

Procedimiento para obtener el reclutamiento mediante microfónicos cocleares

Julio Sanjuán Juaristi

Servicio de Otorrinolaringología. Hospital Ramón y Cajal. Madrid. España.

Objetivo: Aportar un procedimiento objetivo para la obtención del factor de reclutamiento (*recruitment*). En la actualidad todos los métodos están basados en la respuesta subjetiva del paciente. La relación entre el aumento del potencial microfónico coclear (MC) y el incremento del estímulo es la base de esta aportación. El sistema permite la apreciación de décimas de decibelio, precisión necesaria para determinar el poder diferencial de amplitud auditiva en los pacientes.

Método: Se ha empleado un equipo específico para el estudio de los potenciales MC. Hemos comparado los resultados obtenidos con esta nueva técnica con los determinados subjetivamente por el método de Lüscher. Se presenta a 10 adultos sin propósito estadístico. Previamente se comprobó la precisión física del equipo, y luego se practicaron determinaciones en animales de experimentación y, por último, en humanos.

Resultados: Obtenemos mediante MC una desviación máxima de 0,3 dB respecto a la apreciación subjetiva de los pacientes. En la repetición de la prueba objetiva se obtienen idénticos resultados en el mismo paciente, mientras que en el estudio subjetivo se observan discrepancias en las repeticiones.

Conclusiones: La posibilidad de estudiar el reclutamiento objetivamente abre nuevas perspectivas en diagnóstico precoz y nos capacita para optar más acertadamente respecto a la colocación de un implante o la adaptación de un audífono, con un control automático de volumen correcto unido al ajuste de la ganancia selectiva en frecuencia, ya que obtenemos simultáneamente el perfil audiométrico umbral.

Palabras clave: Reclutamiento por método objetivo. Microfónicos cocleares y reclutamiento. Reclutamiento en diagnóstico precoz. Valor diferencial de intensidad.

A Procedure to Obtain the Recruitment Using Cochlear Microphonic Potentials

Objective: To present an objective procedure for recruitment measure. Nowadays all recruitment methods are based on the patients' subjective responses. This procedure is based on the ratio between an increase in the cochlear microphonic potential and the increase in stimuli intensity. The system allows recruitment to be measured down to one tenth of a decibel; the precision necessary to differentiate the auditory capacity of patients.

Method: We used a specific technique to detect cochlear microphonic potentials. We have compared the results obtained with this new technique with those determined by the Lüscher method. We present 10 adults with no statistic aim. We first tested the physical accuracy followed by measures with laboratory animals and humans.

Results: We obtained a maximum deviation of 0.3 dB with respect to the patients' subjective appreciation. During the repetition of the objective measure with the same patients, we obtained identical results, whereas significant differences were observed with the repetitions in the subjective study.

Conclusions: The possibility of an objective measurement for recruitment opens up new perspectives for early diagnosis. This technique may be of assistance in the decision to place an implant or how to adapt a hearing aid. Through automatic volume control as well as the correct adjustment of the selective gain in frequency, we can also obtain the threshold audiometric profile simultaneously.

Key words: Objective audiometric method. Microphonic cochlear potentials and recruitment. Early diagnosis. Differential intensity value.

Correspondencia: Dr. J. Sanjuán Juaristi.
Gabriela Mistral, 8, 12 B. 28035 Madrid. España.
Correo electrónico: jsanjuanj@gmail.com

Recibido el 26-9-2007.

Aceptado para su publicación el 12-12-2007.

INTRODUCCIÓN

La pérdida de la proporcionalidad entre un sonido de determinada intensidad física y la sensación que produce se conoce como reclutamiento (*recruitment*). En la actuali-

dad, la determinación del valor diferencial de intensidad se viene realizando mediante pruebas subjetivas. Las pruebas supraliminares destinadas a detectar el reclutamiento buscan la desproporción entre la intensidad objetiva del estímulo (dB) y la intensidad subjetiva (sonoridad). Algunas de ellas son el test de Fowler, el test de Sisi, el test de Lüscher, el test de Reger y el test de Jerger. Otra batería útil es la formulada en 1952 por Metz, con la que encontró la aparición del reflejo estapedial próximo a 60 dB mientras que su nivel normal está entre 70 y 90 dB. Un estrechamiento del campo dinámico nos lleva admitir una magnitud menor del nivel diferencial de intensidad, o sea un dB subjetivo más reducido, equivalente a reclutamiento positivo. Si consideramos que una lesión coclear ha producido una hipoacusia por la cual los sonidos empiezan a molestar a intensidades menores que lo normal, hemos de admitir que el campo auditivo se ha estrechado.

El reclutamiento se observa en las pruebas de inteligibilidad que se curvan en "campana" como resultado de la saturación sensorial. El límite dinámico desciende. También aparecen, en las escasas lesiones retrococleares, probablemente por interacción patológica de las fibras eferentes con la cóclea. El frecuente descenso del umbral doloroso evidencia un estrechamiento de la dinámica auditiva. Con una magnitud de presión sonora < 0,8 dB, el paciente ya encuentra diferencias, lo cual equivale a reclutamiento o, si se prefiere, disminución del umbral diferencial de intensidad. En las lesiones endococleares, por ejemplo el traumatismo acústico, vemos que los microfónicos cocleares (MC) van adquiriendo una pronta curvatura según el grado de afección¹. El reclutamiento queda patente ante la gran cantidad de audífonos que se adaptan con control automático de volumen en las afecciones neurosensoriales.

El único propósito del presente estudio es describir por primera vez un método objetivo para el estudio del reclutamiento y obtener sus parámetros de forma precisa. Partimos de la hipótesis de que el factor de reclutamiento reside en el receptor sensorial. Las células ciliadas externas en situación normal copian bioeléctricamente con fidelidad las ondas de presión sonora, tanto en frecuencia como en amplitud. En neonatos presuntamente normales, con previa selección auditiva familiar sin antecedentes ni incidencias durante el parto, encontramos unos potenciales microfónicos que siguen fielmente los cambios de presión sonora del estímulo, es decir, con reclutamiento cero.

MATERIAL Y MÉTODO

Empleamos una instrumentación específica para el estudio de los MC. Conjunto MC/07 de Electrónica General Española. Esta instrumentación consta de las siguientes partes (fig. 1) descritas también en otras aportaciones²⁻⁶.

El generador de estímulo puede considerarse como un audiómetro convencional elemental que consta de dos mandos, uno para la selección de frecuencias (250, 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz) y otro para las intensidades entre 30 y 120 dB. La calibración sigue las normas UNE para audímetros. Dispone de un interruptor que da o corta el es-

tímulo al paciente. Además, esta unidad genera una señal *trigger* en concordancia de fase con cada onda del estímulo que se destina al tratamiento de la respuesta microfónica, para que pueda ser procesada por el ordenador haciendo promedios que limpian el resultado.

Línea de amplificación

Está proyectada para que rechace todas las señales perturbadoras de frecuencia distinta de la del estímulo. Al final de ella se encuentra el MC enmascarado por los artefactos de su misma frecuencia. El *software* los elimina por sincronía de la fase del microfónico marcado por el *trigger*. De este modo se obtiene la respuesta de las células ciliadas externas limpiamente, con precisión en frecuencia absoluta y con amplitud > 0,1 dB. Esta circunstancia nos ha permitido establecer el procedimiento que presentamos para determinar el nivel diferencial de intensidad en los pacientes.

Línea informática

El ordenador, después de limpiar los últimos artefactos de los MC, procesa los resultados y los aporta a la gráfica audiométrica de MC, y crea un perfil que coincide con el de la audiometría subjetiva. También obtiene los datos para la presentación del umbral diferencial de intensidad.

Método

Previamente a este estudio, efectuamos la comprobación del sistema mediante un simulador físico de potenciales microfónicos y nos aseguramos de la linealidad de la instrumentación. Realizamos para este trabajo el estudio en 20 ratas pigmentadas de la cepa Long-Evans, todas ellas igualmente estabuladas con las condiciones adecuadas para investigación, procedentes del animalario del Hospital Ramón y Cajal. El perfil audiométrico entre ellas no superó diferencias > 3 dB y el estudio del reclutamiento MC a 1.000 Hz prácticamente se superpuso en todos los casos.

El estímulo procedente del transductor se transmite mediante un tubo que termina en una oliva aplicable al conducto auditivo externo, que no puede ser modificado en sus características físicas, ya que alteraríamos el nivel de presión sonora que se aporta al paciente. La colocación de los electrodos en ambas mastoides y la frente sigue el procedimiento habitual para el registro de los potenciales auditivos evocados.

Preparado el paciente, realizamos un estudio del "ruido" existente sin dar estímulo, con el propósito de que el *software* lo considere como línea de cero. A continuación damos estímulo y observamos el resultado en el monitor. Se aplica más o menos intensidad hasta conseguir una respuesta segura. Se sigue el mismo procedimiento con todas las frecuencias para completar la gráfica. Para el estudio del reclutamiento, se hacen dos determinaciones por frecuencia separadas entre sí por 10 dB de intensidad. Se procede igual con el oído opuesto.

Fundamentos

Estudios previos⁷⁻⁹ confirman que el umbral de respuesta MC sigue por debajo y de forma paralela al de la audiometría subjetiva, es decir, existe una respuesta diferente

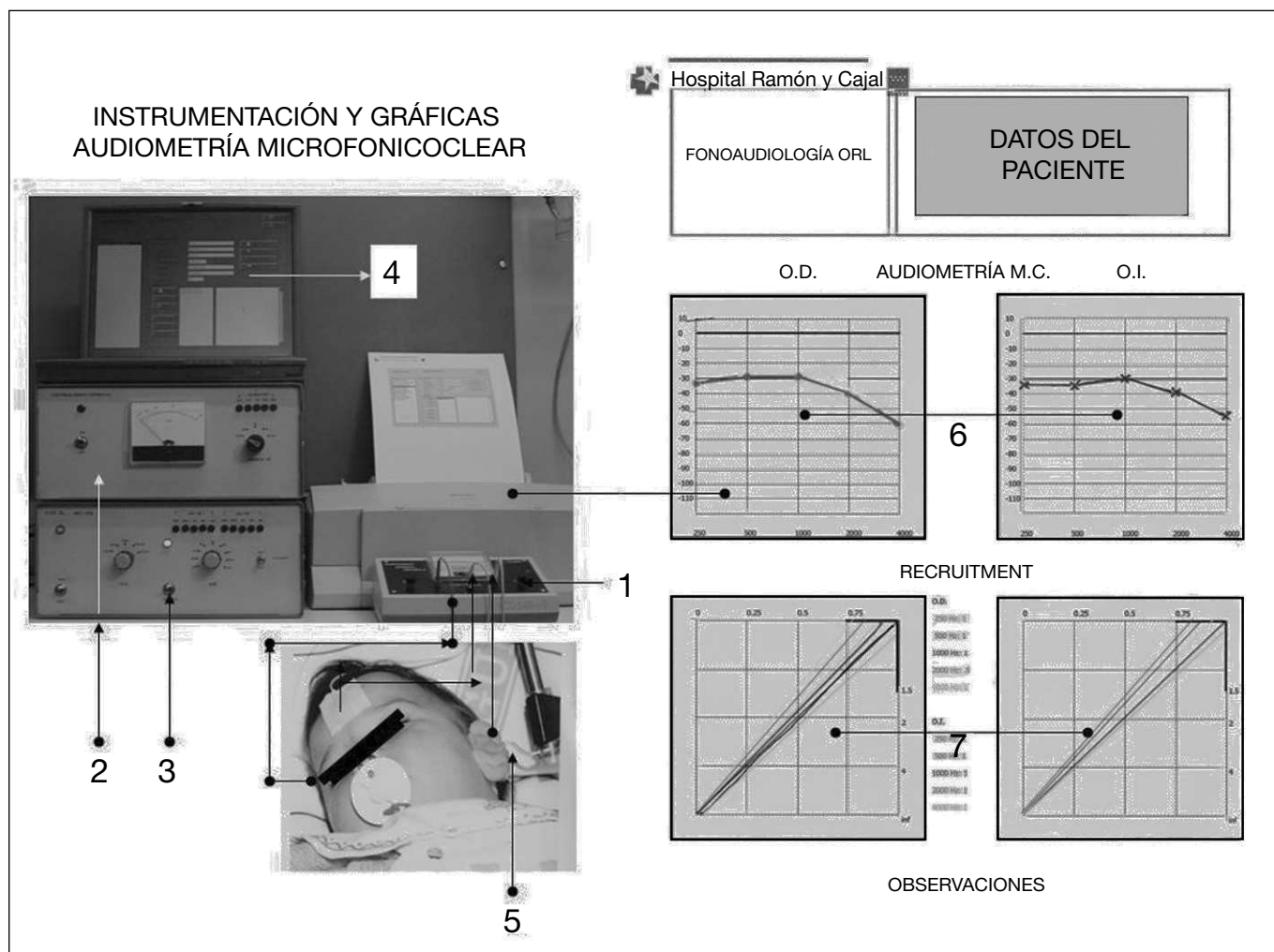


Figura 1. Amplificador diferencial que rechaza perturbaciones < 250 y > 4.000 Hz. A la derecha de la imagen se presenta la audiometría microfónica coclear. 2: amplificador provisto de filtros para las frecuencias que se estudia. 3: generador de estímulo y de *trigger*. 4: ordenador provisto de tarjeta promediadora y el *software* adecuado. 5: entrada del estímulo sonoro, en la actualidad mediante tubo y una oliva.

menor y constante entre ambas respuestas (*gap*). Conocido este diferencial, lo aplicamos restándolo de los resultados que se obtienen en el estudio de amplitud de los MC. Con ello obtenemos, en todas las frecuencias, un trazado que se superpone al de la audiometría convencional subjetiva y llamamos audiometría microfónica coclear (AMC). La aplicación de un *gap* de corrección es un procedimiento habitual. En los audiómetros se utiliza para representar en línea recta el audiograma actual, rectificando las curvas isofónicas, e igualmente se efectúa una corrección cuantitativa para superponer la vía ósea a la aérea.

Aplicamos los resultados al siguiente algoritmo y obtenemos el perfil de la AMC: $dB = (e - r) - gap$, en el que dB es el valor que se presenta como umbral en la gráfica AMC, e corresponde al estímulo aplicado y r es el valor de la respuesta obtenida, ambas en dB.

Al resultado le restamos el *gap* establecido como constante, actualmente 30 dB.

Es fundamental una consideración: el *software* sitúa el umbral audiométrico en idéntico punto independientemente de la intensidad que demos al paciente. Sólo es pre-

ciso buscar una respuesta MC segura. Aclaremos esta afortunada particularidad con el siguiente ejemplo:

– Damos a un hipotético paciente 60 dB de estímulo en 1.000 Hz y obtenemos un MC de 5 dB. Aplicando la fórmula descrita, tendremos: $60 - 5 - 30 = 25$ dB, valor de su umbral.

– Al mismo paciente le damos 70 dB, es decir, 10 dB más, y obtenemos 15 dB de respuesta MC, que representa también un incremento de 10 dB. Aplicando la fórmula tendremos $70 - 15 - 30 = 25$ dB, es decir, que su umbral no cambia al aumentar el estímulo.

Éste es el fundamento de esta aportación. Lo dicho sólo es cierto si el paciente tiene reclutamiento cero; cualquier desviación en la respuesta entre los dos estímulos suministrados indica una alteración de su nivel diferencial de intensidad: reclutamiento positivo o negativo.

En consecuencia, para encontrar el factor reclutamiento MC (RMC) se utiliza otro algoritmo en el cual hay que introducir dos determinaciones en cada frecuencia separadas 10 dB.

Algoritmo con el que se obtiene el reclutamiento y la AMC (fig. 1):

$$[(e_1 - r_1) + (e_2 - r_2)] / 2 - gap$$

e_1 y r_1 son los resultados de la primera determinación y e_2 y r_2 corresponden a un estímulo y una respuesta 10 dB superiores entre ambas pruebas efectuadas una a continuación de la otra.

En este trabajo presentamos los resultados de cinco colaboradores del servicio con audición normal y otros tantos pacientes con evidente reclutamiento subjetivo. No se pretende ninguna confirmación estadística; tan sólo nos lleva el propósito de mostrar los resultados tal como inicialmente se obtienen. Estudiamos el reclutamiento sólo en 1.000 Hz. La causa de esta restricción es que en dicha frecuencia las mediciones en dB son equivalentes a las de sonoridad en fones y, consecuentemente, no es preciso introducir ninguna corrección diferencial para cada frecuencia, lo cual puede ser necesario en el futuro si el estudio se realiza con absoluto rigor científico con otros valores más altos o más bajos en frecuencia. La gran variedad de los factores que intervienen en el poder diferencial de intensidad para cada frecuencia y cada nivel de presión sonora nos obliga a presentar en este trabajo sólo la metodología alcanzada, dejando para futuras aportaciones los estudios estadísticos y de aplicación.

RESULTADOS

Damos los datos de un paciente cuyos resultados corresponden a dos respuestas MC obtenidas a 1.000 Hz con estímulos a 90 y 100 dB respectivamente (fig. 2). El resultado diferencial entre ambas es de 7 dB, por lo que difieren en 3 dB respecto al estímulo añadido, que es de 10 dB. Vemos

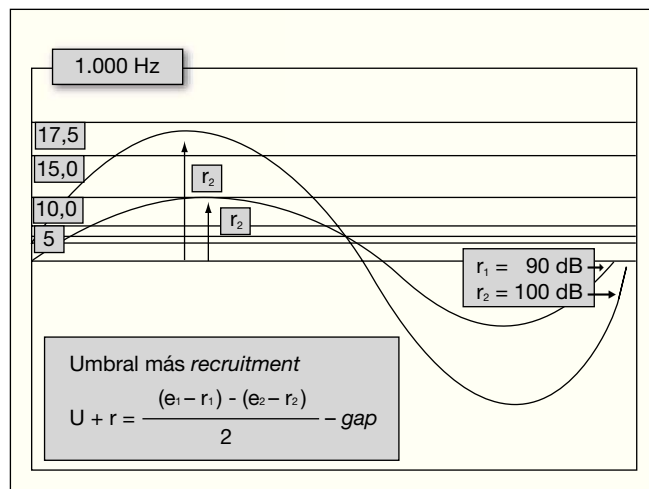


Figura 2. Dos respuestas microfónicas cocleares correspondientes a dos estímulos de 90 y 100 dB respectivamente. Difieren en 7 dB. Con este algoritmo se determina el reclutamiento y el trazado audiométrico.

que la respuesta se ha “comprimido”, con lo cual el valor del reclutamiento es $7/10 = 0,7$. Independientemente del ejemplo anterior, en la gráfica (fig. 1), debajo de la AMC, se representa el *recruitment* MC para todas las frecuencias sin tener en cuenta futuras correcciones. Se ha marcado en el ángulo superior derecho los márgenes de normalidad según Lüscher, es decir, entre 0,8 y 1,5 dB. Apuntamos para el futuro la posibilidad de extender el estudio con rigor a todas las frecuencias audiométricas, determinar su relación respecto a las curvas isofónicas y buscar aplicaciones clínicas.

Las curvas de la figura 3 corresponden al crecimiento lineal del MC en función de la presión sonora hasta su saturación. El estudio se ha realizado en cobayas que no presentan reflejo estapedial, ya que su cadena osicular consiste

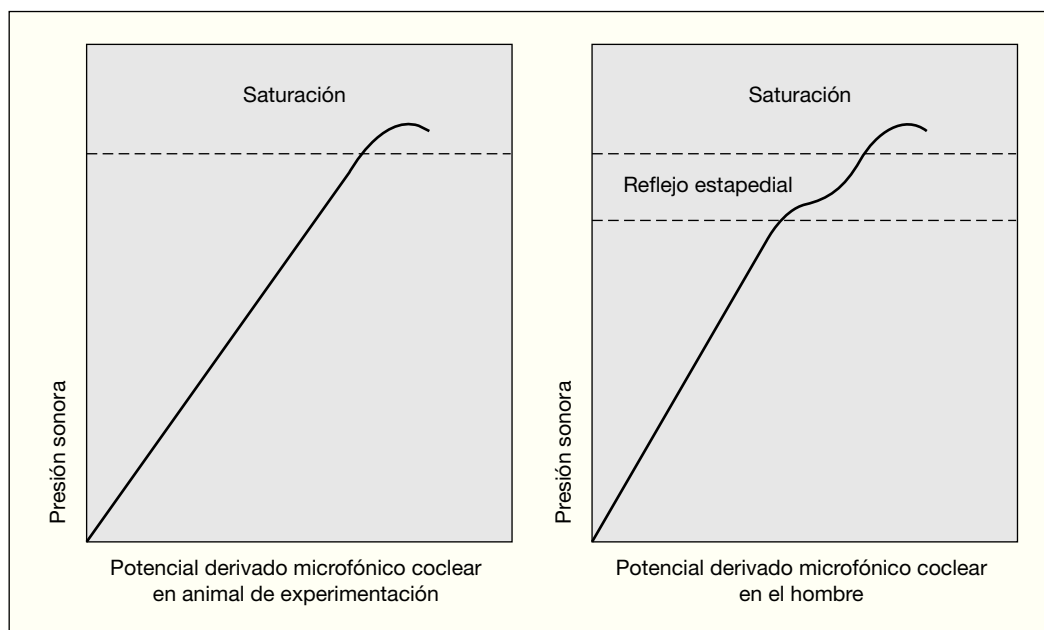


Figura 3. Comportamiento del crecimiento del potencial microfónico coclear en función del estímulo. En el humano se observa el reflejo estapedial, alteración que no se aprecia en las curvas isofónicas, y por último se llega a la saturación. En el cobaya la respuesta es lineal por las razones dadas en el texto.

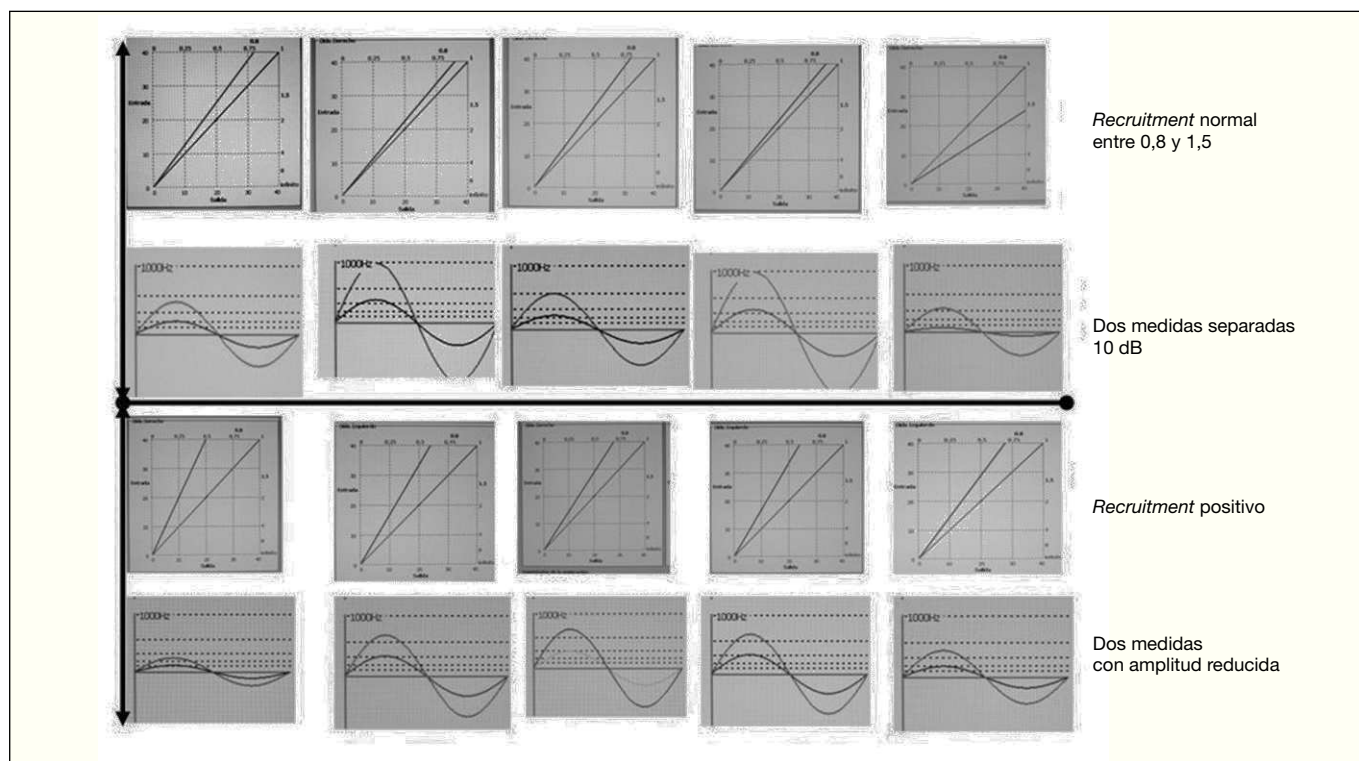


Figura 4. Muestra de presentación de cinco respuestas normales del microfónico coclear primario y la deducción correspondiente del factor reclutamiento. Cinco dentro de la normalidad y las otras cinco con *recruitment*.

tan sólo en una columela que parte del tímpano y termina en el estribo sin el músculo tensor. También comprobamos que en humanos el incremento es lineal hasta la aparición, muy imprecisa, del reflejo estapedial y después hasta la saturación. No siempre encontramos una razonable concordancia entre los datos del reclutamiento subjetivo y los que aporta este procedimiento objetivo.

En la figura 4 damos una muestra de otra forma de representación. Respuesta primaria MC y la deducción del factor *recruitment*. Las posibles diferencias, que dejamos para el estudio estadístico, las atribuimos en gran parte a la dificultad de respuesta subjetiva por parte del paciente y el audiometrista. Dado que en ocasiones resulta difícil que el paciente determine con seguridad su umbral auditivo separado 5 dB en los audímetros, imaginemos la dificultad para percibir décimas de decibelio en el estudio del *recruitment*.

DISCUSIÓN

Llama la atención la discrepancia que presenta nuestro trabajo respecto a las curvas isofónicas normalmente aceptadas. En ellas no se observa en la frecuencia de 1.000 Hz una alteración en su trazado, el cual se ajusta exactamente a incrementos iguales incluso para estímulos que ya corresponden a la aparición del reflejo estapedial. Esta circunstancia puede atribuirse a la variabilidad de la presión sonora necesaria para que se produzca la contracción del músculo del estribo, lo cual enmascara el resultado estadístico que llevó en su día a establecer las curvas isofónicas.

También a la conveniencia de tener una razonable frecuencia central de referencia.

La precisión del sistema para diferenciar décimas de decibelio es posible gracias a que el *software* analiza de forma lineal la respuesta MC, la cual proviene de un estímulo logarítmico. La escala logarítmica en decibelios nos lleva en 130 incrementos de 1 dB desde el umbral de sensación al nivel doloroso, lo cual supone un incremento lineal en micropascales de presión sonora entre 20 (umbral auditivo) y 100.000.000 μPa (correspondientes al umbral doloroso).

El estudio del reclutamiento precisa de especial cuidado. Se debe comprobar los resultados por repetición. Hemos pasado de la negación generalizada de la posibilidad de obtener potenciales microfónicos en el hombre por procedimientos incruentados a la determinación gráfica del perfil audiométrico umbral y la apreciación de décimas de decibelio para el estudio del reclutamiento.

Como toda nueva aportación técnica, requiere el desarrollo de trabajos que fijen su utilidad y sus limitaciones.

CONCLUSIONES

Aportamos el primer método objetivo para la determinación del reclutamiento.

La conjunción del trazado audiométrico (AMC) y el estudio del RMC proporciona datos valiosos para optar más acertadamente sobre la aplicación de un implante coclear o la adaptación de un audífono, y en ese caso ajustar sus características de paso de banda y control automático de volumen.

La discrepancia que ya apuntamos respecto a la falta de correspondencia en los niveles de las líneas isofónicas ante la aparición del reflejo estapedial nos lleva a considerar la imprecisión de los métodos subjetivos empleados en el trazado estadístico de éstas, y la aceptación actual de resultados poco precisos, aunque de innegable utilidad clínica y física. El método que proponemos ofrece precisión y un amplio espectro de nuevas posibilidades, que trataremos de analizar en el futuro y ponemos al alcance de otros investigadores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gavilán C, Sanjuan J. Potenciales cocleares y trauma acústico. *Electrónica y Física Aplicada*. 1968;41:101-6.
2. Sanjuán J. Estudio de la audición en prematuros. *Microfónicos cocleares evocados*. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 1998;41:525-31.
3. Sanjuán J. Audiometría convencional comparada con la audiometría microfónico coclear. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2007;58:143-50.
4. Carricondo F, Gil-Loyzaga P, Sanjuán-Juaristi J, Poch-Broto A. Cochlear microphonic potentials: a new recording technique. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2001;110:565-73.
5. Sanjuán J. Cochlear microphonic potentials in audiometry. *Otorhinolaryngol Head Neck Surg*. 1989;115:1107-14.
6. De los Santos G, Sanjuán J, Gavilán J. Potenciales microfónicos cocleares con electrodos de superficie en el diagnóstico de hipoacusias neurosensoriales. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 1999;50:359-65.
7. De los Santos G. Potenciales microfónicos cocleares: método incruento para su estudio en seres humanos [tesis doctoral]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Medicina; 1997.
8. Fontes Silva da Cunha Lima L. Potenciales microfónicos cocleares: patrones de normalidad en los recién nacidos [tesis doctoral]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Medicina; 1997.
9. Fontes Silva L. Exploración tono tónica objetiva de la audición a través de los potenciales microfónicos cocleares en sujetos normo oyentes [tesis doctoral]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Medicina; 1999.