

CÉLULAS CILIADAS EXTERNAS

TRANSCENDENCIA DE TRES HALLAZGOS FUNCIONALES

1.-Latencia de las células ciliadas externas.

2.-Imposibilidad de enmascaramiento de las CCE.

3.-Ausencia de fatiga auditiva a nivel de las CCE.

Abreviaturas:

Microfónicos cocleares: MC. Células ciliadas externas CCE

Latencia.

Encontramos inexplicable que a partir de Davis, se considere la actividad de las CCE exentas de latencia. El concepto de latencia, es válido para toda clase de eventos que se manifiesten en el tiempo, en consecuencia corresponde también al complejo mecanismo de transducción mecano eléctrico de los receptores auditivos. Desde el momento en que la presión sonora se manifiesta, hasta la aparición de la respuesta microfónica, se constatan procesos mecánicos, bioquímicos y bioelectricos, que no tendrían existencia sino contaran con un espacio temporal.

Léase el concepto general de latencia de la Real Academia: “La idea de **latencia** está presente en el campo de la **biología** para nombrar el tiempo que pasa a partir de lanzado un **estímulo** y la aparición de una **respuesta** frente a él.”

Tenemos que admitir que la afirmación generalizada de la ausencia de latencia para los receptores auditivos puede deberse a la falta de medios adecuados para detectarla. Sin embargo, lo científicamente correcto sería reconocer que la latencia de las CCE no se ha podido medir debido a su pequeña magnitud, del orden de los micros segundos.

Esta incomprensible negación, puede haberse estudiado, comentado y publicado por algún investigador, que yo no he llegado a encontrar.

La causa de semejante lapsus, no es solo la falta de la instrumentación adecuada, sino la ausencia del método a seguir. En esta exposición

pretendemos aclarar cuestiones de instrumentación y método, así como las consecuencias de este hallazgo.

Respecto a la instrumentación simplemente nos remitimos a lo descrito en otros trabajos, (Latencia de los microfónicos cocleares) incluidos en este conjunto de aportaciones.

El método difiere de la rutina de medidas biológicas de latencia, en las que se inicia la medida desde que se aporta el estímulo en un punto, hasta que la respuesta se detecta en otro. En nuestro caso medimos el tiempo de latencia por desplazamiento de fase. A cada onda le corresponde un tiempo, que depende de su frecuencia. Dos ondas de igual frecuencia en el mismo medio pueden diferir en su fase, una se adelanta a la otra, y ese tiempo determina con precisión la latencia diferencial entre ambas. Tomamos como referencia temporal una onda microfónica de mínima amplitud a su paso por cero, y a partir de ese momento medimos el desplazamiento de fase de otras respuestas evocadas con mayor estímulo. De este modo obtendremos la latencia de una determinada frecuencia a diferentes niveles de presión sonora. En la fig.1 damos datos del procedimiento.

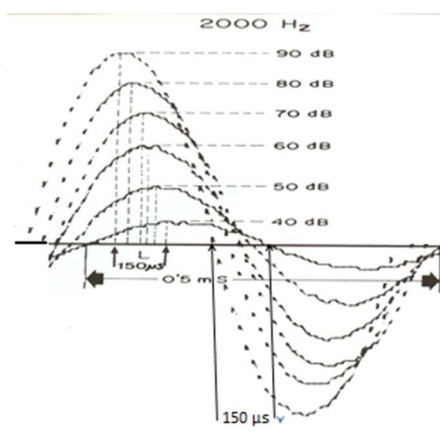
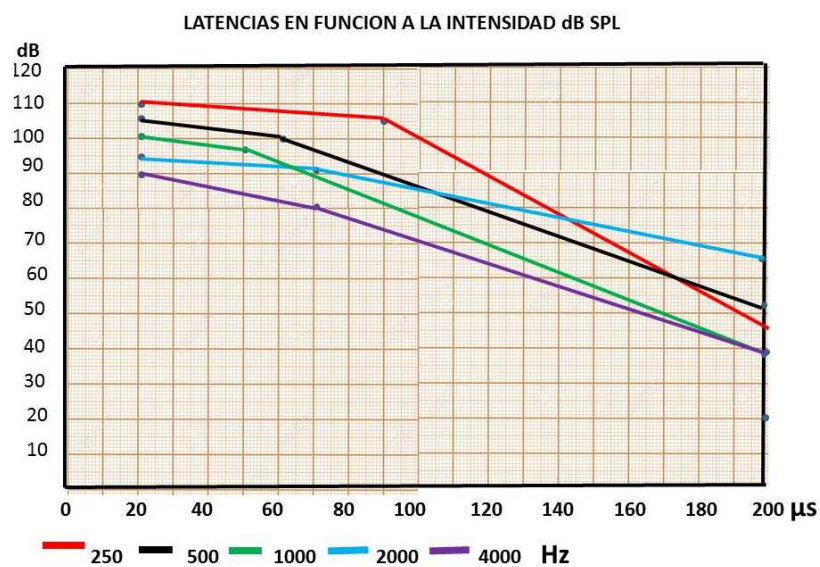


Fig. 1 Respuesta microfónico coclear a 2000 Hz.

Una onda completa de 2 Kc transcurre en medio milisegundo. En este caso hemos medido el tiempo de desplazamiento de fase para seis niveles de intensidad, entre 40 y 90 dB SPL tomando el punto de máxima elongación de cada respuesta respecto al MC evocado a 40 dB, o lo que es igual el punto de corte a su paso por cero.

No es posible realizar la medición a partir del inicio acústico del estímulo sonoro, como es el caso de medidas de latencia con estímulos eléctricos, ya que mínimas diferencias de acoplamiento entre el transductor acústico y el CAE producen alteraciones de tiempo mayores a la latencia que pretendemos medir. Otros “artefactos” como el trayecto de transmisión sonora en el oído medio, también alterarían las medidas del proceso microfónico de las CCE.

En el nuevo equipo que estamos diseñando, el procedimiento se realiza automáticamente mediante software y la presentación de resultados puede plasmarse en una gráfica como la de la fig.2



Medidas en una rata

Fig.2

En donde en accisas anotamos el tiempo y en ordenadas el estímulo en dB. Las curvas de diferente frecuencia, pueden identificarse por el color del trazado correspondiente. (Esta grafica solo es un ejemplo de presentación)

Dada la primicia del estudio de la latencia de las CCE no hemos determinado definitivamente las posibles formas de representación. Tenemos que considerar las diferentes respuestas fisiopatológicas para definir adecuadamente los parámetros gráficos. Además su aplicación en investigación sobre animales, la realizamos con dB SPL y en humanos en dB HL. Otro aspecto que estimamos

de gran interés, es el estudio de la posible relación de la latencia, en el proceso de selección de frecuencias por parte de las CCE.

Hipotéticamente la actividad bioquímica intra celular es de mayor lentitud que los procesos bioelectricos. En consecuencia la rápida diferenciación de los estímulos mecano acústicos, encaja mejor con el proceso bioeléctrico de microlatencia, que con el trasiego iónico intra y extra celular. El estudio que proponemos y que estamos realizando, contempla dos factores que modifican la latencia de las CCE:

- 1.- Modificación de la latencia en función a la intensidad del estímulo.
- 2.- Modificación de la latencia en función a la frecuencia del estímulo.

La variación por intensidad es común a todos los procesos de latencia biológicos. A mayor presión sonora menor tiempo de latencia y mayor amplitud del potencial microfónico e incremento número de potenciales espiga sobre la vía aferente, hasta el periodo refractario de cada fibra. Los cambios de latencia en función a la frecuencia, son fundamentales para mantener la hipótesis sobre el proceso de selección frecuencial por “sintonía o sincronismo biológico”. Es básico el estudio de la interacción de los dos factores, intensidad-frecuencia, para establecer la realidad de esta propuesta funcional. Para comprender este proceso coclear de “análisis de Fourier,” vamos a plantear un sencillo paralelismo electrónico, a sabiendas de que la sencillez no es aceptable en una compleja actividad biológica. Manejando un osciloscopio, ponemos como base de tiempo un barrido de 1.000 Hz, y mediante un generador de funciones introducimos en vertical una señal sinusoidal también de 1.000 Hz. El resultado en pantalla es la imagen de una onda completa fija, Fig.3a Desplazando la frecuencia fuera del tiempo de sincronismo con el barrido, las imágenes son aleatorias, Fig.3b

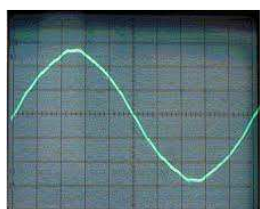


Fig.3a

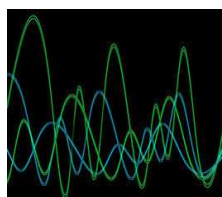


Fig.3b

Con lo expuesto solo pretendemos llegar al planteamiento de la hipótesis funcional de la célula ciliada, como filtro electrobiológico específico para cada frecuencia, la cual estaría acorde al tiempo de latencia, equivalente al barrido en un osciloscopio. Conscientes de la simplicidad de la semejanza expuesta, vamos a complicarla un poco.

Hemos planteado que la latencia se ve determinada por la frecuencia y la intensidad del estímulo. ¿Cómo conjugar estos dos factores?, para que encajen en el proceso de selectividad.

La presión sonora que incide sobre la columna líquida endococlear, hace que la misma se desplace en movimientos de vaivén en bloque, ante la imposibilidad de los líquidos para ser comprimidos. Movimiento vibratorio especialmente condicionado a la elasticidad de la ventana redonda.

Ante la entrada a la cóclea de la presión sonora, todos los cilios de las CCE vibrarán simultáneamente, por el efecto de idéntica presión sonora, pero solo se activarán aquellas CCE cuya latencia coincida con la frecuencia del estímulo. Para una sola frecuencia solo se activa un estrecho número de receptores. La anchura del paso de banda dependerá del nivel de la presión sonora. Para un sonido complejo “resonarán” (bioeléctricamente) las correspondientes CCE acordes a las frecuencias de los armónicos presentes y proporcionalmente a su amplitud.

En nuestra hipótesis la latencia determina la “resonancia biológica” y la intensidad sonora añade el ancho de banda del sistema. La “frecuencia de resonancia” siempre estaría presente como centro del “filtro” en cada receptor (CCE) y la presión sonora añadiría el ancho de banda. Al menos esto es lo que ocurre en los filtros pasa banda electrónicos.

La latencia aporta una “ventana temporal”, por la cual puede pasar la frecuencia que coincide con su secuencia. Al aumentar la intensidad del estímulo la “ventana temporal” va ampliándose admitiendo el paso de frecuencias laterales próximas. Es fundamental corroborar incuestionablemente, que la latencia difiere para cada CCE en función a su posición en la cóclea y de forma acorde a la distribución de las frecuencias en la misma.

Se viene atribuyendo una condición de resonancia acústica a sus diferencias morfológicas, siguiendo las teorías mecanicistas de selección frecuencial, cuestión de dudosa credibilidad. La diferente estructura de las CCE y de su contenido cambiaría parámetros de su latencia, y no los de la hipotética resonancia acústica.

Las experiencias sico acústicas parecen apoyar lo expuesto. En épocas anteriores se afinaban los pianos mediante la apreciación subjetiva del sonido. Para ello se pulsaba levemente la tecla correspondiente. De esta manera la apreciación en frecuencia resulta más precisa. Un sonido más intenso conlleva mayor ancho de banda, y aunque la frecuencia fundamental sea la misma se pierde la fina determinación fundamental.

La sintonía biológica a cuenta del tiempo de latencia afecta no solo a la frecuencia coincidente en el tiempo de una sola onda, sino que con menor amplitud la cóclea admite el sincronismo con armónicos del estímulo fundamental. Con un acorde compuesto por las frecuencias: 250, 500, 1000. Y 2.000 Hz obtenemos una sensación armónica, y prácticamente la misma si suprimimos la 250. La condición de resonancia biológica, reconstruye la frecuencia armónica ausente. Esta reconstrucción también puede deberse a procesos de interconexión neural entre las CCE.

No procede la cita de otras concordancias funcionales con constataciones sicoacusticas.

Lo básico y no hipotético, es que tenemos la herramienta y método para medir objetivamente la latencia de las CCE, es decir el tiempo correspondiente a la transducción mecano eléctrica, con determinación tonotópica objetiva e incruenta. De esta posibilidad se derivan diversas aplicaciones, tanto en investigación como en clínica.

En principio necesitamos revisar nuevamente las hipótesis sobre fisiología auditiva, que han ido evolucionando significativamente.

Haciendo una breve revisión histórica, nos encontramos con el sistemático propósito de llevar las vibraciones sonoras más allá de su punto de efectividad.

Coturno en 1760 comparo la cóclea a las cuerdas de un laúd. GJ Duvemey, expuso el “Mecanismo analítico del oído interno” en 1737. Describió el oído interno como una serie de resonadores, teoría muy similar a la posterior de Helmholtz. En el año 1807 Thomas Young suponía que una serie de fibras dispuestas a lo largo de la cóclea eran susceptibles a vibraciones simpáticas a diferentes frecuencias. En el siglo diecinueve, se sigue pensando en procesos mecano acústicos, para explicar la función coclear. De una forma más precisa Hermann von Helmholtz planteo su teoría de la resonancia. Georg von Bekesy en 1.918 estableció las bases de la "resonancia" de la membrana basilar y el patrón de vibraciones del oído interno. Construyó modelos mecánicos de la cóclea y desarrolló su teoría de ondas de propagación, por lo que recibió el Premio Nobel en 1961. Expuso la teoría de la onda viajera“, que va perdiendo credibilidad. Recibió el Premio Nobel en 1961. En 1.930 Ernest Gleen Wever y Charles Bray exponen la “teoría de la frecuencia” o *teoría de la periodicidad*. Suponen que la membrana basilar vibra en su totalidad y que estas vibraciones las trasporta el nervio hasta el cerebro, que sería el elemento analizador. En 1.949 se propuso el “principio de andanada” basándose en que una combinación de fibras transmiten “codificadas” frecuencias más elevadas. William S. y Luis Robles en 1974 midieron las vibraciones del martillo en oído medio.

Dejando al margen citas, de trabajos de índole funcional coclear, encontramos infinidad de publicaciones actuales que describen estructuras físicas, procesos bioquímicos y mecánicos intra cocleares, sin añadir a sus datos su participación parcial o global en el proceso de reconocimiento frecuencial. La cóclea tiene una estructura compleja, es el receptor de los estímulos sonoros y en su función global, el transductor del espectro sonoro en potenciales bioelectricos. No podemos solo limitarnos a describir minuciosamente la morfología de sus partes, ni a plantear los potenciales presentes en sus cavidades, ni el trasiego iónico de su actividad. Es preciso encontrar una idea global del proceso de transducción mecano eléctrico, que a partir de las limitadas vías aferentes aporta la información limpia y suficiente al córtex. Curiosamente muy poco se dice sobre la actividad microfónica de las CCE. Parece que poco después de Weber y Bray el potencial MC único en sus características, hubiera recibido el anatema para

su olvido. Esta no es cuestión baladí, es tema de reflexión. Un potencial bioeléctrico, que realiza una copia fiel de la forma de onda del estímulo, que mantiene con él la relación de amplitud e igualmente de fase, tuvo un glorioso nacimiento, y posteriormente lamentable olvido.

Esta aportación conlleva una llamada de atención sobre un tema poco tratado y que a nuestro juicio promete importantes resultados y aplicaciones. Es prácticamente una petición de ayuda para que algún investigador recoja mi antorcha, que dada mi edad ya se apaga.

IMPOSIBILIDAD DE ENMASCARAR LA RESPUESTA DE LAS CCE.

(Ver “Determinación tonotópica del enmascaramiento”).

La imposibilidad de enmascarar alterar o suprimir la respuesta MC de cada receptor auditivo, tiene una transcendencia fundamental en el proceso choclar general de percepción global de sonidos complejos. Las CCE se comportan absolutamente inalterables frente a la posible influencia de otros estímulos sonoros, sea cual fuere su intensidad frecuencia o composición armónica.

Esta constatación exhaustivamente comprobada, está en contradicción con el criterio actual de enmascaramiento. Nada se ha escrito al respecto, por el contrario han corrido ríos de tinta sobre los sistemas de enmascaramiento para el estudio audiometrico de la vía ósea.

Resulta asombroso que cada uno de los receptores sensoriales, tenga en exclusiva “su mejor frecuencia”. Sin embargo esta condición permite a la cóclea, en su función analítica de espectro, enviar al córtex toda la información pormenorizada, para que el área cortical auditiva nos suministre la sensación global a percibir.

Nosotros caímos en la trampa al considerar, que para el estudio de los potenciales microfónicos cocleares, era necesario colocar al paciente o al animal en experimentación, dentro de una cámara insonorizada. Llegaron a

suministrarnos de Inglaterra para el Hospital Ramón y Cajal, una de las mejores cámaras insonorizadas y anecóicas. Lamentable dispendio. Lo anecdótico, es que hace unos años, trabajando en el laboratorio del Profesor Loyzaga de la Universidad Complutense, estudiando una rata en cámara insonorizada, dejamos por descuido la puerta abierta, mientras una visita no dejaba de hablar. Se estaban haciendo determinaciones de la función microfónica, que dimos como invalidas por el ruido presente. Cerramos la puerta y pedimos silencio. ¡Sorpresa! Los resultados fueron idénticos. De esta circunstancia surgió nuestro interés. Minuciosamente hicimos un estudio sobre la influencia del ruido en los MC. Resultado: Durante el trabajo podemos tener cualquier tipo y nivel de ruido sin que nos afecte absolutamente nada. Este hallazgo disgusto profundamente a P. Loyzaga, contradecía demasiado sus convicciones, por lo cual repetimos el estudio con variantes hasta la saciedad.

Esta estricta condición funcional, no es única pero si la de mayor especificidad. Si llega el día en el cual se realice audiometría microfónica automática, tendremos resultados objetivos, sin cámaras especiales, sin necesidad de vía ósea y con muchas más determinaciones.

No pretendemos con lo dicho que se abandone de momento el enmascaramiento en audiometría, pero tengamos en cuenta que el efecto que produce es central, no de bloqueo sobre las CCE, y que los resultados son de dudosa fiabilidad.

AUSENCIA DE FATIGA AUDITIVA A NIVEL DE LAS CCE.

También parece curiosa la gran resistencia de las CCE a “fatigarse” ante los estímulos sonoros elevados del entorno habitual.

En el trabajo que aportamos “**FATIGA AUDITIVA**” se demuestra que el descenso de la percepción auditiva en las pruebas audiométricas subjetivas, es mucho más elevado que en los ensayos que realizamos solo sobre la fatiga de las CCE. Los resultados de fatiga subjetiva comprenden la totalidad del aparato auditivo, mientras que nuestro estudio se centra solamente en los

receptores sensoriales. Subjetivamente se alcanzan pérdidas próximas a 50 dB mientras que objetivamente las CCE solo llegan a una media de 8 dB pese a utilizar estimulación extrema, nunca presente en el entorno sonoro habitual.

Ante el estímulo extremo, de un tono puro durante una hora, La bomba de sodio potasio en un primer momento, realiza un gran intercambio iónico y posteriormente se va lentificando en un proceso de desensibilización por agotamiento. Con una intensidad de 120 dB y un tiempo de una hora los receptores sensoriales permanecen prácticamente inmunes. Por lo cual la fatiga estudiada sico acústicamente no se produce a nivel periférico.

El término “fatiga” no parece adecuado. El descenso de percepción subjetiva es común a todos los receptores, cuando persiste un alto nivel de estímulo. El área cortical correspondiente atenúa la sensación, para no enmascarar otras percepciones simultaneas.

Con el resumen que aportamos sobre **latencia, enmascaramiento y fatiga**, solo pretendemos llamar la atención respecto a la función de las CCE, a las cuales vienen atribuyéndose características funcionales incorrectas, que perturban el conocimiento funcional global. La falta de estudios tonotópicos atraumáticos sobre las mismas impide abordar importantes conocimientos funcionales y diagnósticos.