-specific thresholds in hearing-impaired children and normal-hearing subjects. *Ear Hear*, 22, 200-211.
8. **Picton TW, Durieux-Smith A, Champagne SC, Whittingham J, Moran LM, Giguere C** (1998). Objective evaluation of aided thresholds using auditory steady-state responses. *Journal of the American Academy of Audiology*, 9(5), 315-331.
9. **Scott M, Brown D, Stephens J, Balvalli S, Meinzen-Derr J** (2010). Measuring Auditory Steady State Responses in Cochlear Implant Recipients. *Objective Measures in Auditory Implants - 6th International Symposium*, St Louis, MO, September.
10. **Stapells, DR** (2000). Threshold estimation by the tone-evoked auditory brainstem response: A literature meta-analysis. *Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 24(2), 74-83.
11. **Stroebel D, Swanepoel D, Groenewald E** (2007). Aided auditory steady-state responses in infants. *International Journal of Audiology*, 46(6) 287, 292.