

## ARTÍCULO ORIGINAL

### Fatiga auditiva



Julio Sanjuán Juaristi y Mar Sanjuán Martínez-Conde\*

Unidad de Neurofisiología Experimental, Hospital Ramón y Cajal, Madrid, España

Recibido el 13 de junio de 2013; aceptado el 25 de mayo de 2014

Disponible en Internet el 8 de agosto de 2014

#### PALABRAS CLAVE

Fatiga auditiva;  
Reclutamiento;  
Trauma acústico

#### Resumen

**Introducción y objetivos:** Ante posibles pérdidas de audición a causa de sobrecargas sonoras y la escasa referencia de procedimientos objetivos para su estudio, aportamos una técnica que suministra datos precisos sobre el perfil audiométrico y el factor reclutamiento.

El objetivo del estudio es la determinación de la fatiga auditiva temporal a través de la respuesta microfónica coclear ante estímulos de sobrecarga de presión sonora y medida del tiempo de recuperación.

**Material y método:** Instrumentación específica para el estudio de microfónicos cocleares, más un generador que nos proporciona estímulos sonoros de diversa intensidad y componente armónico. Utilizamos ratas Wistar. Medimos la respuesta microfónica normal y después el efecto que sobre ella ha ejercido la aportación de sobrecarga acústica.

**Resultados:** Utilizando un tono puro a 60 dB obtenemos una respuesta microfónica. Fatigando de inmediato con 100 dB en la misma frecuencia, a los 15 min obtenemos una pérdida de 11 dB, a partir de los cuales el deterioro se lentifica y no supera los 15 dB. Mediante sonidos de banda compleja aleatoria o ruido blanco no se produce fatiga ni a niveles de 100 dB durante una hora de sobreestímulo.

**Conclusiones:** No existe fatiga a nivel de los receptores sensoriales. El deterioro de la respuesta mediante intenso sobreestímulo posiblemente se deba a alteraciones bioquímicas de desensibilización por agotamiento.

La fatiga auditiva en pruebas clínicas subjetivas afecta a tramos supracocleares. Las pruebas de fatiga auditiva encontradas no coinciden con las obtenidas subjetivamente en clínica ni en psicoacústica.

© 2013 Elsevier España, S.L.U. y Sociedad Española de Otorrinolaringología y Patología Cérvico-Facial. Todos los derechos reservados.

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [marsanjuan@gmail.com](mailto:marsanjuan@gmail.com) (M. Sanjuán Martínez-Conde).

**KEYWORDS**

Auditory fatigue;  
Recruitment;  
Acoustic trauma

**Auditory fatigue****Abstract**

*Introduction and objectives:* Given the relevance of possible hearing losses due to sound overloads and the short list of references of objective procedures for their study, we provide a technique that gives precise data about the audiometric profile and recruitment factor.

Our objectives were to determine peripheral fatigue, through the cochlear microphonic response to sound pressure overload stimuli, as well as to measure recovery time, establishing parameters for differentiation with regard to current psychoacoustic and clinical studies.

*Material and method:* We used specific instruments for the study of cochlear microphonic response, plus a function generator that provided us with stimuli of different intensities and harmonic components. In Wistar rats, we first measured the normal microphonic response and then the effect of auditory fatigue on it.

*Results:* Using a 60 dB pure tone acoustic stimulation, we obtained a microphonic response at 20 dB. We then caused fatigue with 100 dB of the same frequency, reaching a loss of approximately 11 dB after 15 minutes; after that, the deterioration slowed and did not exceed 15 dB. By means of complex random tone maskers or white noise, no fatigue was caused to the sensory receptors, not even at levels of 100 dB and over an hour of overstimulation.

*Conclusions:* No fatigue was observed in terms of sensory receptors. Deterioration of peripheral perception through intense overstimulation may be due to biochemical changes of desensitisation due to exhaustion. Auditory fatigue in subjective clinical trials presumably affects supracochlear sections. The auditory fatigue tests found are not in line with those obtained subjectively in clinical and psychoacoustic trials.

© 2013 Elsevier España, S.L.U. and Sociedad Española de Otorrinolaringología y Patología Cérvico-Facial. All rights reserved.

**Introducción y objetivos**

El proceso de deterioro auditivo puede anticiparse por diversas causas, entre ellas, factores acústicos del entorno.

Se protegen determinadas zonas con mamparas aislantes destinadas al aislamiento acústico. Las empresas ruidosas deben de tomar precauciones y adoptar las leyes vigentes<sup>1</sup>.

En discotecas y similares, hemos encontrado niveles de ruido de 100 dB, con picos de 115 dB. Así mismo, es perjudicial la escucha de música grabada a altos niveles.

En humanos, un nivel sonoro de 60 dB se puede soportar sin deterioro durante 24 h; con 85 dB no deben de sobrepasarse las 4 h; con 95 dB el límite soportable está en 1 h; con 100 dB no pasar de 15 min y a 110 dB no más de un minuto. Estas consideraciones son una aproximación a la tolerancia.

Fatiga y trauma<sup>2</sup> son 2 estados imbricados con especial diferenciación. Entre ambos, existe un periodo de recuperación que puede ser total o dejar mínimas secuelas no detectables subjetivamente a corto plazo.

La disminución del umbral de percepción viene estudiándose mediante técnicas, casi todas ellas de apreciación subjetiva. El reclutamiento o recruitment se hace presente en las hipoacusias neurosensoriales y especialmente en sujetos predispuestos a fatiga auditiva.

Diversos autores han propuesto técnicas para el estudio del reclutamiento. Fowler<sup>3</sup> presentó su método de equiparación binaural para hipoacusias unilaterales.

El test de Lüscher Zwislocki<sup>4</sup> (1949) se realiza sobre un solo oído y consiste en pedir al paciente que diferencie entre

la sensación de tono continuo y la del mismo modulado en amplitud.

Una técnica que mantiene cierto paralelismo con nuestro estudio es la de Peyser<sup>5</sup> de fatiga postestimulatória.

Según Metz<sup>6,7</sup>, si el reflejo estapedial se presenta a menos de 60 dB sobre el umbral, existe reclutamiento positivo.

Prueba de Denes y Nauton en 1950<sup>8</sup>.

El test diferencial de Jerger<sup>9,10</sup>.

Test de Theilgaard basado en que la frecuencia que más se afecta es inmediatamente superior a la del estímulo traumático.

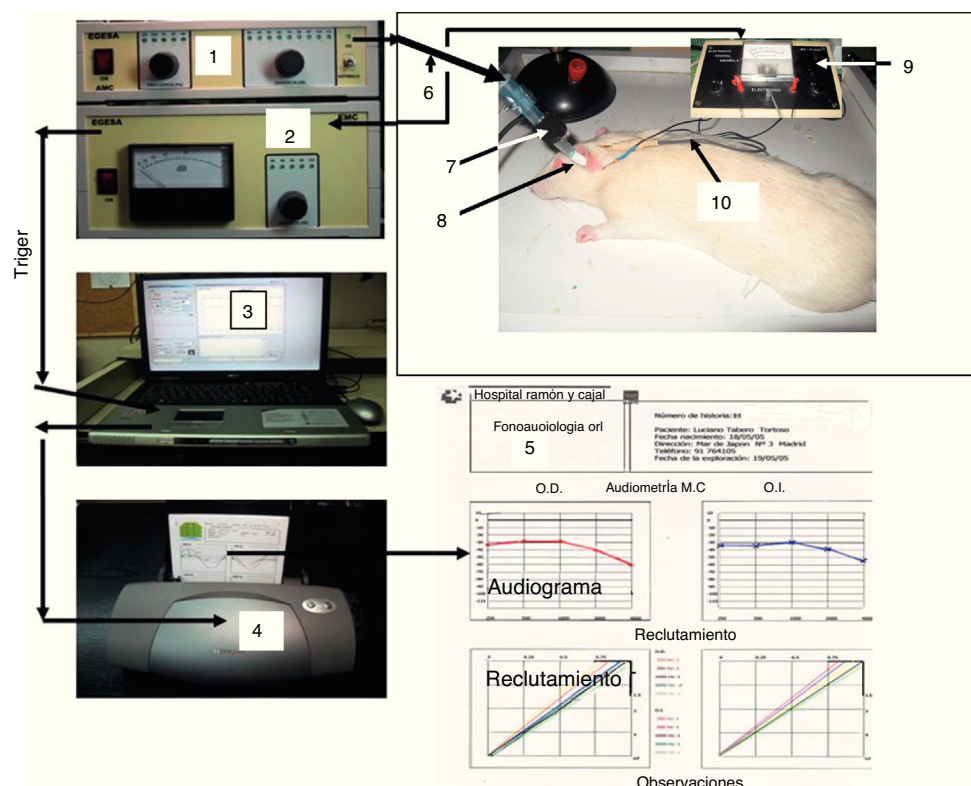
Hinalaf realiza un trabajo sobre fatiga auditiva en adolescentes basado en el estudio de las otoemisiones relacionadas con el reclutamiento<sup>11</sup>.

Habermann, Russi, Larsen y otros muchos han realizado estudios sobre el tema.

En este trabajo aportamos datos sobre fatiga y traumatismo, mediante un procedimiento objetivo, lo cual permite además el estudio en simuladores y sujetos no colaborativos, mediante el trazado audiométrico completo, más el factor recruitment<sup>12</sup>.

**Material y método**

El equipo empleado para el estudio funcional de las células ciliadas externas es de muy restringida difusión, se ha limitado al ámbito académico en investigación y clínica. El instrumento utilizado es el modelo MC 99, diseñado en el Hospital Ramón y Cajal y estructurado por EGESA (fig. 1). En la actualidad, está en proceso de ampliación de aplicaciones



**Figura 1** 1) Estimulador. 2) Amplificador selectivo. 3) Ordenador con el software para MC. 4) Impresora. 5) Resultados perfil audiométrico y reclutamiento. 6) Unión del previo al amplificador. 7) Micrófono de control del estímulo. 8) Pieza de acoplamiento al CAE. 9) Previo diferencial. 10) Electrodo mastoideo, mastoideo, frente.

en el Centro de Investigación Biomédica de la Universidad Politécnica de Madrid. Instrumentación descrita en numerosos artículos<sup>13-15</sup>.

### Principios básicos de funcionamiento

Los microfónicos cocleares (MC), después de su descubrimiento por Weber E.G. Bray, fueron prácticamente abandonados por su infimo potencial derivado, que impedía su obtención mediante electrodos de contacto atraumáticos.

El estudio especialmente en diagnóstico precoz recayó sobre potenciales supracocleares de mayor magnitud y fácil acceso. La evolución técnica en electrónica e informática hace posible el estudio con total limpieza de señales tan débiles como la de los MC ( $10^{-6}$  voltios,  $10^{-9}$  voltios) siempre que estas tengan ciertos requisitos:

1. Han de ser frecuencias senoidales puras. Copia exacta del estímulo.
2. Deben de mantener la fase de onda respecto al estímulo que las provoca.
3. Su amplitud se mantendrá proporcional al estímulo que las genera.

Estas características biológicas solo se dan en los MC.

### Bases de la instrumentación

- a. Por tratarse del estudio de ondas senoidales puras, diseñamos amplificadores sintonizados a la frecuencia del generador de estímulo. En consecuencia, las perturbaciones de diferente frecuencia de la del MC se eliminan. Quedan por suprimir las perturbaciones aleatorias coincidentes en frecuencia con el estímulo.
- b. El generador de estímulo, dispone de las frecuencias audiométricas y además genera por cada onda una señal de trigger, que marca su fase.
- c. El programa informático elimina promediando a partir del trigger, todas las ondas que no concuerden en fase con la del MC.
- d. Gracias a que la amplitud del MC es proporcional a la del estímulo, la consecución del perfil audiométrico se realiza mediante un adecuado algoritmo.

Es preciso tener en cuenta que el sistema estudia puntos críticos cocleares, precisamente los que coinciden en frecuencia con el estímulo dado e ignora totalmente cualquier perturbación externa o biológica. Si algún factor altera en lo más mínimo, el punto coclear en estudio, el MC cambia proporcionalmente.

El estímulo sonoro lo aportamos a través de un tubo acústico, por razones de precisión cuantitativa y para alejar el

transductor del paciente, evitando su inducción electromagnética sobre los electrodos.

El tubo termina en el CAE, en donde disponemos de una pieza de acoplamiento con un micrófono conectado a un sonómetro digital, que garantiza la calibración in situ (fig. 1).

Completamos la instrumentación con un generador de funciones Brüel Kjaer modelo 1027 para producir diferentes sonidos: tonos puros, ruido blanco o bandas de ruido de ancho determinado.

Hemos utilizado ratas Wistar, cumpliendo la normativa europea y americana, recogida en la legislación española R. D. 53/2013, publicada el 8 de febrero del 2013. El trabajo de campo se ha realizado en el animalario del Hospital Universitario Ramón y Cajal con número de registro ES 280790002001.

## Métodos

Previo anestesia, con hidrato de cloral al 8% / 0 por vía intraperitoneal, se procede a la colocación de 2 piezas cónicas que encajan en el tubo de aporte del estímulo (fig. 1). Estas piezas se fijan al CAE mediante un mínimo de adhesivo, para mantener constante su posición.

Tres finos electrodos se sitúan en la frente y en ambas mastoides, con una penetración subcutánea de 3 mm, para lo cual los electrodos tienen un tope que limita la penetración. Podría hacerse el estudio con electrodos solo de contacto, rasurando la piel, pero complicaríamos la técnica alargando el tiempo de trabajo.

Dando un estímulo senoidal de 4.000 Hz a 60 dB, se obtiene una respuesta de unos 20 dB, valor que tomamos en todos los casos como cero de referencia.

Elegimos la frecuencia, 4.000 Hz, para alcanzar un rápido promediado, 4.000 ondas completas por segundo. Además, en las ratas queda más centrada esta frecuencia dentro del espectro de su audición.

Aplicamos el estímulo de sobrecarga, producimos fatiga durante un tiempo controlado y volvemos a medir anotando inmediatamente, el valor del MC, evocado a 60 dB. Repetimos la secuencia de sobreestímulo y la medida del tono de referencia tantas veces como se estime necesario para trazar el decremento que va produciéndose.

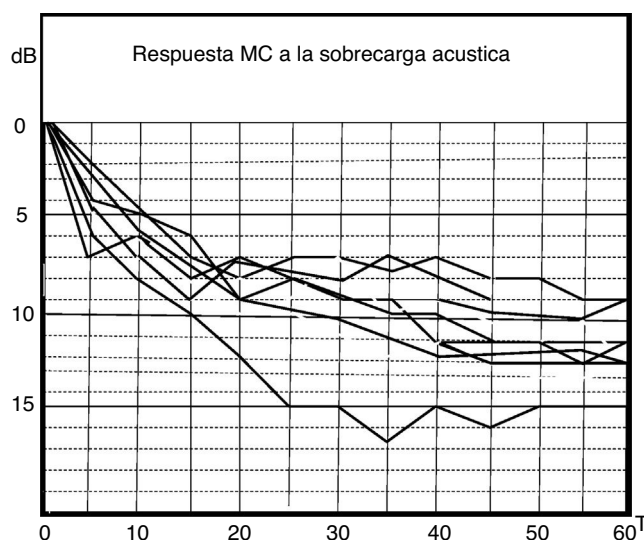
Con los datos obtenidos, trazamos la curva de descenso por «fatiga» en el tiempo. Inmediatamente, pasamos a la fase de reposo, en donde igualmente, en cada espacio de tiempo, comprobamos la respuesta del MC encontrada, siempre a 60 dB, anotando la recuperación.

Las características del estímulo de fatiga, tono puro o ruido aleatorio, así como los intervalos de medida, vienen dados en las gráficas correspondientes.

Empleamos 3 procedimientos (a, b y c) sobre el oído ipsilateral más una comprobación sobre el oído contralateral.

a. Aplicamos durante diferente tiempo (figs. 2–4) el mismo tono de 4.000 Hz a 100 dB, con lo cual obtenemos un puntual efecto sobre una zona coclear muy estrecha. Este procedimiento es solo para estudio, nunca encontramos en el entorno acústico habitual un tono puro constante a tal nivel.

La figura 2 corresponde al OI de 6 ratas, sometidas a un estímulo de 100 dB y 4.000 Hz. Se ha tomado lectura de la



**Figura 2** Resultados en el oído izquierdo de 6 ratas. Fatiga a 4.000 Hz durante una hora.

pérdida auditiva cada 5 min durante una hora. Solo utilizamos un oído para no prolongar la anestesia y comprobar posteriormente el posible efecto contralateral.

El punto de partida «0» dB corresponde a la respuesta MC obtenida a 60 dB en la misma frecuencia y en cada rata. Equiparamos en «0» dB las pequeñas diferencias obtenidas en cada ejemplar para tener un punto de partida común.

En la figura 3 presentamos la media de la figura 2 y la de recuperación en una hora.

La figura 4 corresponde a 6 ratas. Tiempo de fatiga de 15 min seguido de 30 de recuperación. Estímulo a 100 dB y 4.000 Hz.

b. Utilizamos ruido blanco y ruidos aleatorios de bandas estrechas a 100 dB. Este sobreestímulo resulta más acorde respecto a la composición espectral del entorno.

No empleamos mayores intensidades y tiempo para no incurrir en la posibilidad de trauma acústico. Se ha realizado esta prueba en 4 ratas, durante 45 min.

El generador de funciones Brüel Kjaer 1027 nos ha permitido trabajar con bandas de ruido de 3,16, 10, 31,6, 100 y 1.000 Hz, que centramos sobre 4.000 Hz. Por último, empleamos ruido blanco.

c. Completamos el estudio con el trazado audiométrico MC, sin sobreestímulo de fatiga y, posteriormente, realizamos otro trazado después de un sobreestímulo a 2.000 Hz y 100 dB durante 30 min (fig. 5).

Completamos el ensayo utilizando ruido blanco en lugar de fatigar con el tono de 2.000 Hz.

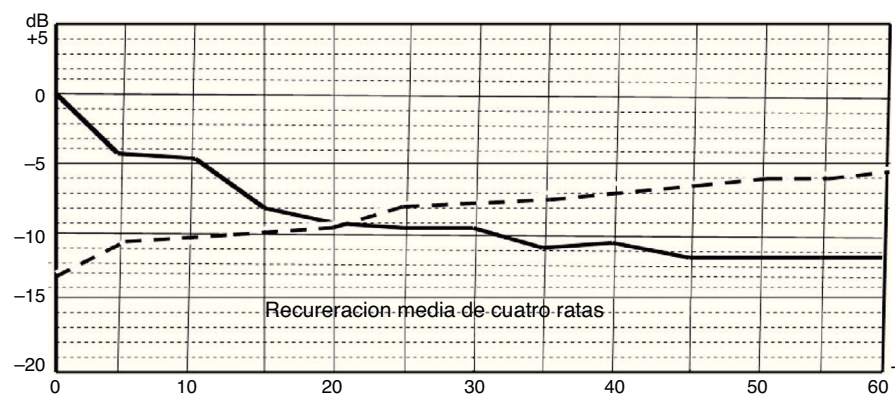
## Estudio del oído contralateral

Al margen de los procedimientos empleados, trazamos el perfil audiométrico MC del oído contralateral, no expuesto a estímulos acústicos.

## Resultados

En función del método empleado.





**Figura 3** Media de los resultados de la figura 2. La línea de puntos es la media de recuperación de 4 de las 6 ratas. Dos salieron de la anestesia antes de poder estudiar la recuperación.

a. Aplicación de 4.000 Hz a 100 dB durante diferentes tiempos. En esta experiencia extrema, observamos una caída inicial del MC de referencia, mas rápida y acentuada antes de los 20 primeros minutos, que pasa casi a horizontal entre los 20 y los 60 del estudio. Este resultado se hace más patente en el trazado de la figura 3 que corresponde a la media.

La recuperación de este proceso de deterioro también se inicia más rápidamente y se lentifica después, sin alcanzar el nivel cero de normalidad. Al cabo de una hora de reposo, queda un residuo de -5 dB (fig. 3) representado por el trazado de puntos.

Repetido el estudio de la respuesta MC a las 24 h, el nivel MC a 60 dB de estímulo vuelve a ser normal.

Efectuada la experiencia anterior con solo 15 min de sobreestímulo (fig. 4), corroboramos los datos de deterioro del MC en los primeros 15 min de la figura 2. Desde el minuto 15, iniciamos el periodo de recuperación durante 30 min, después del cual queda una pérdida media respecto al nivel normal de solo 3 dB.

b. Experiencia con ruido blanco y ruidos de banda estrecha. Se comprueba que solo aparece «fatiga» cuando la banda de ruido se aproxima al tono puro con anchos de banda de solo 3,16 y 10 Hz.

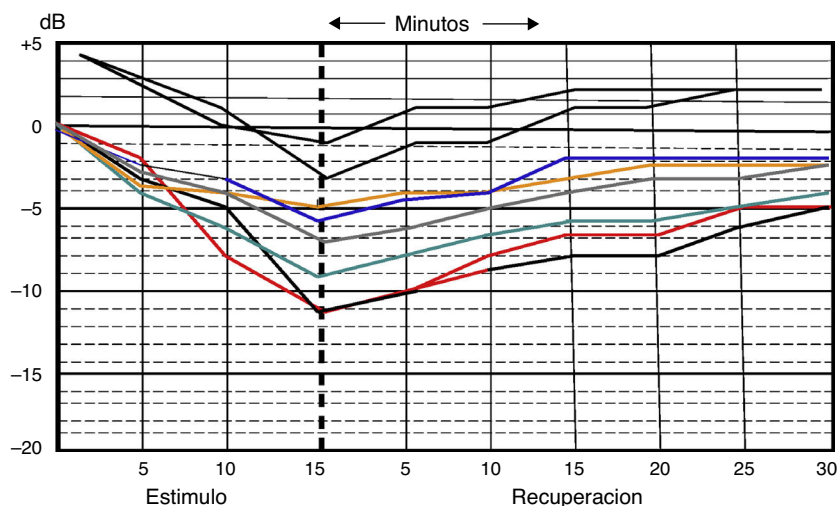
Al día siguiente de realizada la prueba, hacemos una nueva comprobación del umbral. La recuperación coincide con la normalidad. Las diferencias halladas de  $\pm 2$  dB pueden atribuirse a la nueva colocación de los electrodos y especialmente a las piezas de acoplamiento del estímulo al CAE.

c. Alteración del perfil audiométrico. La figura 5 muestra el perfil audiométrico MC, media de 7 ratas.

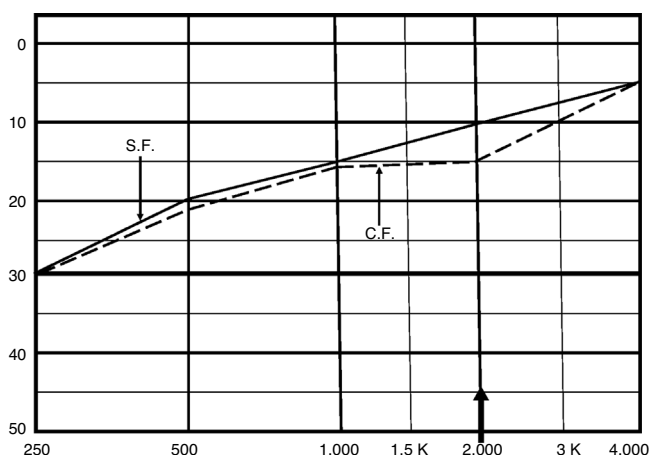
Solo se observa una caída de 5 dB sobre la frecuencia de sobrecarga.

### Respuesta contralateral

En ninguna de las pruebas descritas se producen alteraciones de la respuesta de los receptores sensoriales del oído contralateral.



**Figura 4** Resultados sobre 6 ratas con 15 min de sobrecarga y posterior recuperación de 30 min. Esta gráfica está dividida en 2 partes: estímulo y recuperación, a partir de los primeros 15 min se suprime la fatiga y se inician durante 30 las determinaciones de recuperación.



**Figura 5** Perfil audiométrico microfónico coclear sin fatiga, línea continua. Línea de trazos perfil audiométrico después de 30 min de fatiga.

## Discusión

Las pruebas habituales sobre fatiga auditiva son, en general, subjetivas y los resultados discrepan respecto a los de esta aportación; con ellas, se alcanzan pérdidas de sensación próximas a 50 dB, mientras que objetivamente, con estímulos superiores a 100 dB, no se superan los 12 dB y la media es solo de 8.

Los resultados de la audición con técnicas subjetivas, incluso la audiometría tonal liminar, están determinados por el comportamiento total del sistema auditivo. En nuestro procedimiento de estudio, analizamos solo la respuesta de las células ciliadas externas en una crítica zona coclear. Los resultados indican que los receptores sensoriales son solo susceptibles de «fatiga» con estimulación extrema.

Los niveles sonoros utilizados, tanto en tiempo, frecuencia y potencia, no se dan en el entorno acústico habitual. La «fatiga» de las células ciliadas, si es que existe, no somos capaces de detectarla objetivamente utilizando los niveles sonoros habitualmente presentes.

Los estímulos de amplio espectro inciden sobre la cóclea, repartiendo su energía sobre múltiples receptores, lo cual los hace menos lesivos que los tonos puros o los que tienen una fundamental muy tipificada. Sin embargo, las pruebas subjetivas, en clínica, realizadas con ruido blanco, acusan fatiga, circunstancia que abunda sobre su localización supracoclear.

Ocasionalmente, estímulos elevados sobre un oído pueden ocasionar en el contralateral una pérdida posiblemente de origen central. Philippides y Geiner<sup>16</sup> observaron después de la extirpación del lóbulo temporal izquierdo, por un tumor cerebral, una hipoacusia contralateral de 25 dB. Galambos<sup>17</sup> describe el descenso del umbral cuando se expone el oído contralateral a un estímulo intenso.

En nuestro estudio, nunca encontramos una pérdida elevada del MC, ni efecto contralateral, lo cual nos lleva a estimar que tanto la magnitud de la pérdida por fatiga, como el efecto sobre el oído opuesto, no son de origen coclear.

La forma de las curvas de fatiga, ante la exposición extrema, de un tono puro durante una hora, sugiere la posibilidad de que la bomba de sodio potasio inicie un

intercambio iónico con mayor rapidez al principio, durante los primeros 15 min, y que se vaya lentificando y estabilizándose posteriormente, en un proceso de desensibilización por agotamiento.

La magnitud de los MC depende de la diferencia de potencial establecida entre el cuerpo de la célula ciliada y el líquido endolabiríntico, en el que se encuentran los cilios, a unos 160 mV, potencial que se altera al variar la relación iónica.

La concentración intracelular de sodio es menor que la extracelular, mientras que la del potasio es mayor, lo cual supone un fuerte gradiente electroquímico. Como la membrana es impermeable a estos solutos, controlando la entrada y la salida de estas sustancias, la célula genera cambios de concentración de iones a ambos lados de la membrana, dado que los iones tienen carga eléctrica, también se modifica el potencial a su través.

Una alteración del intercambio iónico por el insólito estímulo de sobrecarga del tono puro que empleamos pudiera ser la causa anormal del descenso del umbral y posterior estabilización del potencial MC que encontramos.

## Conclusiones

En este trabajo, se han empleado niveles extremos de presión sonora e incluso tonos puros para buscar resultados evidentes de fatiga. Lo hemos hecho ante la imposibilidad de fatigar a los receptores sensoriales con menores niveles de estímulo.

Con este procedimiento, analizamos la labilidad de los receptores auditivos, los cuales permanecen inmunes ante la sobrecarga de presión sonora dentro de importantes límites de intensidad y tiempo.

La fatiga auditiva que se estudia por procedimientos subjetivos o psicoacústicos no concuerda con la encontrada objetivamente sobre los receptores sensoriales.

Con esta aportación solo queremos manifestar que el efecto de fatiga evidenciado en clínica no se produce en lo más mínimo a nivel de las células ciliadas externas.

El efecto de fatiga existe, pero tendremos que revisar su origen y su interpretación.

No nos parece adecuado el término «fatiga». El descenso del umbral de percepción, dentro de ambientes con alto nivel de estímulo, parece una reacción central destinada a reducir la sensación auditiva y permitir la percepción simultánea de otros receptores sensoriales, sin que estos queden enmascarados. Este comportamiento se repite en otros externos receptores, posiblemente en todos. Un ejemplo lo tenemos en la fatiga olfativa. Tras cierto tiempo en presencia de fuerte olor, se atenúa la sensación. La fatiga olfativa también es un proceso de adaptación sensorial en el cual el cerebro atenúa la sensibilidad de los estímulos para evitar sobrecargas a nivel del sistema nervioso.

Parece similar el efecto de fatiga gustativa. En los primeros momentos, percibimos intensamente el sabor de una sustancia pero la persistencia llega a producir un descenso en su apreciación.

Este concepto de «fatiga» fisiológica solo corresponde a procesos de discreta incidencia sin repercusiones patológicas. Pese a concluir sobre la imposibilidad de fatigar los receptores sensoriales durante ensayos de limitada

duración, está demostrado que la persistencia de elevados niveles de presión sonora pueden producir, en un plazo indefinido, la degeneración selectiva de las células ciliadas externas.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Decreto 78/1999 de 27 de mayo. «Normas sobre protección y conservación de la audición de la salud y bienestar de las personas por causas de producción y emisión de ruidos».
- Gavilán C, Sanjuán J. Potenciales cocleares y trauma acústico. *Electrónica y Física* 1968.
- Fowler PE. The diagnosis of disease of the neural mechanism of hearing by the aid of sounds well above threshold. *Trans Am Otolaryngol Soc.* 1937;27:207–19.
- Lüscher E, Zwislocki J. A simple method for indirect monaural determination of the recruitment phenomenon (difference limen in intensity in different types of deafness). *Acta Otolaryngologica Suppl.* 1949;78:156–78.
- Lüscher E, Zwislocki J. A simple method for indirect monaural determination of the recruitment phenomenon. *Acta Otolaryngol (Stockh).* 1949;78 Suppl:156–68, 26.
- Metz O. The acoustic impedance measured on normal and pathological ears. *Acta Otolaryngol (Stockh).* 1946; Suppl 63:1.
- Metz O. Threshold of reflex contractions of muscles of middle ear and recruitment of loudness. *AMA Arch Otolaryngol.* 1952;55:536–43.
- Danes P, Nauton RF. The clinical detection of auditory recruitment. *J Laryngol Otol.* 1950;65:375–98.
- Jerger J. Bekesy audiometry in analysis of auditory disorders. *J Speech Hear Res.* 1960;3:275–87, 56.
- Jerger J, Shedd J, Harford E. On the detection of extremely small changes in sound intensity. *Arch Otolaryngol.* 1959;69:200–11.
- Hinalaf MA. Identificación de la fatiga auditiva en adolescentes como predictora temprana de hipoacusias inducidas por ruido. Universidad Nacional de Córdoba. Secretaría de Extensión Universitaria; 2007.
- Sanjuán Juaristi J. Determinación del recruitment mediante microfónicos cocleares. *Acta Otorrinolaringologica Esp.* 2009;54:102–50.
- Sanjuán J. Estudio de la audición en prematuros. Microfónicos cocleares evocados. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 1998;49:525–31.
- Sanjuán Juaristi J. Audiometría convencional comparada con la audiometría microfónico coclear. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 2007;58:435–50.
- Carricondo F, Gil-Loyzaga P, Sanjuan Juaristi J, Poch-Broto J. Cochlear microphonic potentials: A new recording technique. *Ann Otol Rhinol Laryngol.* 2001;110:565–73.
- Philippides MG, Greiner G. Troublescoch cochléaires après ablation du lobe temporal gauche. *Rev Otoneuro-Ophtal.* 1950;22:19.
- Galambos R. Neurophysiology of the auditory system. *J Acoust Soc Amer.* 1950;22:785.