

DETERMINACION TONOTOPICA DEL ENMASCARAMIENTO

Julio Sanjuán Juaristi.

Mar Sanjuán Martínez-Conde.

RESUMEN

Introducción y objetivo

Las características funcionales de la cóclea mediante el estudio de los potenciales microfónicos cocleares, viene aportando importantes resultados.

En este trabajo pretendemos exponer las experiencias realizadas sobre el proceso de enmascaramiento.

Material y método

Con la instrumentación actual, registramos de forma incruenta la respuesta microfónica a un tono puro, que llamamos de referencia, y a continuación le superponemos otros estímulos sonoros, para comprobar su influencia sobre el primero.

Resultados.

El tono puro tomado como referencia, no se altera ante la presencia de otros estímulos simultáneos.

Conclusiones

Este comportamiento no se ajusta a los criterios funcionales actuales.

Ante la presencia de un fuerte estímulo superpuesto al de referencia, este debería de alterarse por efecto de enmascaramiento.

Palabras clave:

Microfónicos cocleares. Enmascaramiento. Ancho de banda crítico,
Curvas de sintonización.

Abreviaturas:

MC: microfónico coclear.

TR: tono de referencia.

Introducción.

Interesados en el estudio de los microfónicos cocleares, (MC) venimos desarrollando la instrumentación adecuada a las especiales características de estos potenciales.

El material y métodos utilizados han posibilitado nuevas aportaciones, tales como el "Estudio de la audición en prematuros" (1). "Potenciales microfónicos en audiometría" (2). "Recruitment y microfónicos cocleares" (3). Mas dos últimos artículos, aprobados para su publicación: "Latencia de los microfónicos cocleares y "Fatiga auditiva".

El trabajo actual se ha desarrollado en distintas instituciones.

Comenzamos en el Centro de Investigaciones Audiológicas, Universidad Complutense. Prof. Pablo Loyzaga. Ante su lamentable pérdida, continuamos en el Hospital Ramón y Cajal, Servicio de Investigación Neurofisiológica Prof. José María Gaztelu.

En consecuencia el desarrollo y resultado de este trabajo, ha contado con diversas sugerencias y aportaciones.

Los estudios sobre enmascaramiento se relacionan en sicoacustica con las bandas críticas (4). Una banda crítica es un espectro sonoro, que puede enmascarar a un tono puro de la misma intensidad centrado en dicha banda

El concepto inicial fue desarrollado por Feche. La concepción actual corresponde a Zwicker y colaboradores (5, 6).

Los estudios sobre bandas críticas y enmascaramiento se realizan mediante la apreciación estadística de sensaciones.

Ante la dependencia subjetiva de los procedimientos, hemos querido comprobar objetivamente, el efecto de enmascaramiento en los receptores sensoriales auditivos, sobre los cuales presuntamente recae este proceso.

El empleo de enmascaramiento en estudios audiométricos, presupone que la cóclea puede ser “bloqueada” por determinados sonidos, impidiendo así que el oído enmascarado interfiera en la exploración contralateral.

Se vienen empleando las más diversas técnicas, con el propósito de optimizar el “bloqueo coclear” de un oído, influyendo lo menos posible sobre el que se desea explorar.

Desde el comienzo de nuestros estudios sobre MC, trabajamos dentro de cámaras insonorizadas y faradizadas, no necesariamente anecóicas, ya que aportamos el estímulo en campo cerrado.

Fortuitamente en el laboratorio del Prof. Loyzaga, comprobamos que la presencia de ruidos externos, no modificaba los resultados sobre los MC evocados.

Los receptores auditivos solo responden a su “mejor frecuencia” y no se alteran ante los estímulos aleatorios del entorno. Esta constatación nos llevó a tomar la decisión de buscar la localización del efecto de enmascaramiento y decidimos estudiar la incidencia que sobre los MC ejercen distintos estímulos sonoros sobrepuestos.

Material y método.

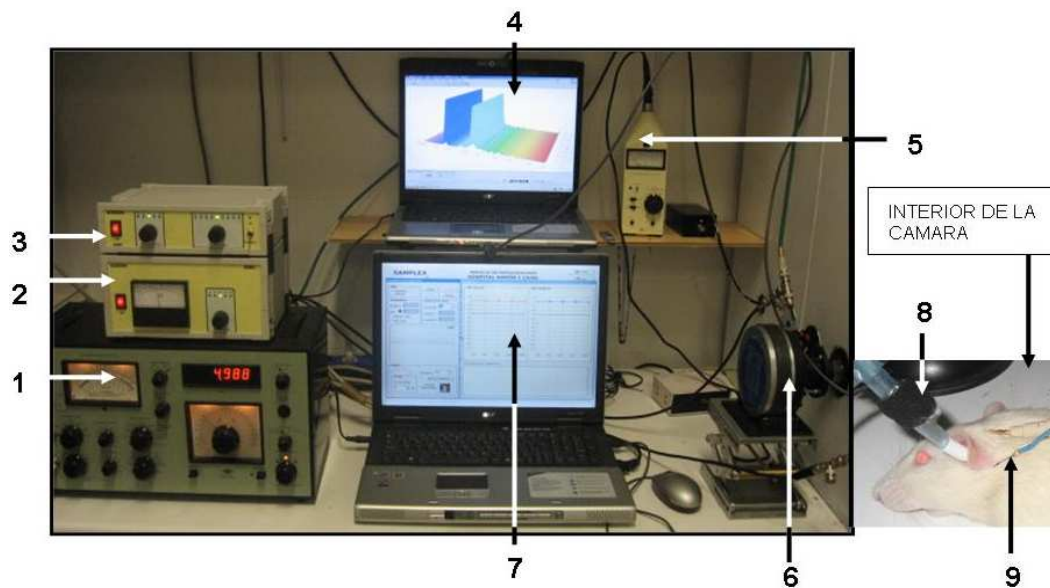


Fig.1

- 1.- Generador de funciones para los diferentes tipos de enmascaradores.
- 2.- Amplificador sintonizado a las frecuencias audiométricas.
- 3.- Generador de estímulos sinusoidales. Frecuencias audiométricas.
- 4.- Pantalla de control tridimensional del estímulo de referencia y del enmascarador.
- 5.- Sonómetro de control del TR y del enmascarador. Su micrófono está en (8)
- 6.- Transductor en donde se unen el TR y el enmascarador.
- 7.- Pantalla del ordenador, con el programa de promediado.
- 8.- Micrófono de control de la presión sonora.
- 9.- Electrodo subcutáneos.

El previo diferencial al cual van conectados los tres electrodos está dentro de la cámara próximo a la rata y no sale en la imagen.

En anteriores publicaciones se exponen las características y fundamentos del material empleado. (7, 8, 9)

Es fundamental tener presente que nuestra instrumentación, solo registra la actividad de las células ciliadas externas, en una zona crítica de la cóclea, e ignora totalmente las manifestaciones bioeléctricas fuera de ella. Cualquier otro tipo de “artefacto” que pueda introducir el más mínimo cambio sobre la zona en estudio, provoca una alteración de la respuesta MC.

Hemos utilizado ratas wistar, cumpliendo la normativa europea y americana, Legislación española R.D. 53/2013. Animalario de la Universidad Complutense y posteriormente animalario del H. Ramón y Cajal.

Método:

Previo anestesia mediante hidrato de cloral al 8% vía intraperitoneal, se procede a la colocación de los electrodos, uno en vertex y los otros dos frente a ambas mastoides. Se utilizan agujas hipodérmicas subcutáneas, con un tope que limita la penetración a 3 mm.

Utilizando un tono puro de 4.000 Hz a 60 dB, que llamamos tono de referencia, (TR) medimos la respuesta MC. Simultáneamente incorporamos distintos sonidos enmascaradores, para comprobar el efecto que producen sobre el MC de referencia.

Los estímulos se aportan en campo cerrado, a través de un tubo acústico de 8 mm de diámetro interior y 70 cm. de largo, que partiendo del transductor se adapta al CAE con una pieza de acoplamiento.

La presión sonora del tono de referencia y la del enmascarador se miden a tres centímetros del CAE mediante un sonómetro, con su micrófono situado en la pieza de acoplamiento.

Con un generador de funciones Brüel Kjaer 1027 obtenemos bandas de ruido con ancho de 3,16 Hz, 10 Hz, 31,6 Hz, 100 Hz, 1.000 Hz y ruido blanco que centramos sobre TR o situamos a diferente distancia del mismo, dentro del espectro sonoro.

El MC obtenido a 60 dB, da una respuesta biológica de 20 dB. \pm 3, en los animales empleados. La pequeña diferencia individual se debe especialmente a la colocación de los electrodos y a la del tubo de estímulo.

Los enmascaradores se han aplicado a diversos niveles de presión sonora, entre 60 y 110 dB.

En el Servicio del Prof. P Loyzaga, efectuamos una serie de comprobaciones previas en ratas, que permitieron establecer las normas del trabajo actual. En el Hospital Ramón y Cajal, realizamos el trabajo de campo en 31 ratas. Se están estudiando mejoras en la instrumentación, para ampliar el rango de todos los trabajos hasta 20.000 Hz.

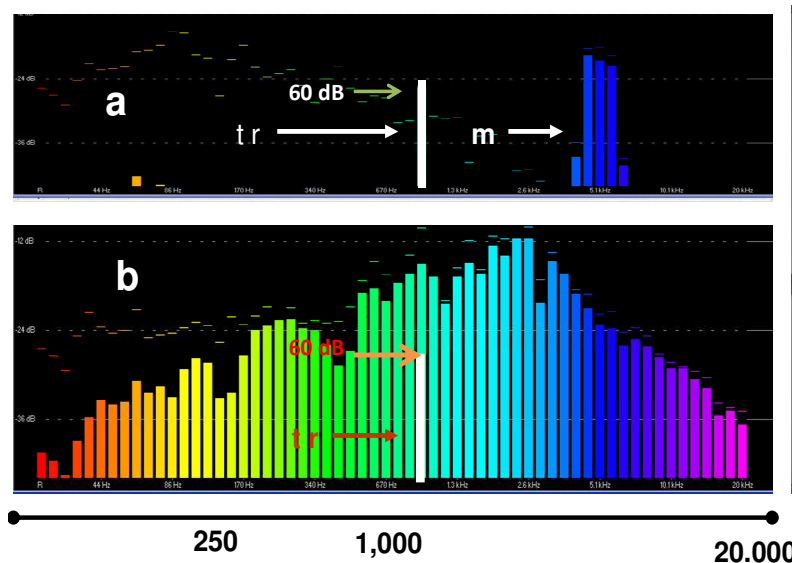
Comprobación clínica:

Para comprobar que el tipo de enmascaradores y el método empleado ejercen efecto en humanos, realizamos ensayos subjetivos, en voluntarios de nuestro entorno y audición normal.

Para ello colocamos en el extremo del tubo de aporte acústico una oliva adecuada al CAE y comprobamos que el tono de referencia deja de percibirse, cuando el enmascarador superpuesto cumple con los parámetros descritos, en artículos clínicos y sicoacusticos relacionados con el tema.

Resultados.

Los intentos de enmascarar o de modificar la respuesta MC del tono TR, han sido siempre negativos. Las células ciliadas externas, excitadas por el TR han respondido conservando el mismo nivel de 20 dB en todos los casos, con cualquier tipo de enmascarador, intensidad del mismo, o situación en el espectro audible. (Fig.2)



Análisis de espectro del estímulo y enmascarador(a) (tr) Tono de referencia y banda de enmascarador separada. (b) (tr) Tono de referencia y ruido “blanco” de enmascaramiento (m) superpuesto. En ningún caso el microfónico evocado sufre alteraciones.

Los trazados audiométricos, con y sin enmascarador, no experimentan diferencias (Fig. 3).

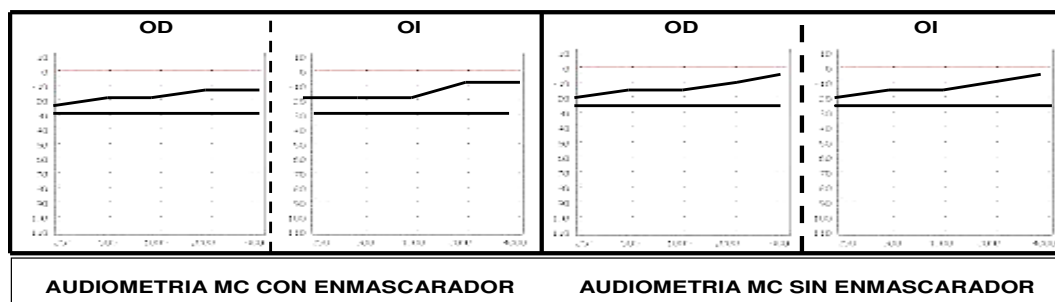


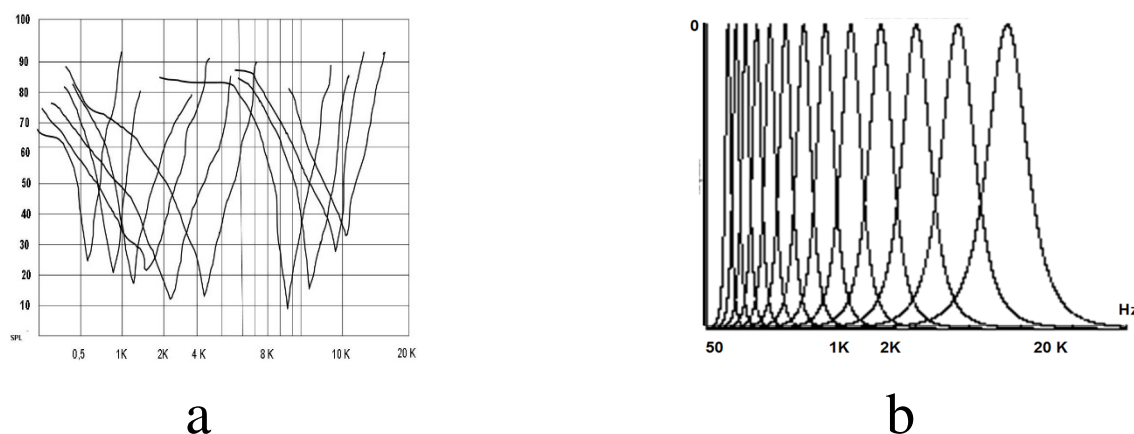
Fig.3

Téngase en cuenta que en audiometría clínica se observa claramente el efecto de enmascaramiento por ser una prueba de apreciación subjetiva, mientras que la audiometría MC, basada de la respuesta objetiva de las células ciliadas, los enmascaradores no producen efecto.

No procede estudio estadístico por la falta de variables en las pruebas

Discusión.

Los resultados discrepan de los principios de enmascaramiento en sicoacustica y en audiometría, en donde se piensa que los receptores sensoriales pueden “bloquearse” ante la presencia de enmascaradores. Salesa. Perello y Bonavida en su Tratado de Audiología, abundan en esta creencia (10). Exponen el tratamiento de los acufenos por otros autores, mediante enmascaramiento (11) lo cual presupone un posible efecto sobre los receptores sensoriales, por la incidencia de sonidos enmascaradores. Supuesto que no compartimos. Numerosos autores estudian el enmascaramiento centrándolo en la cóclea (12, 13,14). Las curvas de sintonización, obtenidas en diferentes puntos cocleares incluso en fibras del octavo par, se estudian mediante pruebas electrobiológicas



FIGURAS 4 a y b

a - Filtros de las células ciliadas externas. Obtenidos en el H. Ramón y Cajal en 1973 trazados objetivos. Primeros estudios sobre microfónicos cocleares.

b.- Filtros auditivos de bandas solapadas Fletcher 1.940. El ancho de banda depende de su frecuencia central y se conocen como “bandas críticas” Los estudios al respecto son sicoacusticos es decir de base subjetiva.

(Fig. 4-a). Nada tienen que ver con las bandas críticas de enmascaramiento, (Fig. 4-b) que provienen de estudios sicoacusticos y en consecuencia dependen de la

sensación apreciada por los pacientes. Las sensaciones son siempre corticales. Los trabajos de Zwicker y de otros autores revisados,

pretenden que las bandas críticas corresponden a una función coclear, relacionada con la membrana basilar.

Las hipótesis puramente mecánicas sobre fisiología de la audición, van cambiando a principios electrobiológicos. Revisando a grandes rasgos esta evolución, nos encontramos en el siglo diecinueve, con Hermann Von Helmholtz el cual planteo su teoría de la resonancia y posteriormente en 1.918, Georg Von Bekesy estableció las bases de la "resonancia" basilar (15, 16 17,18)

Coincidiendo con Bekesy, en 1.930 Ernest Gleen Wever y Charles Bray, exponen la "teoría de la frecuencia", también llamada *teoría de periodicidad*. En 1.949 se propuso el "principio de andanada," basándose en la idea de que una combinación de fibras transmitían "codificadas" las frecuencias mas elevadas. En 1.948 Gold, expuso la existencia de procesos mecánicos activos, y en 1960 Johnstone y Boyle, demostraron que la inflexión de la membrana basilar, era insuficiente para explicar la precisa selectividad de la coclea. Comprobaron que en un animal vivo, la "resonancia electrobiológica" era unos 50 dB más aguda que la encontrada por Bekesy.

En 1.980 las teorías sobre fisiología coclear, se enfrentan a los neurofisiólogos, que describen una elevada selectividad a nivel de las fibras del nervio auditivo, frente al concepto de la onda viajera, que sólo permite atribuir a la coclea la función de filtro mecánico pasivo.

Las curvas de sintonización trazadas a distintos niveles, demuestran una selectividad bioeléctrica evidente. La respuesta de las células ciliadas externas, equivale a ± 15.000 filtros sintonizados a lo largo de la membrana basilar, suficientes por si solos para realizar el análisis espectral.

En 1.980 las teorías sobre fisiología coclear, se enfrentan a los neurofisiólogos, que describen una elevada selectividad a nivel de las fibras del nervio auditivo, frente al concepto de la onda viajera, que sólo permite atribuir a la cóclea la función de filtro mecánico pasivo.

Las curvas de sintonización trazadas a distintos niveles, demuestran una selectividad bioeléctrica evidente. La respuesta de las células ciliadas externas, equivale a ± 15.000 filtros sintonizados a lo largo de la membrana basilar, suficientes por si solos para realizar el análisis espectral.

Pinchando en el octavo par, una fibra aferente primaria, mediante un microelectrodo y dando estímulo sonoro de barrido tonal puro, podemos determinar su frecuencia característica, que coincide con la máxima respuesta. Cada fibra proviene de un lugar crítico de la cóclea y sus potenciales espiga son proporcionales en número, a la amplitud del MC, hasta su periodo refractario. Los aumentos de presión sonora, incrementan la amplitud en los MC y estos a su vez modulan en frecuencia los potenciales espiga de las fibras correspondientes. Podemos decir por analogía física, que se produce un cambio analógico- digital.

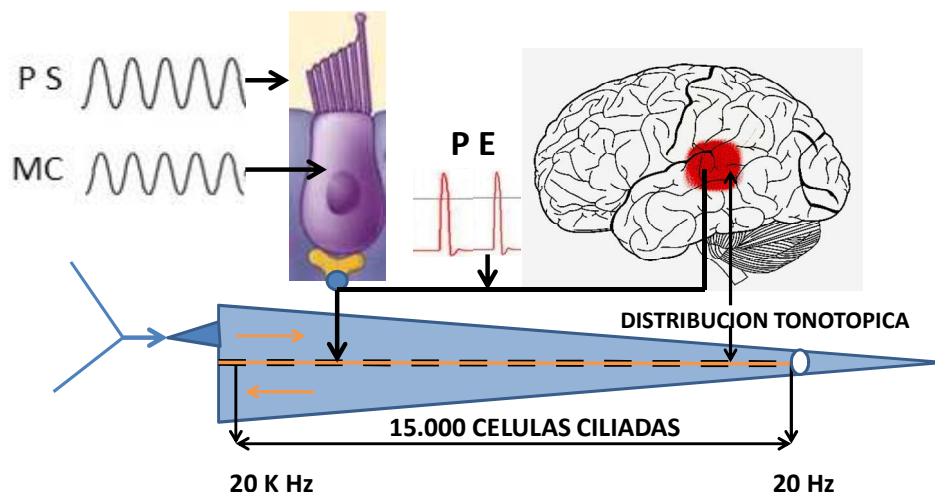


Fig.5

Exposición simplificada. Transducción mecano eléctrica “analógica”, que se produce en las células ciliadas externas conversión de presión sonora (PS) en microfónicos cocleares (MC). Nueva transducción “digital”, microfónico coclear en potenciales espiga La amplitud de los microfónicos cocleares, condiciona la frecuencia de los potenciales espiga (PE) que se produce en las terminaciones dendríticas que contactan con el cuerpo de las células ciliadas externas.

La relación tonotopica membrana basilar-córtex, define la sensación tonal. El número de espigas en cada zona cortical, aporta la percepción de intensidad y la sensación armónica de un sonido complejo.

PS.- Presión sonora.

MC.- Microfónico coclear.

PE.-potenciales espiga.

El descubrimiento de las emisiones oto-acústicas y mediciones más precisas supusieron nuevas aportaciones en contra del escueto concepto de Bekesy.

Kemp, en 1977 registró las otoemisiones, producidas por el “amplificador coclear”, que considera responsable de la aguda selectividad frecuencial. (19, 20, 21)

Este progresivo cambio de criterios, no nos lleva a un conocimiento fisiológico definitivo. La microlatencia de los MC, la ausencia de fatiga de las células ciliadas y la imposibilidad de enmascarar que hoy estudiamos, son tres hallazgos que aportan nuevos elementos de juicio sobre el proceso funcional coclear.

Conclusiones.

Cada receptor sensorial, responde específicamente a su mejor frecuencia y no admite como filtro, otros estímulos sonoros dentro de su ancho de banda. Ante un sonido complejo, cada receptor sensorial se activa con el armónico que le corresponde, sin que le afecten los demás, lo traduce en el MC necesario para generar potenciales espiga, que aportan al córtex tan solo dos datos básicos: intensidad y frecuencia. La frecuencia va implícita en el paralelismo tonotopico entre la membrana basilar y el área auditiva cortical. La intensidad la define el número de potenciales espiga en cada zona cortical. A mayor presión sonora entran en acción nuevos receptores próximos, no sintonizados críticamente, que activan en sus contactos dendríticos más potenciales espiga. El ancho de banda percibido aumenta, por la ampliación tonotopica de estímulos en el córtex. La simplicidad de los datos que aportan las células ciliadas externas, justifica el aparente escaso número de fibras aferentes, frente a las eferentes que suponen el 90/95 %.

Esta hipótesis funcional concuerda con los resultados obtenidos en este estudio sobre enmascaramiento. Las células ciliadas estimuladas en su “mejor frecuencia” por el tono de referencia, no se afectan con estímulos enmascaradores. El efecto de enmascaramiento sicoacustico es real, pero de localización supracoclear, específicamente cortical. Todas las sensaciones son corticales. Todos los receptores captan información, que enviada al área correspondiente produce las diversas sensaciones. Creemos que las teorías mecanicistas, han aportado excesivo protagonismo a la analítica espectral coclear, olvidando la amplia y compleja función del córtex, en el cual se modulan los estímulos sonoros, intensidad y sonoridad, nace la sensación auditiva y su interpretación, relacionando la comprensión del lenguaje, memoria y aprendizaje.

Bibliografía:

- 1.-Sanjuán J. Estudio de la audición en prematuros.
Microfónicos cocleares evocados. Acta Otorrinolaryngol Esp.
1998;49(7):525-31
- 2.-Sanjuán J. Cochlear microphonic potentials in audiometry
. Otorhinolaryngology, Head Otorrinolaryngol Iber Am. 13:26
- 3.-Sanjuán J. Recruitment y Microfónicos cocleares. Acta
Otorrinolaringológica Esp. 2009 issue 54:102-50
- 4.-Sears FW, Zemansky MW. Física general. Madrid: Aguilar; 1957
- 5.- Zwickau, E. (1961). "Subdivision of the audible frequency range into critical
bands". Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 33(2), pp 248.
- 6.-Zwicker E Terhardt, E. (1980). "Analytical expressions for critical band rate
and critical bandwidth as a function of frequency". Journal of the Acoustical
Society of America, Vol. 68(6), pp 1523-1525.
- 7.- Carricondo F, Gil-Loyzaga P, Sanjuán Juaristi J. Poch-Broto.
Cochlear microphonic potentials; A new recording technique.
Ann Otol Rhinol Laryngol. 2001; 110(6):565-73
- 8.-De los Santos G, Sanjuán J, Gavilán J. Nuevo método de
registro de potenciales microfónicos cocleares en seres
humanos. Acta Otorrinolaryngol Esp. 1998;49(5):341-5
- 9.-De los Santos G, Sanjuán J, Gavilán J. Potenciales
microfónicos cocleares con electrodos de superficie en el
diagnóstico de hipoacusias neurosensoriales.
Acta Otorrinolaryngol Esp. 1999;50 (5):359-65
- 10.-E. Salesa, E. Perelló, A. Bonavida. Tratado de Audiología.
2008. Pag. 88, 89.
- 11.- E. Salesa E. Perelló. A. Bonavida. Tratado de Audiología.
2008. pag. 266.

12. - Baker S, Baker RS.(2006) Auditory filter nonlinearity across frequency using simultaneous notch-noise masking. J. Acoust. Soc. Am. 119, 454-462
- 13.- Deguttis B (1990) "Physiological mechanisms of psychophysical masking: Observation from auditory-nerve fibers" J. Acoust. Soc. Am. 87, 791-809
- 14.- Ruggeri MA, Moore BCJ. (1989). Comodulation masking release for various monaural and binaural combinations of the signal, on-frequency, and flanking bands. J Acoust Soc. Am. 85 (1):262-272
- 15.- Békésy G. Von Experiments in hearing. Mc Graw-Hill, New York – Toronto – Londres, 745p., 1960.
- 16.- Evans, Rand B. (2003), "Georg von Békésy: visualization of hearing", The American Psychologist (2003 Sep) 58 (9): 742–6, doi:10.1037/0003-066X.58.9.742, PMID 14584991
- 17.- Raju, T. N. (1999), "The Nobel chronicles. 1961: Georg von Békésy (1899–1972)", Lancet (1999 Jul 3) 354 (9172): 80, doi:10.1016/S0140-6736(05)75353-8, PMID 10406402.
- 18.- Hampo, M. A.; Kyle, R A (1993), "Georg von Békésy audiology and cochlea", Mayo Clin. Proc. (1993 Jul) 68 (7): 706, PMID 8350644.
19. - Kemp DT. Stimulated acoustic emissions from within the human auditory system. J Acoustic Soc Am. 1978; 64: 1386-9120-
- 20.- Oostenbrink Verhaagen-Warnaar N. Otoacoustic emissions. Am J Electroneurodiagnostic Technol. 2004; 44 (3):189-98.
- 21- Kennedy CR, Kim L, Caferelli Dees D, Evans PIP, Hunter M, Lenton S, et al. Otoacoustic emissions and auditory brainstem responses in the new-born. Arch Dis Child. 1991; 66: 1124-1129.

