

Audiometría convencional comparada con la audiometría microfonicococlear

Julio Sanjuán Juaristi

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

Objetivo: Actualmente el estudio de la audición mediante el registro y el procesamiento de los potenciales microfónicos cocleares está en fase de validación definitiva respecto a los resultados que se obtienen mediante otros procedimientos objetivos. El propósito de esta aportación es contribuir a esa validación.

Material y método: Se ha empleado equipo destinado exclusivamente al registro de los microfónicos cocleares realizando el estudio en adultos para poder comparar los resultados audiométricos subjetivos con los obtenidos mediante microfónicos cocleares.

Resultados: Presentamos una concordancia estadística entre la audiometría subjetiva y la audiometría microfonicococlear.

Conclusiones: Dada la equidad de resultados, el procedimiento resulta válido muy especialmente en el diagnóstico precoz, en el que se consigue un perfil idéntico al del audiograma subjetivo en las frecuencias audiométricas 250, 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz.

Palabras clave: Potenciales microfónicos cocleares. Audiometría objetiva. Audiometría microfonicococlear. Potenciales microfónicos en audiometría.

Conventional Audiometry Versus Cochlear Microphone Audiometry

Objective: The recording and processing of cochlear microphone potentials in hearing studies is currently in the definitive validation phase against results obtained with other objective procedures. The purpose of this work is to contribute to its validation.

Material and method: The equipment used was exclusively designed for recording cochlear microphone potentials. The study has been carried out in adults to compare subjective audiometric results with those obtained from cochlear microphones.

Results: We present a statistical concordance study between subjective audiometry and cochlear microphone audiometry.

Conclusions: In view of the results obtained, this method is particularly valid for early diagnosis. We obtained an identical profile to the subjective audiogram at audiometric frequencies of 250, 500, 1000, 2000, and 4000 Hz.

Key words: Cochlear microphonic potentials. Objective audiometry. Cochlear microphonic audiometry. Microphone potentials in audiometry.

INTRODUCCIÓN

Desde el hallazgo por Wever et al^{1,2} de los potenciales microfónicos cocleares en el gato, procedentes de las células ciliadas externas y provocados por el estímulo sonoro, son numerosos los trabajos realizados por diversos autores. En 1935 Formm et al³ consiguieron potenciales microfónicos cocleares colocando un electrodo a través de la membrana timpánica. Lempert se refiere a esta técnica como cocleogramas. En 1950 esos mismos autores concluyeron que los microfónicos cocleares tienen poca utilidad en la práctica a causa de las dificultades técnicas del proce-

dimiento. En 1964 se obtuvo microfónicos cocleares en animales de experimentación y con gran dificultad en el hombre durante un acto quirúrgico, a causa de lo inadecuado de los amplificadores y la falta de promediado. Ronis⁴ en 1966 comenzó a utilizar un promediador y empleó como estímulo clics y tonos puros, durante las estapedectomías. No dispuso de amplificadores adecuados ni trabajó en tiempo real. En 1967 Portmann et al⁵ recogieron microfónicos cocleares utilizando clics de 1 ms. Consideramos inútil ampliar la lista de los investigadores atraídos por la insólita respuesta del receptor sensorial, que copia fielmente tanto en amplitud como en forma la onda de presión sonora. Despierta interés en investigación para ampliar los conocimientos sobre fisiología auditiva y por su posible aplicación a la clínica humana.

Los intentos para obtener microfónicos cocleares en el hombre por medios incruentos fracasan. Ante estos resultados, se generalizó el convencimiento, que aún en gran medida perdura, de que la obtención de la respuesta mi-

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

Recibido el 4-10-2006.

Aceptado para su publicación el 28-2-2007.

crofónica coclear en el hombre mediante procedimientos incruentos resulta imposible, dada la ínfima magnitud del potencial derivado.

En la actualidad se manejan diversas técnicas para el estudio electrobiológico de la audición y su aplicación clínica. Citaremos entre las más relevantes el registro de las otoemisiones, los potenciales auditivos provocados a distintos niveles del aparato auditivo y los potenciales de estado estable. Ninguna de estas técnicas incruentas, ni otras menos usuales, registra exclusiva y directamente la respuesta de las células ciliadas externas, ni lo hacen utilizando tonos puros en tiempo real como estímulo. Tanto las otoemisiones como los PEATC emplean clics acústicos, lo cual plantea serias dudas sobre la respuesta provocada, dada la impredecible distorsión que experimenta esta forma de presión sonora transitoria, que se inicia en el transductor y se va incrementando aleatoriamente por todo el aparato de transmisión auditiva⁶. Los potenciales de estado estable emplean tonos puros modulados en amplitud, y el registro se hace a nivel de tronco cerebral. Es la técnica que más se aproxima al logro de un perfil audiométrico del paciente⁷.

Sin embargo, mediante esta técnica no se puede estudiar la frecuencia 250 Hz ni los resultados se ajustan críticamente al umbral auditivo.

Nuestra experiencia, con una evolución de 48 años, nos llevó en 1986 a la obtención del primer microfónico coclear en el humano, con sólo electrodos de contacto exterior. Iniciamos la aplicación clínica de los microfónicos cocleares en 1988, y presentamos los resultados de forma primaria, que no aportaban un claro significado para la mayoría de los especialistas⁸⁻¹¹. Por esta razón, desde 2002 a 2005 diseñamos un equipo que nos ha permitido estudiar los potenciales microfónicos derivados y presentarlos en forma de audiograma clínico normalizado, de sencilla interpretación.

El objeto de esta aportación es dar a conocer, en primer lugar, la extraordinaria equivalencia de la audiometría microfonococlear (AMC) respecto a la audiometría subjetiva (AS) y su nueva presentación. Realizamos este estudio de validación en adultos, ya que en niños no es posible comparar los resultados de la AMC con los de la AS, imposibles de obtener por su falta de colaboración subjetiva.

MATERIAL Y MÉTODO

Para la AMC hemos utilizado un nuevo equipo, MC/06, que ha sido materializado por Electrónica General Española y Tecnología y Diseño. Básicamente sigue la línea de los anteriores, con importantes mejoras en el diseño y el material.

La calibración de las 5 frecuencias audiométricas, para equipararlas a las del audiómetro clínico empleado en el hospital, se efectúa por reciprocidad mediante un amplificador de medida de Bruel Kjaer y una cavidad de 2 ml, con acoplamiento para el auricular del audiómetro y para la oliva del estimulador microfonococlear.

El desarrollo del programa informático lo han llevado a cabo 3 profesionales de la Universidad Complutense de

Madrid: J.L. Gómez Blázquez, J. Cleva Millor y L.M. Suárez Roberts, bajo la supervisión del Prof. J. Manuel de la Cruz. Han utilizado el lenguaje de programación Visual C++. El proyecto ha llevado año y medio de ejecución, en estrecha colaboración entre el desarrollo informático y las necesidades clínicas.

En la figura 1 presentamos la nueva instrumentación y el resultado final en gráfica AMC similar a la utilizada en audiometría convencional subjetiva.

En la elaboración de esta técnica y el equipo se ha considerado 3 características bien conocidas de los potenciales microfónicos cocleares (PMC).

1. La respuesta del PMC es directamente proporcional a la magnitud de la presión sonora del estímulo, hasta su punto de saturación (unos 120 dB). Esta linealidad se pierde, a causa del reflejo estapedial, a unos 90 dB para tonos puros.
2. La respuesta del PMC copia la morfología de la onda sonora del estímulo con gran fidelidad.
3. Las células ciliadas externas responden muy especialmente a su "mejor frecuencia" manteniendo un ordenado tonotopismo a lo largo de la membrana basilar. Estudios previos¹²⁻¹⁴ han demostrado que el umbral de los PMC presenta un intervalo diferencial (*gap*) estadísticamente constante respecto a la presión sonora necesaria para alcanzar el umbral en audiometría subjetiva. Estos estudios establecen el paralelismo entre el perfil audiométrico convencional y el de la AMC con un *gap* estimado en adultos de 40 dB y en niños de 30 dB. La revisión de este *gap*, realizada en adultos, para este trabajo es de 30 dB debido a las mejoras introducidas en el equipo.

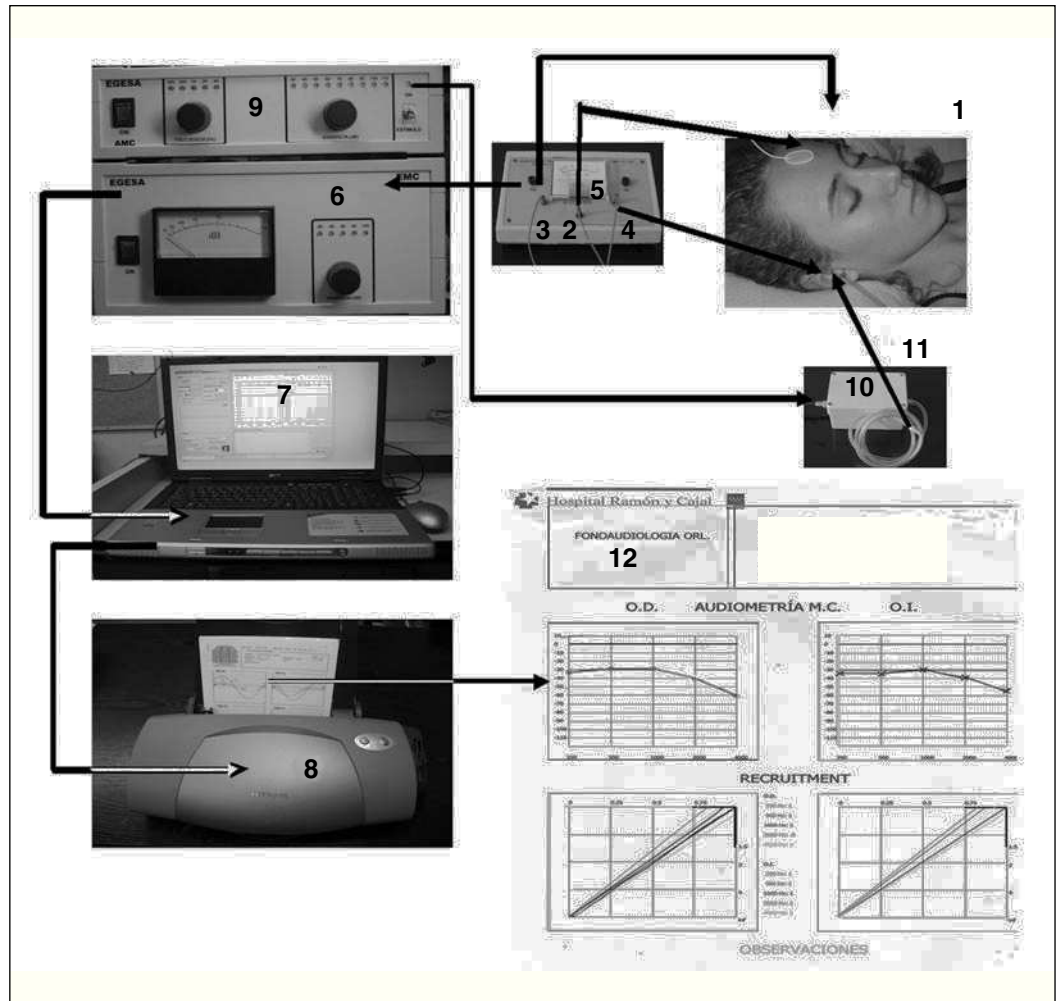
La consideración de un *gap* para la equiparación de la AMC con la AS convencional es un procedimiento técnico habitual. Se introduce un *gap* para cada frecuencia en AS para compensar las curvas de percepción auditiva (Munson y Flecher y posteriormente Robison y Dadson) y así se pasa de la primera expresión audiométrica al audiograma actual. También para superponer la vía ósea a la aérea, facilitando con esta superposición convencional su interpretación clínica. Estas correcciones las efectúan los audiómetros en su calibración interna. En la instrumentación microfonococlear se actúa igualmente introduciendo el *gap* constante, que equipara los resultados de la AMC a los de la AS.

Para el estudio de la AMC y otros parámetros, tenemos dos variantes informáticas. En este trabajo se ha utilizado la más sencilla, que sólo requiere el empleo de un valor de intensidad por frecuencia:

$$dB = e - r - g$$

donde dB es el valor del umbral que aparecerá en la gráfica AMC; *e* es la potencia del estímulo empleado; *r* es la amplitud del PMC derivado, expresado en dB, y *g* es el valor del *gap*, también en dB y definido previamente como constante.

Figura 1. 1: paciente.
2-4: electrodos de contacto mastoides, mastoides frente.
5: amplificador diferencial, con paso de banda entre 200 y 4.500 Hz. 6: amplificador con filtros de paso de banda sintonizados a la frecuencia del estímulo. 7: ordenador con tarjeta promediadora y el programa descrito. 8: impresora. 9: estimulador que genera los tonos puros y la señal *trigger*. 10: transductor blindado. 11: tubo de acoplamiento del estímulo sonoro al canal auditivo externo. 12: presentación de los resultados de audiometría microfonicoclear y *recruitment*; este último no se estudia en este trabajo.



Otros algoritmos más complejos permiten al sistema determinar el factor *recruitment*, la latencia del PMC y otros posibles parámetros que no corresponden al propósito de esta aportación.

Una particularidad del método es que nunca persigue la obtención del umbral microfonicoclear. El empeño para determinar el umbral bioeléctrico de un estímulo acústico que se acerque al umbral audiométrico subjetivo es una quimera inalcanzable, pues el nivel de presión sonora reduce la relación con el ruido y hace imposible el registro del potencial que buscamos.

En AMC aplicamos un estímulo suficiente para que la respuesta sea evidente. Esta respuesta tiene el valor r en la fórmula empleada. Si restamos esta magnitud a la del estímulo empleado, es evidente que la respuesta microfonicoclear se situaría en 0, es decir, en el umbral. El estímulo suficiente es el que da un valor microfonicoclear máximo seguro entre 4 y 10 dB (estos valores se presentan en el monitor en tiempo real y el *software* lo aplica automáticamente). Se puede utilizar valores de estímulo superiores para obtener una respuesta microfonicoclear aún más clara; el sistema va a tener en cuenta el incremento del estímulo y aplicando la fórmula determina el umbral en el mismo punto. Sin embargo, la experiencia nos dice que la

respuesta microfonicoclear se ajusta más a la de la AS sin dar un estímulo demasiado elevado.

Protocolo de selección

El estudio se ha llevado a cabo con 20 pacientes, 10 varones y 10 mujeres, a los que previamente se había indicado en el servicio de otorrinolaringología una audiometría clínica destinada a su diagnóstico. Fueron informados sobre la audiometría microfónica coclear, y en todos los casos contamos con su aquiescencia. Los 20 pacientes seleccionados tienen una edad comprendida entre 20 y 40 años.

Las respuestas fueron muy fiables durante la realización minuciosa de la AS.

En la selección buscamos a 5 varones y 5 mujeres con hipoacusias de transmisión y los otros 5 y 5 con hipoacusias de percepción. El diagnóstico fue establecido por el estudio clínico, contando especialmente con la relación audiométrica entre vía aérea y vía ósea. En el concepto de transmisión englobamos cualquier afección del oído medio con cóclea íntegra. En las afecciones de percepción la vía ósea se superponía prácticamente a la vía aérea.

El mismo día se efectuaron ambas pruebas, AS y AMC. La AMC se llevó a cabo sin sedación, sólo con la recomendación de reposo en camilla y discreta penumbra.

Se utilizó una cámara audiométrica Controlled Acoustical Environments IAC, con excelente insonorización, anecoica y faradizada, con toma de tierra especial e independiente.

Procedimiento

Se coloca al paciente 3 electrodos, de idéntica forma que para la obtención de los PEATC. Se realiza una limpieza meticulosa, empleando previamente un leve abrasivo. Utilizamos una pasta electrolítica de confección propia, basada esencialmente en alcohol láurico y cloruro sódico a saturación, descrita en estudios sobre la resistencia eléctrica de la piel¹⁵. La impedancia entre electrodos no debe de superar los 7.000 Ω .

Se emplean como estímulo las frecuencias audiométricas de 250, 500, 1.000, 2.000 y 4.000 Hz aplicadas de forma continua. En tiempo real se va recogiendo y procesando el PMC evocado. No hay interacción entre el estímulo y la respuesta, ya que el primero es de naturaleza mecánica y la respuesta es un potencial eléctrico.

Las determinaciones se realizan rápidamente, porque el *software* del equipo analiza los datos de entrada, entre los que se encuentra el PMC, que se va depurando por promediado, y en cuanto encuentra 3 valores de amplitud constante coincidentes en fase con el tren de señales marcadas por el *trigger* generado en el estimulador, traza una onda sinusoidal pasando por dichos puntos, que equivale al PMC totalmente depurado, gracias a la aplicación del desarrollo de Taylor.

Sin contar con el tiempo de preparación del paciente, el registro de los PMC llevó en este trabajo un tiempo medio de 20 min.

RESULTADOS

Los resultados mejoran experiencias anteriores, incluidos los obtenidos en las tesis doctorales citadas. Pensamos que los datos menos concordantes pueden deberse en AS a la apreciación subjetiva incorrecta, la colocación deficiente de los auriculares y la apreciación del audiometrista por debajo o por encima del nivel correcto.

No citamos diferencias de calibración de estímulo, ya que previamente se ha establecido su equidad.

La alteración ocasional de la impedancia en los electrodos, el cambio de posición o parcial obstrucción del tubo de estímulo, la fuerte aparición puntual de un nivel de ruido externo o propio del paciente y otras causas que alteran los resultados suelen ser fácilmente detectables. Una vez corregidas, se repite la frecuencia para que el resultado sea coherente. Igualmente se repite una frecuencia en AS cuando la respuesta es dudosa.

No se incluyen resultados estadísticos de comparación de medias mediante la prueba de la *t* de Student, puesto que no informa de la concordancia entre dos procedimientos de medida.

Presentamos los resultados en las figuras 2-4, en las que se calcula la media aritmética. También se expresa gráficamente la diferencia media encontrada entre AS y AMC.

Téngase presente al observar estas últimas el valor en ordenadas de la escala en dB. En las medidas de percepción es de unos 40 dB, necesaria para expresar la diferencia cuantitativa de esta afección entre 250 y 4.000 Hz. Por esta razón las curvas aparentemente se superponen. En las de transmisión, la amplitud de las gráficas es sólo de 3 dB, porque la media de esta afección es casi horizontal, con lo cual las pequeñas diferencias < 0,5 dB se acusan claramente.

Como estos datos no muestran las desviaciones puntuales de algunos casos, incluimos una presentación gráfica utilizando el método de Bland et al¹⁶ (fig. 5). De este modo se aporta la representación de la media de las 2 mediciones en abscisas, frente a la diferencia entre ambas en ordenadas. Se observa una gran concordancia entre ambos métodos (AS y AMC) en todos los casos.

DISCUSIÓN

Hemos querido corroborar los resultados de la AMC con mejor tecnología que en estudios anteriores, considerando 2 afecciones y ambos sexos. El estudio así subdividido en 20 casos, 40 oídos, lo estimamos suficiente, dada la baja dispersión de los resultados.

Tengamos presente que en las respuestas en AS el paciente ha de decidir su umbral entre 2 niveles separados por 5 dB, lo cual representa un factor añadido de error subjetivo, mientras que en AMC el sistema aprecia diferencias de décimas de decibelio.

Las aplicaciones resultan evidentes una vez demostrada la igualdad entre la AMC y la AS. Además, una importante diferencia respecto a trabajos anteriores es la presentación de los resultados en forma de audiograma convencional. No es ésta una cuestión de menor trascendencia, ya que pone al alcance de todos los especialistas su sencilla interpretación.

El estudio mediante AMC se limita a todos los trastornos de transmisión y a las cocleares que afecten a la función de las células ciliadas externas.

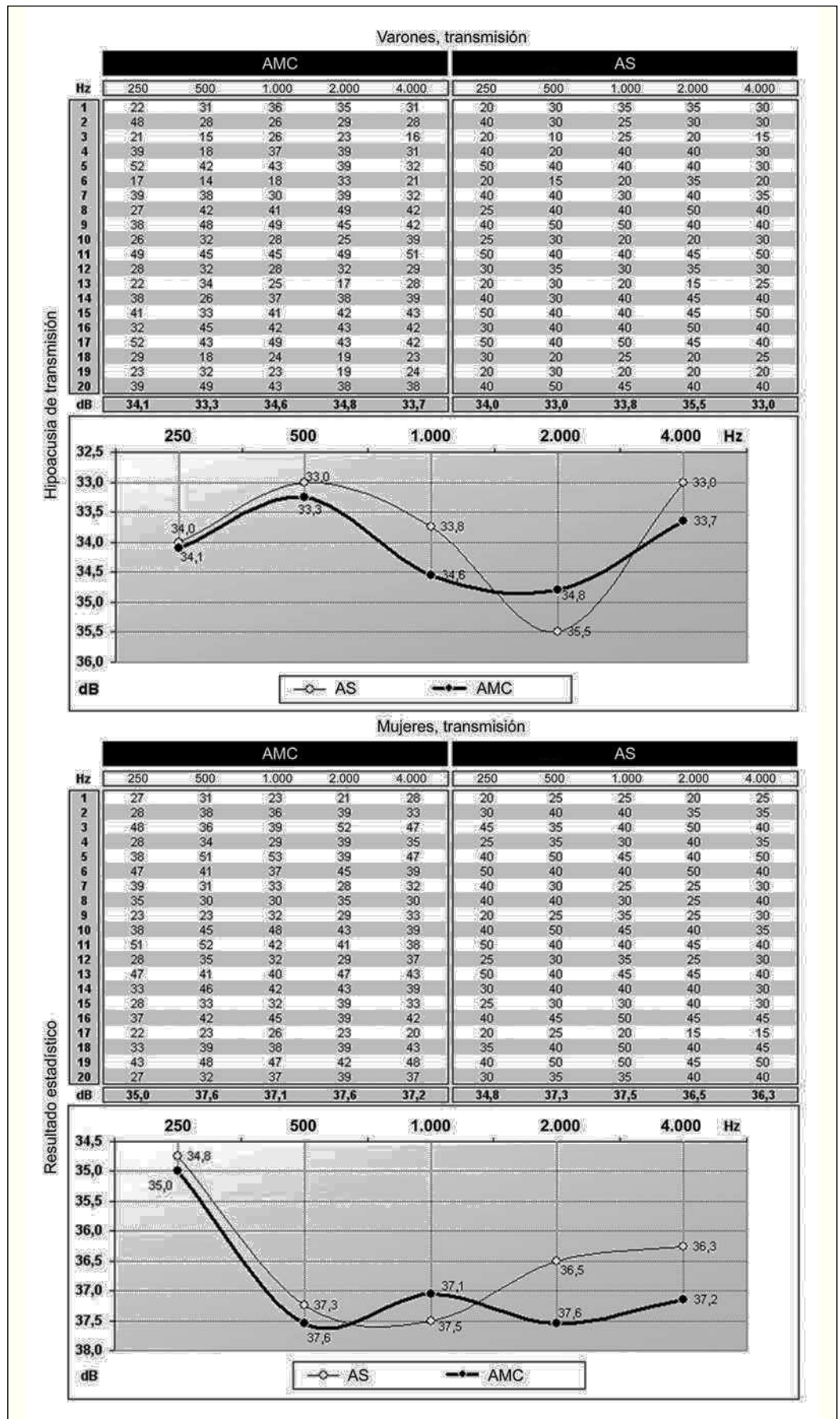
El comportamiento de la respuesta microfonococlear que se superpone a la AS nos demuestra que el perfil audiométrico lo marcan básicamente los receptores auditivos (salvo en los casos de lesión supracoclear).

Los procesos supracocleares, que dejamos para otras aportaciones, nos pueden dar una respuesta microfónica normal o superior a la de una AS disminuida o anulada con unos potenciales de tronco o de córtex patológicos.

La perspectiva de futuro la estimamos de gran interés, especialmente en pacientes en los que no pueda realizarse una AS. El perfil audiométrico que se obtiene es completo y fiable. Hemos pasado de la etapa en la que se consideraba internacionalmente imposible la detección incruenta de los PMC a la de su utilización clínica precisa.

Hemos apuntado la posibilidad de estudiar el factor *recruitment*, y tenemos pendientes trabajos sobre diagnóstico precoz, latencia de los PMC, análisis del ancho de banda crítico, enmascaramiento y fatiga auditiva.

Creemos que la AMC aporta al futuro audiométrico un sistema para investigación pura y aplicada.



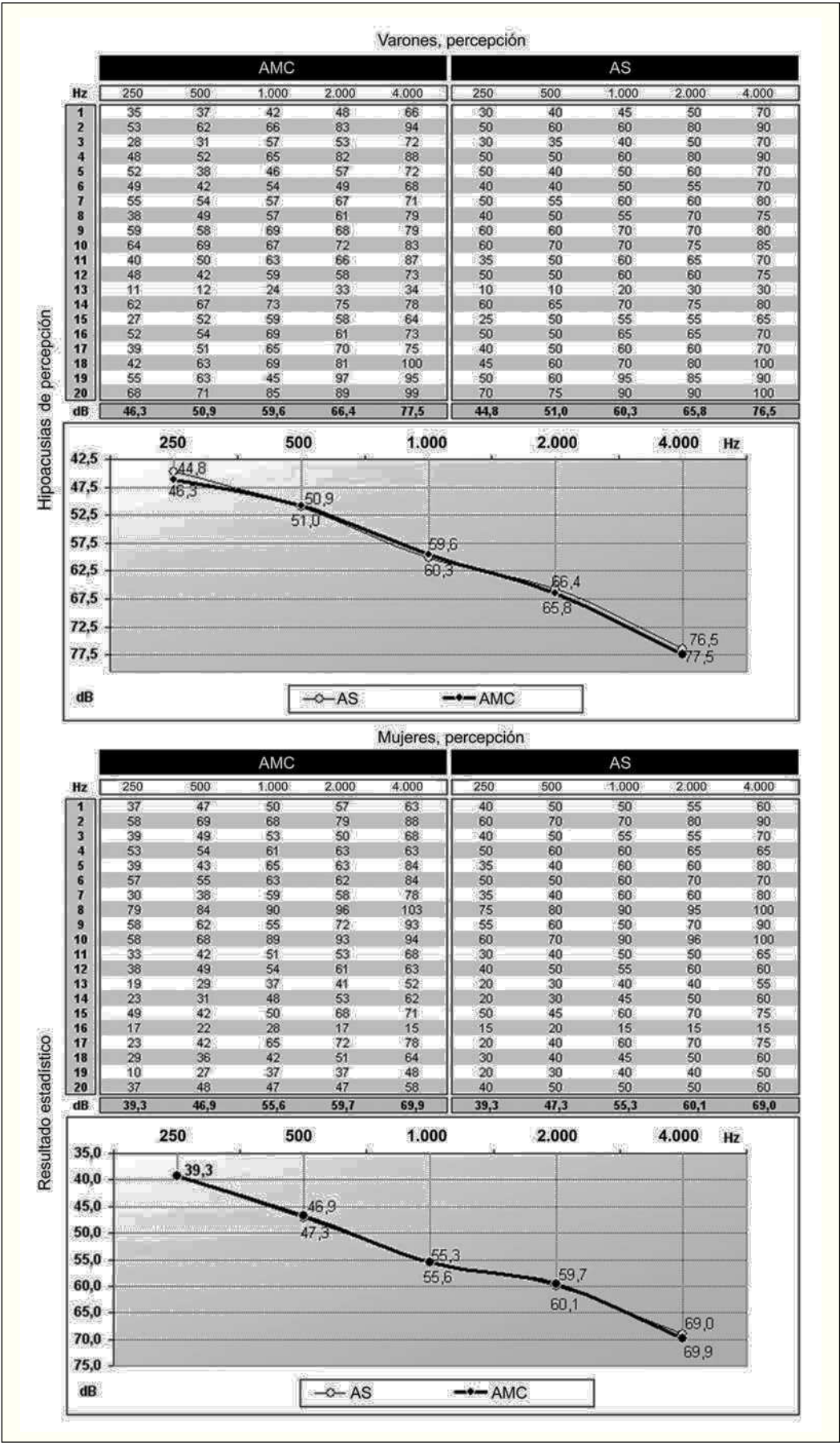


Figura 3. Media aritmética de los resultados entre audiometría microfonococlear (AMC) y audiometría subjetiva (AS) en los trastornos de percepción, tanto en varones como en mujeres, y representación gráfica de las diferencias.

Figura 4. Media aritmética de todos los resultados y su representación gráfica. Al aumentar la casuística se reduce la diferencia media y prácticamente se superponen la audiometría microfonococlear (AMC) y audiometría subjetiva (AS).

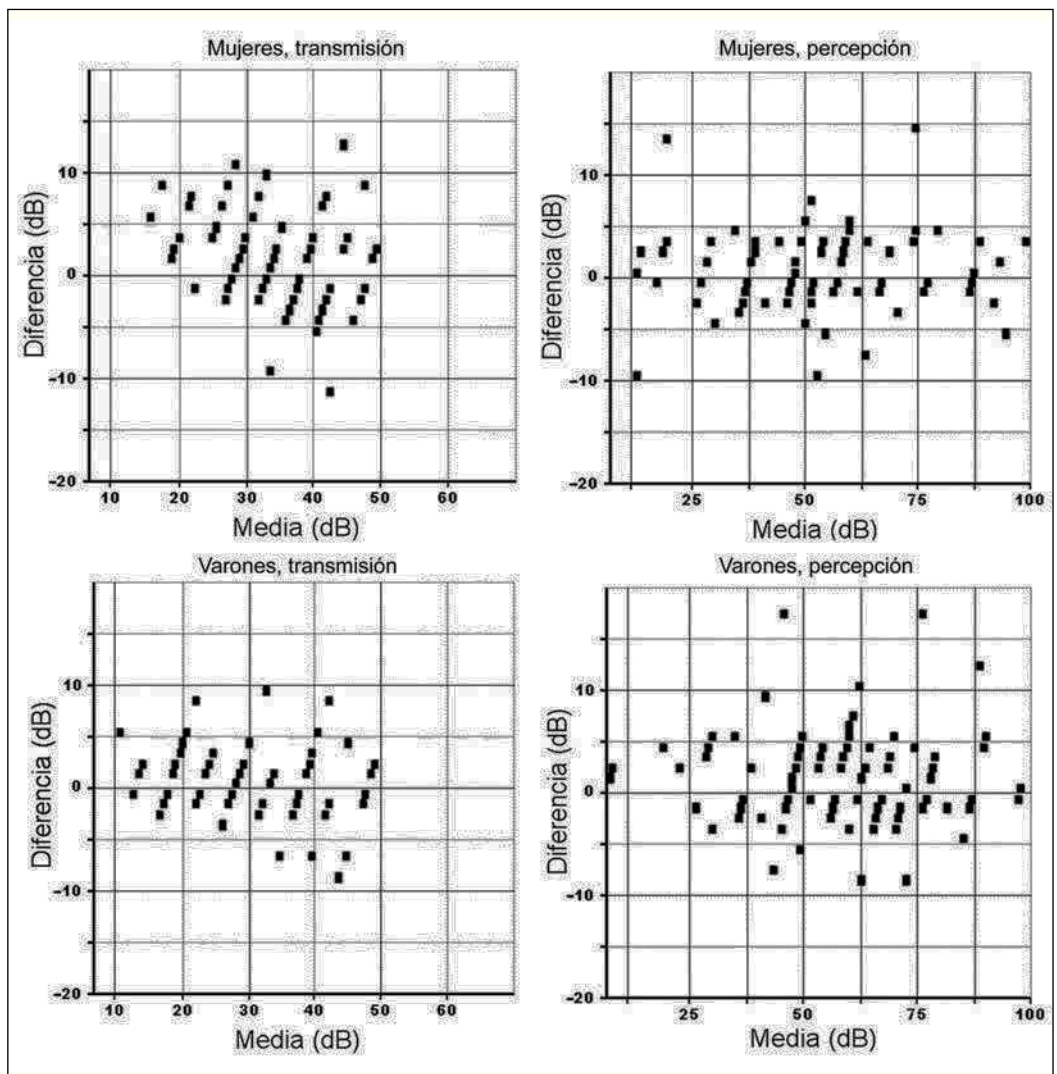
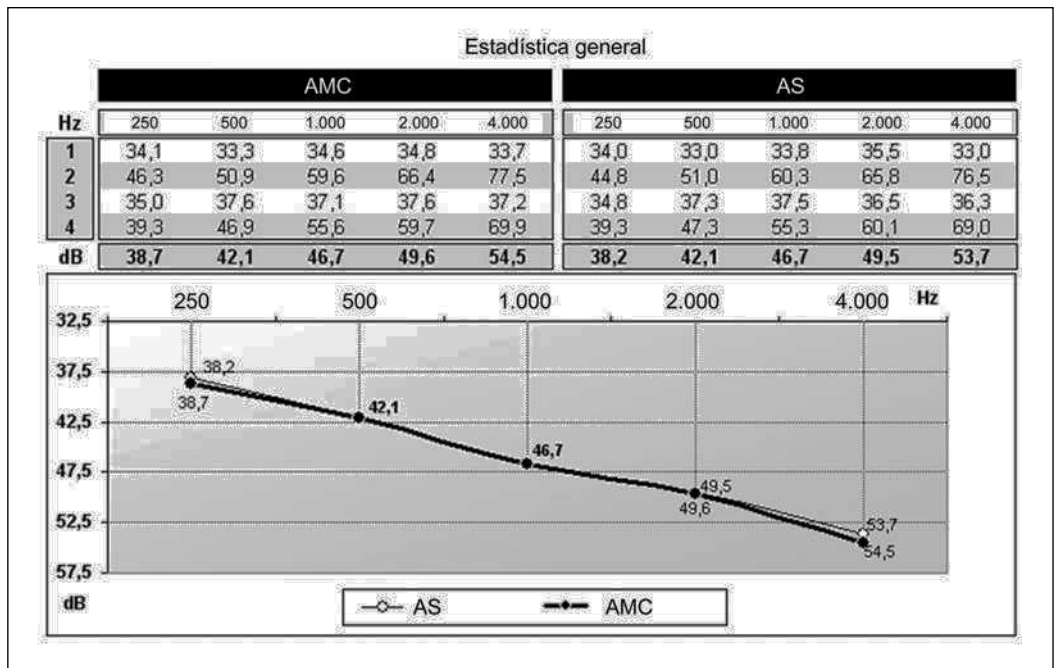


Figura 5. Resultados estadísticos según la técnica de Bland et al. Se comprueba que la mayor concentración de resultados queda dentro de ± 5 dB. En las medidas de percepción, hay más dispersión que en las de transmisión.

Agradecimientos

Mi agradecimiento a cuantos vienen ayudándome con su colaboración, en especial al Sr. Maroto, Director de Tecnología y Diseño, que sigue aportando su entusiasmo y sus conocimientos a este proyecto. A la Universidad Complutense de Madrid y a los profesionales en informática citados. De igual modo, a la Unidad de Estadística Clínica del Hospital Ramón y Cajal en la persona de Javier Zamora Romero.

BIBLIOGRAFÍA

1. Wever EG, Bray CW. Action currents in the auditory nerve in response to a acoustical stimulation. *Proc Nat Acad Sci U S A*. 1930;16:354-50.
2. Wever EG, Bray CW. The nature of acoustic response; the relation between sound frequency and frequency of impulses in the auditory nerve. *J Exp Physiol*. 1930;13:373-80.
3. Formm B, Cozotto N. Studies in the mechanism of the Wever and Bray effect. *Acta Otolaryngol (Stockh)*. 1935;21:477-86.
4. Ronis JBJ. Cochlear potentials in otosclerosis. *Laryngoscope*. 1966;73:212-31.
5. Pormann M, Le Beert G, Aren JM. Potentials cochleaires obtenus chez l'homme en dehors de toute intervention chirurgicale. Note preliminaire. *Rev Laringol Otol Rhinol (Bord)*. 1967;88:157-64.
6. Carricondo F, Gil-Loyzaga P, Sanjuán-Juaristi J, Poch-Broto J. Cochlear microphonic potentials: A new recording technique. *Ann Otol Rhinol Laryngol*. 2001;110:565-73.
7. Martínez-Benito P, Morant Ventura A, Pi MI, et al. Potenciales evocados auditivos de estado estable a multifrecuencia como técnica de determinación de umbrales auditivos. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2002;53:707-17.
8. Sanjuán J. Estudio de la audición en prematuros. Microfónicos cocleares evocados. *Acta Otorinolaryngol Esp*. 1998;49:525-31.
9. De los Santos G, Sanjuán J, Gavilán C. Nuevo método de registro de potenciales microfónicos cocleares en seres humanos. *Acta Otorinolaringol Esp*. 1998;49:341-5.
10. De los Santos G, Sanjuán J, Gavilán J. Potenciales microfónicos cocleares con electrodos de superficie en el diagnóstico de hipoacusias neurosensoriales. *Acta Otorinolaringol Esp*. 1999;50:359-65.
11. Sanjuán J. Nueva técnica de diagnóstico precoz de la sordera: microfónicos cocleares evocados. Encuentros Ramón y Cajal (Asociación de Amistad Hispano Francesa). 1989. p. 94-9.
12. 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.
13. 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.
14. Fontes Silva L. Exploración tonotópica objetiva de la audición a través de los potenciales microfónicos cocleares en sujetos normooyentes [tesis doctoral]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Medicina; 2000.
15. Gavilán C, Sanjuán J. Acerca de la resistencia eléctrica de la piel humana. *Acta Otorinolaringol Iber Am*. 1962;13:26-53.
16. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 1986;(8476):307-10.