



Acta de Otorrinolaringología & Cirugía de Cabeza y Cuello

www.revista.acorl.org



Trabajos originales

Relación de la microaudiometría (audiometría de alta resolución) y el tinnitograma en los pacientes con tinnitus

The relationship between high resolution audiometry and tinnitogram in tinnitus patients

Eveling Y. Rojas-Roncancio*, German Alejandro Pabón-Ochoa**

* Otorrinolaringóloga, Centro Auditológico y Quirúrgico del Country.

** Audiólogo, Centro Auditológico y Quirúrgico del Country.

Forma de citar: Forma de citar: Rojas-Roncancio EY, Pabón-Ochoa GA. Relación de la microaudiometría (audiometría de alta resolución) y el tinnitograma en los pacientes con tinnitus. Acta otorrinolaringol. cir. cabeza cuello. 2020;48 (4):296-302 Doi: 10.37076/acorl.v48i4.527

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido: 1 de Junio 2020

Evaluado: 11 de Noviembre 2020

Aceptado: 26 de Noviembre 2020

Palabras clave (DeCS):

Audiometría, acúfeno, pérdida auditiva.

RESUMEN

Introducción: el tinnitus es una condición generalmente idiopática, de alta prevalencia, asociada con una pérdida auditiva que no puede evaluarse completamente en una audiometría convencional. En el presente estudio se propone el uso de métodos innovadores para la medición subjetiva del tinnitus y los umbrales de audición, por medio del tinnitograma y la microaudiometría. **Objetivo:** el objetivo de este trabajo es analizar la relación entre los umbrales tonales de la microaudiometría y el tinnitograma. **Metodología:** estudio descriptivo retrospectivo en 58 pacientes con tinnitus, que fueron estudiados entre marzo de 2018 y noviembre de 2019, con una microaudiometría de 67 frecuencias (rango de 262-11 840 Hz) y un tinnitograma de 134 frecuencias. Se utilizó una prueba no paramétrica (Mann-Whitney) para comparar los grupos. **Resultados:** no encontramos una relación significativa entre la frecuencia del tinnitus y la frecuencia de mayor descenso en la microaudiometría. La frecuencia del mayor punto de descenso de los umbrales tonales fue más alta en los pacientes con tinnitus >8000 Hz (22,4 %) que en aquellos <8000 Hz ($p = 0,006$). **Conclusiones:** los umbrales de la microaudiometría no se relacionan con las características subjetivas del tinnitus,

Correspondencia:

Eveling Y. Rojas Roncancio

E-mail: eyrojasr@unal.edu.co

Dirección: Carrera 16 A # 82-46, consultorio 610.

Teléfono: 6160524

excepto en los pacientes con tinnitus en frecuencias >8000 Hz. Las frecuencias altas deberían incluirse en las pruebas audiológicas para el *tinnitus*.

ABSTRACT

Key words (MeSH):

Audiometry, tinnitus, hearing loss, tonal threshold.

Introduction: tinnitus is a high prevalence, idiopathic condition, associated with hearing loss, which cannot be completely evaluated in conventional audiometry. The present study proposes the use of innovative methods for the subjective measurement of tinnitus and hearing thresholds with the use of tinnitogram and microaudiometry (automated audiometry). *Objective:* to analyze the relationship between the tonal thresholds of microaudiometry and the tinnitogram. *Methodology:* a Retrospective descriptive study. Fifty-eight patients with tinnitus were studied between March 2018 and November 2019, with 67 frequency microaudiometry (range of 262-11 840 Hz) and the 134 frequency tinnitogram. A non-parametric test (Mann-Whitney) was used to compare the groups. *Results:* we found no significant relationship between the frequency of tinnitus and the frequency of greatest decrease in microaudiometry. The frequency of the highest point of decrease in tonal thresholds was higher in patients with tinnitus >8000 Hz (22.4 %) than in those <8000 Hz ($p = 0.006$). *Conclusions:* the thresholds of microaudiometry are not associated with the subjective characteristics of tinnitus, except in patients with tinnitus at frequencies >8000 Hz. High frequencies should be included in audiological tests for tinnitus.

Introducción

El *tinnitus* se define como la percepción de un sonido sin una fuente externa que lo genera, y su forma subjetiva es la más comúnmente descrita. No es posible establecer la causa precisa del *tinnitus*; sin embargo, frecuentemente se asocia con hipoacusia, la cual es un punto de partida clave en el tratamiento de este (1).

El *tinnitus* es un síntoma común descrito por los pacientes que asisten a la consulta de otorrinolaringología y/o audiológica. Su prevalencia es de 10-25 % en adultos (2); de estos, un 1-7 % refieren que es incapacitante (3). Debido al aumento en la exposición al ruido, especialmente en la población joven (3, 4), se espera la aparición de nuevos casos de pacientes que refieran *tinnitus*.

Todo paciente que ingresa a una consulta especializada por *tinnitus* debe recibir una evaluación integral. Deben explorarse los antecedentes que puedan explicar la causa del *tinnitus* como infecciones de oído previas, migraña, vértigo, enfermedades alérgicas y factores psicológicos asociados, como ansiedad y depresión. Por otra parte, es necesario detallar el grado de discapacidad y afectación en la calidad de vida de los pacientes a través de cuestionarios como el *Tinnitus Handicap Inventory* (THI) (5) y el *Tinnitus Reaction Questionnaire* (TRQ) (6).

Las pruebas diagnósticas para el *tinnitus* están basadas en las mediciones audiológicas. La batería de pruebas audiológicas básicas, que incluyen la audiometría, la logaudiometría, la impedanciometría y la acufenometría permiten tener una certeza del funcionamiento de los oídos, del estado auditivo y de las características del *tinnitus* del paciente, descartando o no la hipoacusia como principal factor de riesgo.

Uno de los métodos de realización de la audiometría se basa en el modelo automatizado, en el cual la medición de los umbrales de audición se lleva a cabo por el audiómetro bajo la supervisión, pero sin la intervención, del especialista. El audiómetro incrementa o disminuye la intensidad de la señal dependiendo de la respuesta del paciente. Los umbrales de conducción aérea usando un software son similares a los realizados con la audiometría convencional (7). Según los hallazgos y los antecedentes del paciente, se complementa el estudio audiológico con otoemisiones acústicas, potenciales evocados auditivos e imágenes diagnósticas (1).

La hipoacusia como principal factor de riesgo del *tinnitus* ha sido el punto de inicio del tratamiento. La hipótesis de la presencia de *tinnitus* asociado con la hipoacusia se da por la deaferenciación periférica, que causa una actividad espontánea de la vía auditiva y un incremento de la actividad neural de la corteza auditiva cerebral (8). Varios estudios han buscado la relación entre la frecuencia del *tinnitus* y las frecuencias afectadas por la hipoacusia en una audiometría tonal. La mayoría de los pacientes equiparan el tono del *tinnitus* en rangos de 8000-10000 Hz, pero algunos estudios muestran relación con los mayores umbrales auditivos (9) y otros no (10, 11).

Se ha demostrado que la hipoacusia genera una actividad espontánea cerebral que puede ser percibida como *tinnitus*, la cual se localiza en la zona de transición de los umbrales auditivos normales a la hipoacusia (12). Esta frecuencia se ha definido como el punto donde se observa una lesión de las células ciliadas internas o neural, la cual es mayor a 50 dB (9). Sin embargo, Pan y colaboradores (10) no encontraron una relación entre el tono del *tinnitus* y la frecuencia límite del inicio de una deflexión en la curva de la audiometría, pero no evaluaron las frecuencias mayores a 8000 Hz.

Los estudios anteriores poseen limitaciones con respecto a la resolución frecuencial evaluada. Tanto para la audiometría como para la acufenometría, el rango frecuencial evaluado es de 250 a 8000 Hz, tomando como máximo 10 zonas frecuenciales. Para solventar dicha limitación de resolución frecuencial, pueden utilizarse métodos de evaluación audiológica que contemplen una mayor zona frecuencial, como la microaudiometría y el tinnitograma. La microaudiometría es una audiometría automatizada que evalúa los umbrales de audición de 67 frecuencias en un rango frecuencial de 250 a 12000 Hz. Además, no se han encontrado estudios que usen esta prueba para la evaluación de la audición en los pacientes con *tinnitus*. El tinnitograma es una prueba en la que el paciente califica la intensidad del *tinnitus* y localiza la frecuencia en un rango de 250 a 12000 Hz en 134 bandas. El objetivo de este estudio es analizar la relación entre la microaudiometría y el tinnitograma en los pacientes con *tinnitus*.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio descriptivo retrospectivo, en el cual se analizó la información de evaluaciones de los pacientes que referían síntomas de *tinnitus* y que asistieron a una consulta audiológica en el Centro Audiológico y Quirúrgico del Country S.A.S., remitidos por el servicio de otorrinolaringología, desde marzo de 2018 hasta noviembre de 2019. Los criterios de inclusión fueron pacientes que sufrieran de tinitus sin tener en cuenta la causa, mayores de 18 años, con una otoscopia normal bilateral y con un reporte de timpanogramas tipo A bilateral. A los pacientes se les practicó la microaudiometría en la modalidad de 1/12 de octava y el tinnitograma.

Microaudiometría

La microaudiometría es un procedimiento clínico que evalúa la audición en alta resolución de forma automática. Se realiza a través del software Automated Micro Audiometer - Pure Tone Audiometry (AMA-PTA) de KW Earlab. Existen seis modalidades de microaudiometría que están dadas de acuerdo con la resolución frecuencial en un rango de 250 a 12000 Hz, que pueden ir de una octava representada en seis bandas o hasta 1/24 de octava representada en 134 bandas. El estímulo de la prueba se presenta como un tono pulsado a una tasa de 10 por segundos, en un rango de intensidad desde -10 dB HL hasta 115 dB HL, y en pasos de +/- 5 dB controlados automáticamente. Los umbrales auditivos se definen por el promedio de los umbrales ascendentes y descendentes que el software encuentra.

Para la realización de la prueba, el paciente se ubica dentro de una cabina sonoamortiguada con sus respectivos transductores de inserción; el dispositivo genera el tono de prueba de manera automatizada y aleatoria, y el sujeto evaluado debe presionar un botón sobre un teclado o un interruptor para registrar la respuesta. En este estudio se usó la modalidad de 1/12 de octava representada en 67 bandas frecuenciales evaluadas en un tiempo promedio de 18 minutos.

Tinnitograma

Es una prueba clínica que evalúa y documenta las características espectrales subjetivas de la percepción del *tinnitus*, como la lateralidad, el tipo, la frecuencia y la intensidad reportadas por el sujeto evaluado. Se realiza a través del software *tinnitusless* de KW Earlab. Es posible generar estímulos de equiparación en tres diferentes tipos: tono puro, banda estrecha o mixto (tono puro más ruido de banda estrecha); en un rango frecuencial desde 250 a 12000 Hz representados en 1/24 bandas por octava, para un total de 134 bandas frecuenciales por cada tipo de estímulo; y en un rango de intensidad de 0 a 84 dBr en pasos de a 1 dBr.

Para la realización de la prueba, el sujeto y el evaluador se ubican frente al computador en el cual se presenta un modelo coclear gráfico en 3D. El sujeto debe hacer uso de los respectivos transductores de inserción. La prueba inicia seleccionando si el estímulo de equiparación será bilateral o unilateral; seguidamente, se selecciona el tipo de estímulo, y luego se explora la zona frecuencial que más se asemeje y el nivel de intensidad que se igualen al *tinnitus* referido por el paciente. El computador es manipulado por el evaluador o por el sujeto bajo la dirección del evaluador.

Para los pacientes que reportaron *tinnitus* en el oído derecho o izquierdo se seleccionaron los umbrales de la microaudiometría del oído afectado; en los casos de *tinnitus* bilateral, se promediaron los umbrales de las frecuencias de la microaudiometría de los dos oídos.

La recolección de datos se registró, procesó y graficó con el programa Excel 365; para el análisis, se seleccionó la frecuencia de mayor umbral auditivo en la microaudiometría, la zona de hipoacusia (>20 dB) en un promedio de los umbrales auditivos por rangos de octavas y la frecuencia de inicio de la hipoacusia. Esta última se definió como la frecuencia en la que empieza un descenso mayor a 20 dB, seguido de una tendencia de hipoacusia en sus frecuencias superiores. Estos datos se relacionaron con la frecuencia del *tinnitus* reportada en el tinnitograma. Las frecuencias evaluadas tanto para la microaudiometría como para el tinnitograma se agruparon en rangos frecuenciales por octavas (250 a 500 Hz, 500 a 1000 Hz, 1000 a 2000 Hz, 2000 a 4000 Hz, 4000 a 8000 Hz y 8000 hasta 12 000 Hz). La medida de tendencia central usada para agrupar los umbrales fue la media de las frecuencias para cada rango de octava. Las frecuencias agudas se han relacionado con mayores umbrales en la audiometría tonal en estudios clínicos previos, razón por la cual realizamos un análisis de significancia estadística en los pacientes con *tinnitus* <8000 Hz y >8000 Hz en el tinnitograma mediante la prueba Mann-Whitney, en el programa Prism 6 (GraphPad).

Este estudio es una investigación sin riesgo para el paciente, según la Resolución 8430 de 1993, ya que “no se realiza ninguna intervención o modificación intencionada de las variables biológicas, fisiológicas, psicológicas o sociales de los individuos que participan en el estudio”.

Resultados

Se incluyeron 58 pacientes valorados desde marzo de 2018 hasta noviembre de 2019. El promedio de edad fue 54,3 años y la relación hombre:mujer fue 1:1 (Tabla 1). La mayoría de los pacientes presentaban un *tinnitus* bilateral, mayor a un año de evolución, de inicio súbito y fluctuante en intensidad a través del tiempo.

Tabla 1. Características clínicas del *tinnitus* por número de casos y porcentajes

Característica del <i>tinnitus</i>	Número de casos (%)
Localización del <i>tinnitus</i>	Bilateral: 30 casos (52 %)
	Oído derecho: 19 casos (33 %)
	Oído izquierdo: 9 casos (15 %)
Tiempo de evolución	Años (mayor 1): 34 casos (59 %)
	Meses: 23 casos (40 %)
Forma de inicio	Súbito: 41 casos (71 %)
	Gradual: 17 casos (29 %)
Factor asociado con la aparición del <i>tinnitus</i>	Idiopático: 17 casos (29 %)
	Exposición al ruido: 13 casos (22 %)
	Otros: 28 casos (48 %)
<i>Tinnitus</i> fluctuante	52 casos (90 %)

En el tinnitograma, el promedio de intensidad del *tinnitus* de los 58 pacientes fue 56,6 dBr. Las frecuencias reportadas del *tinnitus* se agruparon en rangos de octavas (250 Hz-500 Hz-1000 Hz-2000 Hz-4000 Hz-8000 Hz-11840 Hz). El mayor número de pacientes, 36 casos (62,1 %), reportaron el *tinnitus* entre 2000-8000 Hz. Los pacientes con *tinnitus*

>8000 Hz fueron 13 casos (22,4 %). En la microaudiometría, 43 de los casos (74,1 %) tenían los mayores umbrales en el rango de 8000-12 000 Hz (Figura 1).

Se realizó una relación entre la frecuencia del *tinnitus* y la microaudiometría agrupada por octavas para analizar si el *tinnitus* coincidía con la zona de mayor hipoacusia. De los 58 casos, dos pacientes presentaban todos los umbrales <20 dB. En total, 46 casos (82,1 %) tenían la frecuencia del tinnitograma en la zona de hipoacusia (umbral >20 dB).

Relación entre el *tinnitus* y la frecuencia de máximo descenso

En este diagrama de dispersión se representa la relación entre la frecuencia del *tinnitus* reportada y la frecuencia de mayor descenso en la microaudiometría (Figura 2).

Los pacientes que reportaron un *tinnitus* >8000 Hz fueron 12 casos, y el promedio de intensidad en el tinnitograma en este grupo fue 70,1 dBr. Todos los pacientes tenían el umbral más bajo en la microaudiometría en las frecuencias mayores a 10 000 Hz (Figura 3). Al ser comparados con los pacientes con un *tinnitus* <8000 Hz con la prueba de Mann-Whitney, se obtuvo una diferencia significativa ($p = 0,006$).

Relación entre el *tinnitus* y la frecuencia de inicio de la hipoacusia

La frecuencia de equiparación del *tinnitus* se relacionó con la frecuencia que marcaba el inicio de un descenso característico de una hipoacusia >20 dB. Para este análisis se excluyeron siete pacientes que tenían todos los umbrales de la microaudiometría >20 dB. La mayoría de los pacientes iniciaban el descenso de los umbrales en las frecuencias medias de 1000-2500 Hz, aproximadamente, pero no se observa

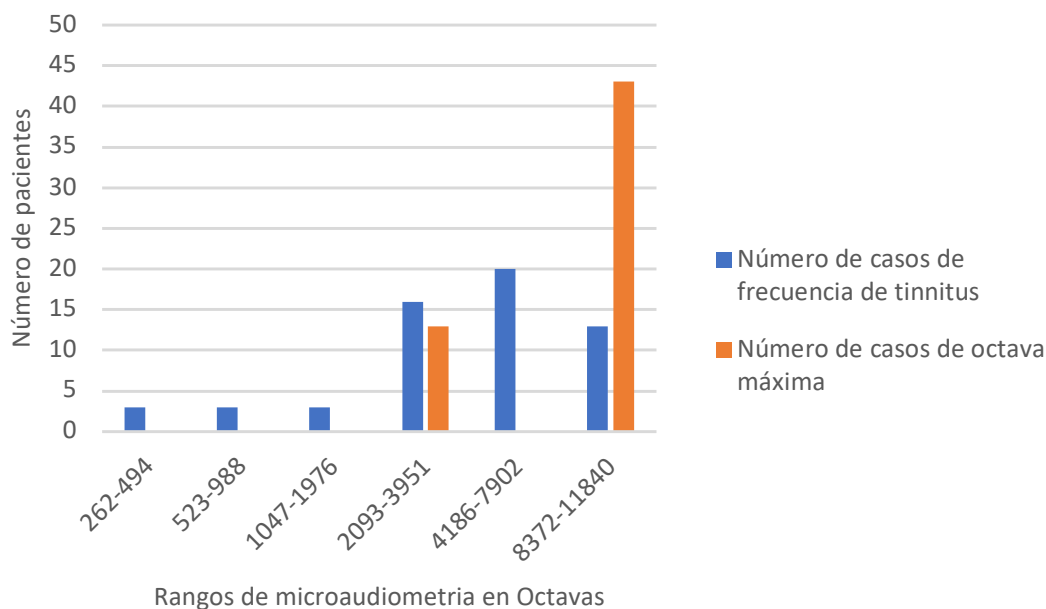


Figura 1. Número de pacientes clasificados según la frecuencia del *tinnitus* reportada en el tinnitograma y el rango frecuencial máximo en la microaudiometría.

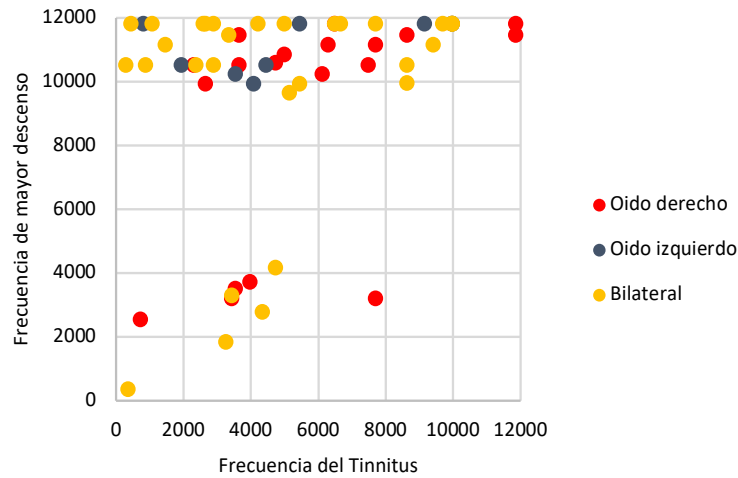


Figura 2. Relación entre la frecuencia del *tinnitus* en el tinnitograma y la frecuencia de mayor descenso en la microaudiometría.

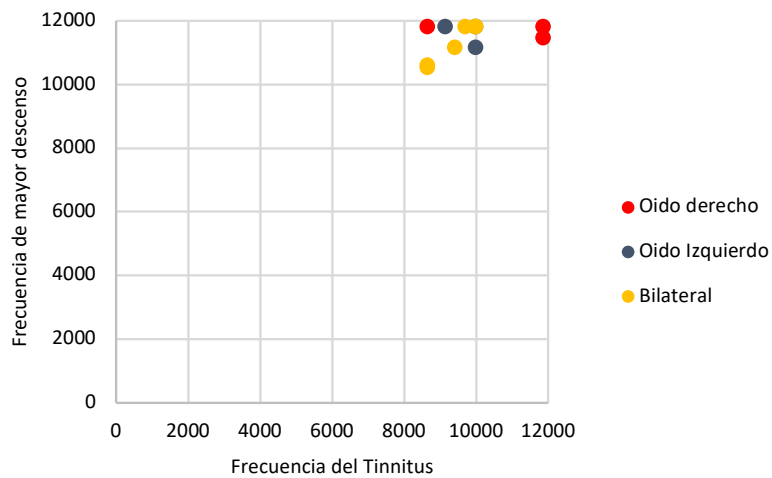


Figura 3. Relación entre la frecuencia del *tinnitus* >8 kHz y la frecuencia de mayor descenso en la microaudiometría.

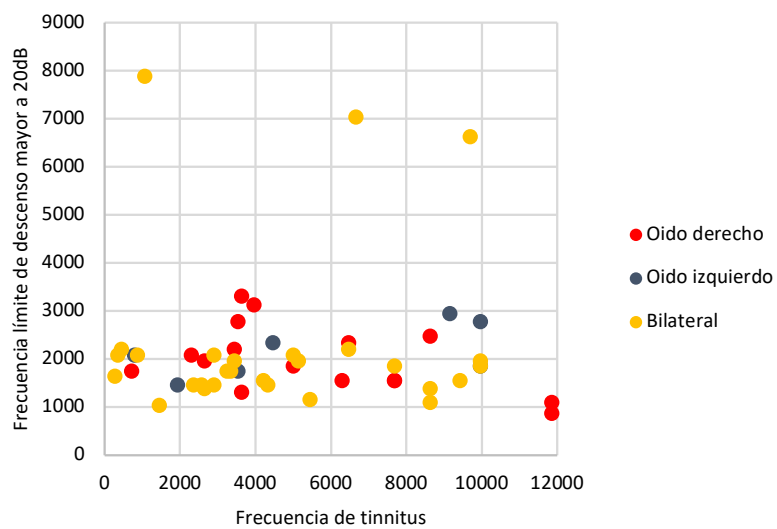


Figura 4. Relación entre la frecuencia de equiparación del *tinnitus* y la frecuencia de inicio de la hipoacusia de la microaudiometría.

una relación con la frecuencia reportada en el tinnitograma (Figura 4).

Discusión

Realizamos un estudio descriptivo retrospectivo para analizar la relación entre una prueba automatizada, la microaudiometría y el tinnitograma, y compararlo con los hallazgos de estudios previos que usaron la audiometría convencional. En esta investigación no hicimos un estudio poblacional por grupos de edad en relación con la presencia del *tinnitus*, sino que mostramos la media de edad del total de los pacientes, que está en un rango de edad media probablemente por el aumento de la exposición al ruido (1). Los pacientes reportaron *tinnitus* de predominio bilateral, crónico (años de evolución), y lo asociaron a causas idiopáticas y a la exposición al ruido; sin embargo, en la microaudiometría, el 74 % de los pacientes tenían umbrales >20 dB en frecuencias agudas, por lo que la hipoacusia es un factor asociado frecuente en esta población (1). La relación hombre:mujer reportada es igual; en estudios previos se observa una mayor prevalencia en hombres (10).

La audiometría automatizada es comparable con la audiometría convencional. Con la primera, los pacientes con *tinnitus* tienen umbrales similares en comparación con la audiometría normal (7); sin embargo, la microaudiometría es una prueba que mide únicamente la vía aérea, por lo tanto, no es posible clasificar la hipoacusia del paciente. Una hipótesis para explicar el inicio del descenso en las frecuencias medias en la microaudiometría es que el muestreo de múltiples frecuencias (en este caso 67) puede ser más sensible para detectar umbrales, que en una audiometría de 8 frecuencias se pueden pasar por alto. No obstante, con este estudio no es posible concluir lo anterior porque no se tuvo en cuenta las audiometrías de los pacientes.

El *tinnitus* se localiza más a menudo en las frecuencias agudas. El 57 % de los pacientes clasificaron el *tinnitus* en las frecuencias >4000 Hz, aunque esta apreciación es variable por la fluctuación de *tinnitus*, que fue reportada en el 90 % de los casos. Las estimaciones del *tinnitus* realizadas por los pacientes en el tinnitograma concuerdan con otros estudios clínicos. Keppler y colaboradores (11) reportaron un 54 % de pacientes con *tinnitus* >4000 Hz y Shekhawat y colaboradores (9) reportaron que el 73 % de los pacientes tenían *tinnitus* entre 8000 y 16 000 Hz.

En la búsqueda de conocer la zona de generación del *tinnitus*, se han realizado estudios clínicos que asocian la acufenometría con la audiometría. La plasticidad neuronal sugiere que el incremento de la excitabilidad neural genera un ruido central, que es percibido como *tinnitus*, y que se correlaciona con la zona de hipoacusia (8). En este caso, la mayoría de los pacientes tenían el mayor punto de descenso en la microaudiometría en las frecuencias agudas >8000 Hz y no se correlacionaron con la frecuencia del *tinnitus*. El mayor punto de descenso auditivo en la microaudiometría se relacionó con la zona de equiparación frecuencial del

tinnitus en los pacientes para las frecuencias >8000 Hz ($p = 0,006$). Además, este último grupo también tenía una intensidad mayor del *tinnitus*; por lo tanto, en la valoración de los pacientes con *tinnitus*, se debe extender el estudio de umbrales a frecuencias >8000 Hz para tener una información más clara acerca de la patología de base (9). Estos resultados son comparables con otros estudios que no mostraron una relación entre el *tinnitus* y los mayores umbrales en una audiometría convencional (10, 11), pero si se relaciona el tono del *tinnitus* con la zona de hipoacusia en rangos de 3000-8000 Hz (13).

Como consecuencia de la actividad espontánea neuronal sincrónica, hay una reorganización tonotópica de las neuronas de la zona transicional, de la zona auditiva normal a la zona lesionada (14). Según la teoría de la reorganización tonotópica cortical, el incremento de la sincronía neuronal correspondería con el área de las frecuencias afectadas por la hipoacusia, pero la percepción del *tinnitus* estaría en el límite menor de las frecuencias de la hipoacusia (8). Para el análisis del borde del inicio de la hipoacusia, utilizamos el mismo método descrito en un estudio previo (15), como la primera frecuencia >20 dB. En este estudio observamos que la mayoría de los pacientes tienen los puntos de inicio de la hipoacusia en las frecuencias medias, mientras que las frecuencias de los *tinnitus* predominan en las zonas >3000 Hz. Si se hubiera tenido en cuenta el punto de corte de 50 dB usado por Shekhawat y colaboradores (9), probablemente la relación de la frecuencia límite con la frecuencia del *tinnitus* hubiera sido mayor.

El concepto de organización tonotópica no aplica en los casos de los pacientes con audición normal o hipoacusia leve. En análisis previos, al tomar la diferencia entre intensidades en umbrales >50 dB, sí se ha visto reflejada la explicación del origen del *tinnitus* en la organización tonotópica, pero esta teoría no explicaría la presencia de *tinnitus* en pacientes con audición normal, ya que no hay descensos en la audiometría (16).

Conclusiones

Este estudio relaciona la microaudiometría (prueba audiológica de alta resolución automatizada) y el tinnitograma, dos pruebas clínicas automatizadas que no se han relacionado anteriormente. El principal hallazgo entre las dos pruebas fue en los pacientes que tenían *tinnitus* >8 kHz, una conclusión mencionada en estudios previos, donde la mayoría de los pacientes con *tinnitus* tienen una mayor afección de las frecuencias agudas en la audiometría (9, 11). En la microaudiometría, las frecuencias medias mostraron el inicio de la lesión coclear, pero los mayores descensos se dieron en las frecuencias agudas >9 kHz; por lo tanto, los pacientes valorados para tratamientos contra el *tinnitus* deben ser evaluados también en las frecuencias >8 kHz. En futuros estudios se puede analizar el inicio de la hipoacusia tomando rangos más altos entre las frecuencias para relacionarlos con la frecuencia del *tinnitus* en cada paciente.

Una debilidad de este estudio es que no clasificamos el nivel de hipoacusia con la audiometría tonal, y esto puede afectar la poca correlación del *tinnitus* con la frecuencia límite de la hipoacusia. En proyectos futuros se puede realizar la comparación de la audiometría tonal con la microaudiometría, para observar los patrones de hipoacusia y su relación con la frecuencia del *tinnitus*.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la realización de este trabajo.

REFERENCIAS

1. Bauer CA. Tinnitus. *N Engl J Med*. 2018;378(13):1224-31.
2. Henry JA, Dennis KC, Schechter MA. General review of tinnitus: prevalence, mechanisms, effects, and management. *J Speech Lang Hear Res*. 2005;48(5):1204-35.
3. Bhatt JM, Lin HW, Bhattacharyya N. Prevalence, Severity, Exposures, and Treatment Patterns of Tinnitus in the United States. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*. 2016;142(10):959-965.
4. Degeest S, Corthals P, Vinck B, et al. Prevalence and characteristics of tinnitus after leisure noise exposure in young adults. *Noise Health*. 2014;16(68):26-33.
5. Newman CW, Jacobson GP, Spitzer JB. Development of the Tinnitus Handicap Inventory. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg*. 1996;122(2):143-8.
6. Galves EF, Pegalajar CJ, Espinosa JM. La evaluación del malestar psicológico asociado al acúfeno mediante el Tinnitus Reaction Questionnaire: adaptación a la población española. *Análisis y Modificación de Conducta*. 32(145):621-41.
7. Shojaeemend H, Ayatollahi H. Automated Audiometry: A Review of the Implementation and Evaluation Methods. *Health Inform Res*. 2018;24(4):263-75-
8. Eggermont JJ. Tinnitus and neural plasticity (Tonndorf lecture at XIth International Tinnitus Seminar, Berlin, 2014). *Hear Res*. 2015;319:1-11.
9. Shekhawat GS, Searchfield GD, Stinear CM. The relationship between tinnitus pitch and hearing sensitivity. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2014;271(1):41-8.
10. Pan T, Tyler RS, Ji H, et al. The relationship between tinnitus pitch and the audiogram. *Int J Audiol*. 2009;48(5):277-94.
11. Keppler H, Degeest S, Dhooge I. The relationship between tinnitus pitch and parameters of audiometry and distortion product otoacoustic emissions. *J Laryngol Otol*. 2017;131(11):1017-1025.
12. Kaltenbach JA, Zhang JS, Zacharek MA. Neural correlates of tinnitus. En: Snow JB, editor. *Tinnitus: theory and management*. Ontario: BC Decker Inc, Hamilton; 2014. p. 141-61.
13. Ristovska L, Zora J, Vase S. Psychoacoustic Characteristics of Tinnitus in Relation to Audiometric Profile. *Archives of Acoustics*. 2019;44(3):419-428.
14. Gerken GM. Central tinnitus and lateral inhibition: an auditory brainstem model. *Hear Res*. 1996;97(1-2):75-83.
15. König O, Schaette R, Kempster R, et al. Course of hearing loss and occurrence of tinnitus. *Hear Res*. 2006;221(1-2):59-64.
16. Weisz N, Hartmann T, Dohrmann K, et al. High-frequency tinnitus without hearing loss does not mean absence of deafferentation. *Hear Res*. 2006;222(1-2):108-14.