

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
HOSPITAL GENERAL DE MÉXICO
SERVICIO DE AUDIOLOGÍA Y FONIATRÍA

**DETERMINACION DE UMBRALES AUDITIVOS EN NIÑOS
POR MEDIO DE POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS
DE ESTADO ESTABLE**

Especialidad en Comunicación, Audiología y Foniatría

Dra. Norma Liliana Garrido Bustamante

México, D.F. 2007



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
HOSPITAL GENERAL DE MÉXICO
SERVICIO DE AUDIOLOGÍA Y FONIATRÍA

**DETERMINACION DE UMBRALES AUDITIVOS EN NIÑOS
POR MEDIO DE POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS
DE ESTADO ESTABLE**

TESIS DE POSGRADO
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN COMUNICACIÓN, AUDIOLOGÍA Y
FONIATRÍA

P R E S E N T A:
DRA. NORMA LILIANA GARRIDO BUSTAMANTE

México, D.F., 2007

**DETERMINACION DE UMBRALES AUDITIVOS EN NIÑOS
POR MEDIO DE POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS
DE ESTADO ESTABLE**

Dr. Pedro Guillermo Berruecos Villalobos
Jefe del servicio de Audiología y Foniatría
Del Hospital General de México
Tutor de Tesis

Dra. Reyna Martínez Ramírez
Tutor de Tesis

AGRADECIMIENTOS

A Dios

A mis Padres

A mi Familia

Al gran Compañero de mi vida

A mis Amigos

A todos los que me inspiraron para estudiar esta especialidad

A todos aquellos que me dieron un momento de su tiempo para enseñarme y pusieron su
interés en mi superación

A TODOS ELLOS POR CREER EN MI Y APOYARME

DEDICATORIA

A Dios

A mis Padres

A mi Familia

Al gran Compañero de mi vida

Con Todo Mi Amor

ÍNDICE	Página
Introducción	
Justificación	8
Antecedentes	
El sonido	13
Percepción de los sonidos	15
Anatomía y Fisiología del Sistema Auditivo	
Oído externo	19
Oído medio	19
Oído interno	21
Vías y centros de la audición	25
Métodos de medición de la audición	
Emisiones Otoacústicas	30
Analizador de oído medio	31
Audiómetro	32
Pruebas de conducción aérea. Audiometría	34
Potenciales Evocados Auditivos de Estado Estable	36
Objetivos	40
Hipótesis	41

Material y métodos	42
Criterios de Inclusión y Exclusión	43
Análisis Estadístico y Resultados	44
Conclusiones	49
Discusión	50
Bibliografía	51

INTRODUCCIÓN

JUSTIFICACIÓN

IMPORTANCIA DE LA AUDICIÓN

Podemos definir la audición como la percepción de ciertos estímulos vibratorios que, captados por el oído, van a impresionar el área cerebral correspondiente, con lo que el individuo toma conciencia de ellos. Para que se lleve a cabo la audición, las ondas sonoras deben excitar al órgano de Corti, el cual envía el mensaje hacia el cerebro, donde debe comprenderse, analizarse y archivarse el conjunto de sonidos. El oído nos pone en contacto con nuestros semejantes y con la naturaleza, también nos acerca al conocimiento de las cosas a distancia y este conocimiento está ligado al desenvolvimiento de la escala biológica. La audición nos relaciona con las cosas que nos rodean y nos ayuda a desarrollar nuestro intelecto.

El sordo suele ser una persona concentrada, introvertida, con vida de relación disminuida y con necesidad de mucha inteligencia y comprensión para no quedar poco a poco aislado del mundo que lo rodea. ⁽¹⁾ La pérdida de la audición en un niño afecta su habilidad para relacionarse con su entorno y con las personas que lo rodean, especialmente aquellas que no forman parte de su círculo familiar. Presenta además dificultades para comprender el lenguaje y por lo tanto también para desarrollarlo; todo esto se incrementa en razón directa del grado de pérdida auditiva. El niño puede presentar desde ausencias, incoherencia y distorsión de los diferentes componentes del habla, dificultad para el aprendizaje de la lectura, sintaxis retrasada o defectuosa, vocabulario limitado, producción imperfecta del habla, una calidad de voz atonal e incluso, ausencia total del habla y del lenguaje.

Todo lo anterior afecta gravemente su desarrollo psicosocial, por verse mermada su autoestima al saberse diferente a los demás y por su incapacidad para desarrollarse de

acuerdo con el medio que lo rodea y ser víctima en muchas ocasiones de la burla de los demás. Son niños tímidos, introvertidos y con grandes dificultades para socializar con personas normooyentes. Pueden llegar a ser personas negativas, que están a la defensiva, agresivas, con inmadurez social y dependientes de los adultos, de su familia o de sus maestros. ⁽²⁾ Posteriormente se verá afectado cuando tenga necesidad de buscar empleo por tener limitadas sus opciones de desarrollo profesional debido a su discapacidad.

La ventaja que la mayoría de los niños presenta, es la capacidad de adaptarse a su medio desde el nacimiento al tener que buscar otros medios de comunicación, sin notar en un principio su discapacidad en tanto es conciente de lo que no tiene. En los adultos con sordera postlingüística, si hay conciencia de lo perdido por lo que se ven obligados a una mayor edad, al desarrollo de otras capacidades de comunicación y de relación con el medio que los rodea.

DATOS EPIDEMIOLÓGICOS DE SORDERA EN MÉXICO Y EN EL MUNDO

La organización Mundial de la Salud (OMS) en 1985 estimó que el 8% de la población mundial tenía algún tipo o grado de problema auditivo; por lo que en ese momento calculó que existían 70 millones de sordos en el mundo. En 1988 se incrementó esta cifra al 10% de la población total en el mundo, y en el año 2003 la OMS estimó que existen 250 millones de personas en el mundo con evidencias de discapacidad auditiva severa, correspondientes al 4.2% de la población total mundial. ⁽³⁾ Según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), en el censo de población, realizado en México en el año 2000, de los 95,483,412 habitantes de México en ese momento, 281,793 correspondientes al 0.28% de la población total del país tenían discapacidad auditiva. ⁽⁴⁾

En otras estimaciones, se calcula que hay un sordo congénito y uno con sordera adquirida por cada 1,000 habitantes, lo que correspondería a casi 200,000 sordos en México. Además se calcula que cada año nace un mínimo de 2,000 nuevos sordos en México, al ritmo actual de crecimiento poblacional. ⁽³⁾

Los datos anteriores, apuntan al hecho de que los problemas auditivos no son una patología sin importancia, sino real, que constituye un grave problema de salud pública.

IMPACTO DE LA SORDERA

El niño sordo plantea muchos problemas a la estructura familiar porque la relación entre padres y abuelos, la interacción con los hermanos, y la dinámica matrimonial, se encuentran bajo tensión. Se requieren programas para hacer ajustes a la cambiante dinámica familiar, en particular para los padres del adolescente, quienes se encuentran en crisis, situación rara vez reconocida por el profesional.

Con frecuencia la “intromisión” de un niño con una invalidez perturba el delicado equilibrio familiar y, por tanto, las familias necesitan ayuda para restablecer una dinámica saludable en la cual todos los miembros puedan lograr su desarrollo personal porque la familia debe ser considerada y tratada como una unidad.

Muchas madres sienten la agobiante responsabilidad del manejo del niño y el peso de la toma de decisiones educacionales sin el apoyo de un esposo. El padre adopta frecuentemente un papel pasivo, transfiriendo toda la responsabilidad de las decisiones a su esposa. Por otra parte, las esposas frecuentemente tienen dificultad para aceptar este papel activo. Esta falta de eficacia resulta evidente cuando el esposo participa en el tratamiento del niño en el hogar en donde con frecuencia resulta incapaz. Esta situación puede llevar a disputas y a una actitud defensiva por ambas partes, y requiere una reestructuración de sus relaciones.

Si el niño no es manejado adecuadamente por los padres, presenta enormes problemas emocionales para el hermano oyente. El hermano obtiene menos tiempo y energía de los padres, por lo que no es raro que desarrollen un seudodéficit sensorial en un esfuerzo de obtener atención, o fracasos escolares o, enfermedades y berrinches frecuentes. Lo más grave es la posibilidad de que desarrolle resentimientos hacia los padres y hacia su hermano. Frecuentemente se les pide que asuman muchas responsabilidades en una etapa más temprana que la ordinaria.

También es posible que pueda percibir y responder a la preocupación de sus padres y no quiera ser visto con su hermano ni cuidarlo en público, La actitud de sentirse apenado parece más evidente en el caso de los hermanos adolescentes.

Durante la adolescencia el padre tiene otra crisis. Se da cuenta de que ha estado “durmiendo” y de que la escuela no ha sido eficaz para proporcionar a su hijo buenas habilidades de comunicación y vocacionales porque el adolescente todavía no es capaz de comunicarse. El padre vuelve a enfrentar su responsabilidad, lo cual provoca una reacción de crisis similar a la inicial. Esta es más difícil emocionalmente porque el padre siente el “fracaso” en forma muy profunda emergiendo en él nuevos sentimientos de sorpresa, enojo, depresión, etc.

El hijo está cumpliendo con el mandato de separarse de los padres y establecerse por sí mismo como un adulto funcional. El padre necesita reajustarse a la realidad de la entrada del hijo a la edad adulta. El problema con el niño con discapacidad es que, si no se le ha otorgado ninguna responsabilidad, no podrá salir de los límites anteriormente impuestos en su entorno familiar. Ni siquiera puede darse cuenta de que tales límites existen. Los padres suelen sentirse muy cómodos porque parece haber poca tensión; sin embargo, el resultado será un adulto totalmente dependiente.⁽⁶⁾

DIFICULTADES DE LA DETECCIÓN TEMPRANA

La detección de la hipoacusia en niños menores de 4 años, por medio de un estudio de audiometría tonal, se ve imposibilitada por la dificultad de condicionar a dichos niños para el estudio y así poder obtener resultados confiables que nos permitan su adecuado seguimiento y tratamiento adecuado, en especial en aquellos niños portadores de un grado de hipoacusia medio o profundo que les limita el desarrollo del lenguaje y su relación con su entorno.

Todo lo anterior es el motivo por el cual en niños menores de 4 años es necesario utilizar métodos más confiables para la identificación de la hipoacusia, para ayudarlo a superar su discapacidad y para evitar la desventaja ocasionada por la hipoacusia.

Frente a éste reto médico, humano y social, el presente trabajo trata de aportar mecanismos para reducir su impacto en la población.

ANTECEDENTES

EL SONIDO

Cuando dos cuerpos chocan entre sí, producen un movimiento vibratorio de las moléculas que los forman, y la vibración puede ser medida como un cambio sobre la presión basal. El movimiento transmitido por las partículas en un medio como el aire, viaja a una velocidad de 340 m/s, en el agua a 1,435 m/s y en el acero a 5,000 m/s aproximadamente. Se comprende que en el vacío, el sonido no se puede transmitir por la ausencia de partículas en el medio.

Todo movimiento oscilatorio, se puede caracterizar para su estudio por su frecuencia, su intensidad y su duración. La cantidad de ciclos completos en la unidad de tiempo (segundos), se le conoce como Hertzios (Hz), en donde cada uno equivale a una oscilación completa por segundo.

A pesar de que los tonos puros pueden ser producidos con relativa facilidad, no existen como tales de manera natural. Por el contrario, los sonidos como los del habla son complejos y comprenden una amplia gama de frecuencias. Su morfología es tan complicada, que si analizamos cada una de las frecuencias que los componen (análisis espectral), observaríamos una distribución azarosa. El complicado trabajo del oído, es realizar la decodificación de las frecuencias que componen a cada sonido por complejo que sea, en un tiempo razonablemente corto, para enviarlo a los centros cerebrales superiores dedicados al procesamiento auditivo.

La Intensidad sonora se puede calcular en forma de energía mecánica. La emisión sonora de una fuente se mide en watos y la intensidad del sonido en un punto en el espacio se mide en watos por metro cuadrado. El oído puede identificar rangos muy amplios de intensidad. La intensidad mínima percibida puede ser de 0.000,000,000,000,000,1 watos/cm². La intensidad máxima tolerable es alrededor de

0.01 wátios/cm^2 . La manera más usual para expresar el valor de la intensidad, es con la unidad conocida como Bell, que es la medida en escala logarítmica de base 10 de la presión acústica en relación a un valor de referencia ($0.0002 \text{ dinas/cm}^2$). Para fraccionarlo se usa una escala de diez representada por decibelios (dB). Por lo que se puede deducir que un decibel no tiene un valor absoluto, sino que es una unidad sencilla que puede ser utilizada fácilmente en la clínica.

Una de las escalas empleadas para medir la intensidad es la del dB de nivel de presión sonora (NPS o SLP por sus siglas en inglés). La calibración es especificada en relación a una presión física de referencia (usualmente $0.0002 \text{ dinas/cm}^2$ o 20 micropascales) y la mayor ventaja del uso de esta escala es que puede ser fácilmente reproducida. Otra de las escalas usadas es la del dB de nivel de audición (NA o HL por sus siglas en inglés), derivada de la medición de umbrales conductuales en grupos de sujetos con audición normal para cada frecuencia estudiada. Aunque es más sencilla puede tener mayor variabilidad y error en reacción con la escala que es determinada físicamente (NPS).

La intensidad máxima que puede tolerar el oído brevemente sin dolor en decibels es de 120 dB NA; sin embargo, la exposición por mayor tiempo produce una elevación del umbral auditivo.

La integración del sonido en el tiempo prácticamente no tiene límites, lo cual refuerza nuevamente el extraordinario funcionamiento del sentido de la audición, ya que para que un sonido pueda ser utilizado, se requiere apenas de una decena de microsegundos a intensidades mayores. ^(7, 8)

PERCEPCIÓN DE LOS SONIDOS

Al menos dos ciencias se han dedicado al estudio de la percepción sonora. La primera, la Psicoacústica, estudia la relación entre las sensaciones perceptuales y los fenómenos sonoros, sin importar los mecanismos neurofisiológicos relacionados. Por su naturaleza dual, emplea técnicas de la acústica y de la psicología experimental. La segunda, la Neuropsicología, estudia las bases neurobiológicas de los llamados procesos cerebrales superiores, entre los que están las funciones sensoriales y perceptuales que caracterizan a la audición del lenguaje y de la música. La finalidad de ambas es complementaria porque tratan de comprender y medir las percepciones acústicas en los humanos y determinar como se realiza la descodificación de las variables que forman los sonidos, tales como la frecuencia, la intensidad y el tono entre otros. No obstante, los diversos parámetros pueden estar tan estrechamente relacionados que su separación se realiza sólo con fines didácticos.

Los sonidos pueden ser arbitrariamente clasificados en simples, los cuales contienen una sola frecuencia, o complejos, que contienen dos o más frecuencias. Los primeros corresponden a la onda sinusoidal de un tono puro. Los sonidos complejos contienen varias frecuencias y pueden ser periódicos si se repiten en el tiempo o aperiódicos si no lo hacen. Se ha determinado que el campo auditivo con el que los humanos captan las vibraciones sonoras audibles, está comprendido entre 20 a 20,000 Hz, con una mejor sensibilidad entre 500 y 5,000 Hz.

Los umbrales auditivos conductuales se determinan de dos maneras. En un primer caso se utilizan audífonos y los umbrales obtenidos corresponden a la presión audible mínima. Están determinados por la calibración medida por un sonómetro, que contiene un micrófono colocado en un volumen idéntico al que existe entre el conducto auditivo externo y la membrana timpánica, en el dispositivo conocido como “oído artificial” o

más recientemente con el maniquí denominado Kemar. El otro método, utiliza una bocina en lugar del audífono, pero también la calibración se realiza mediante un micrófono colocado en el sitio donde virtualmente se ubicaría el oído del escucha, con lo que se calcula la presión sonora necesaria. Esta medición produce un umbral llamado campo audible mínimo. El umbral auditivo perceptual ha sido ampliamente estudiado y corresponde aproximadamente a 30 dB NPS en la frecuencia de 1,000 Hz. Es a partir de esta escala donde se inicia el 0 dB en la escala NA, aunque la sensibilidad auditiva dependerá de cada frecuencia estudiada.

Para producir aumentos de sensación idénticos a distintas frecuencias, es necesario multiplicar los valores del estímulo físico por una constante. Por ejemplo, si tenemos dos sonidos de 1,000 Hz, uno a intensidad mediana y otro a una intensidad elevada, si a cada uno aumentamos una milésima de pascal, el sonido de intensidad media parecerá haber aumentado en mayor cantidad, mientras que el de intensidad fuerte no lo parecerá, como si la percepción de la intensidad creciera diferencialmente.

La percepción de la altura de un tono puro depende de la frecuencia. El valor requerido para que los normooyentes discriminen el cambio de una frecuencia, aumenta cuando se acerca a la frecuencia de 1,000 Hz. En el caso de un sonido complejo, percibimos las alturas de los sonidos que lo forman primordialmente como es el caso de la frecuencia fundamental, que corresponde a la altura de la frecuencia más baja. Esto se aplica también cuando los armónicos tuvieran una mayor intensidad que el sonido fundamental.

Otra cualidad del sonido es la frecuencia o tonalidad, con la que podemos apreciar si un sonido es bajo (grave) o alto (agudo). Esto nos permite apreciar la música, ya que ésta, por estar secuencialmente ordenada en el tiempo, puede ser decodificada auditivamente. El tono de una nota musical depende de las frecuencias que componen su espectro

sonoro. La escala musical de tonos está relacionada con el logaritmo de la frecuencia y a veces suele llamársele escala por octavas. Los armónicos principales de los tonos musicales, pueden estar relacionados con la frecuencia del tono más bajo (fundamental), a manera de relaciones numéricas, por lo que los sobretonos pueden estar en relación armónica. Estas combinaciones son la base de las escalas musicales y de la armonía musical que es tan importante. La mayor parte de los sujetos pueden recordar y de acuerdo a su enseñanza musical, en ocasiones pueden reproducir secuencias melódicas y ritmos y a veces algunas personas pueden reconocer el tono absoluto de cada nota.

Una variable muy importante en la percepción de los sonidos es su duración. En general hay consenso de que entre más dure un estímulo, será más fácil de escuchar; sonidos con una duración mayor de 250 a 500 milisegundos son más fáciles de escuchar y de identificar. Por el contrario, si la duración es menor a 250 milisegundos, será necesario aumentar la intensidad del estímulo para mejorar la percepción. Aunque el oído es insensible a la fase de comienzo del sonido, cuando un tono puro es presentado en ambos oídos y hay una diferencia interaural de fase, el escucha reportará un cambio en la localización del tono.

La localización espacial de los sonidos se realiza por diferentes mecanismos, como son las diferencias temporales en la llegada de un estímulo sonoro a un oído o al otro, las diferencias en la intensidad entre los dos oídos y las diferencias de fase. Cuando un estímulo con la misma intensidad, sin diferencias de fase ni de tiempo, llega a los dos oídos el sujeto localiza la fuente sonora en el plano medio.

En el gabinete clínico, por medio de audífonos, se construye una curva que determina la sensibilidad mínima a cada frecuencia por medio de respuestas conductuales (umbral audiométrico con tonos puros). Esa curva se denomina audiograma. Se considera como sensibilidad normal a aquélla que no acusa pérdidas mayores de 20 dB NA en las

frecuencias de 125 a 8,000 Hz. Existen además, pruebas supraliminales como la determinación del umbral con palabras, que verifica los resultados de la audiometría de tonos puros y que pueden ayudar a determinar el grado de pérdida auditiva.

Los sonidos del habla están formados por bandas de energía localizadas a lo largo de los resonadores del tracto vocal. La banda más baja es la frecuencia o nota fundamental y depende de la conformación del tracto vocal. Las bandas de energía más altas son las formantes, que convencionalmente se denominan como F1 y F2, y van de baja a alta frecuencia. Sus propiedades acústicas son relevantes para la audición de los fonemas.

Los sonidos de las consonantes difieren de las vocales de varias maneras, son producidas con mayores restricciones en el tracto vocal y requieren de ajustes más rápidos y complejos de los órganos articuladores. Las consonantes nasales son discontinuas, con una rápida caída de intensidad en el murmullo nasal entre 200 – 300 Hz y en F1 se abaten los formantes de las vocales adyacentes. Las oclusivas se caracterizan por los sonidos de banda estrecha con tonos por debajo de 2,500 Hz con variaciones temporales, que les permiten sean percibidas y reconocidas como tales. Mientras que las fricativas contienen frecuencias entre 2,500 a 12,000 Hz con temporalidad estable (por ejemplo /s/ o /f/). Las africadas se forman por emisión y detención de fricativas, la característica auditiva es, por ejemplo, una pausa silente y después, la breve duración de la emisión por ejemplo /t/.^(7, 8)

ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL SISTEMA AUDITIVO

Oído Externo

Consta de dos partes: la visible que es el pabellón auricular del que se puede apreciar una cara lateral que presenta en la región central una excavación profunda denominada concha, rodeada por cuatro prominencias: hélix, antehélix, trago y antitrago; en la porción baja, se encuentra el lóbulo de la oreja.

La cara medial, es el reverso de la lateral con orientación hacia la porción media de la cabeza. El pabellón auricular está constituido por cartílago de 0.5 a 1 mm. de grosor, elástico, hialino y por tejido adiposo, principalmente en el lóbulo, junto con un abundante lecho capilar. Su función es limitada en el ser humano, ya que aunque puede localizar la fuente sonora, no tiene propiedades movibles y dirigibles como en algunos animales. El conducto auditivo externo, es un tubo ciego, cuya apertura está en el centro del pabellón auricular, penetra hacia la región temporal, y se divide en dos porciones: una lateral cartilaginosa, que corresponde al tercio más externo y que está formada por tejido elástico, y la porción medial u ósea que corresponde a los dos tercios restantes, formando un anillo que se une a las porciones escamosa y petrosa del hueso temporal. El conducto, está revestido de piel, con pelos (tragos) y dos tipos de glándulas: sebáceas y ceruminosas, que son glándulas sudoríparas apócrifas modificadas. La mezcla de la secreción de las glándulas ceruminosas y las sebáceas forma una sustancia de consistencia espesa llamada cerumen. ^(9, 10)

Oído Medio

Se constituye fundamentalmente por la cavidad timpánica, o caja del tímpano, la tuba auditiva o trompa de Eustaquio y la cavidad mastoidea. La caja del tímpano, es un espacio irregular, que se localiza en el hueso temporal, dentro de la cual se encuentra la cadena osicular. Está separada del oído externo por la membrana timpánica, y del

oído interno por su propia pared interna o pared medial, en la cual se encuentran dos perforaciones llamadas ventanas, a través de las cuales, se comunica con el oído interno.

La caja del tímpano se comunica con las celdas neumáticas a través del antro mastoideo y con la nasofaringe por medio de la trompa de Eustaquio.

Las paredes del oído medio, están cubiertas por mucosa, que presenta tres tipos de células: ciliadas, no ciliadas y basales. Las cavidades neumáticas y los huesecillos, también están revestidos por una mucosa muy fina, que consta de una delgada lámina basal, y un epitelio plano simple. La membrana timpánica, en forma de embudo, mide aproximadamente 0.9 cm. de diámetro y se inserta en el surco timpánico a través de un rodete fibrocartilaginoso de forma anular. Consta de 4 estratos o túnicas: la cutánea es la más externa, formada por un epitelio plano estratificado; la radial contiene fibras colágenas y elásticas formando haces compactos, de la periferia al centro y se continúan con el pericondrio que cubre al martillo; la circular, también contiene fibras colágenas y elásticas, pero los haces se disponen transversalmente a los de la túnica radial y finalmente la mucosa, formada por epitelio plano simple, que se continúa con el revestimiento de la cavidad timpánica. Anatómicamente, la membrana posee dos porciones: una tensa (con los 4 estratos) y una flácida o membrana de Scharpnell, que es una pequeña zona en la parte superior, con los estratos intermedios más delgados, ya que hay escasa cantidad de fibras colágenas y elásticas entre ellos, por lo que tiene menor tensión.

Los huesecillos, están unidos entre sí por articulaciones de tipo sinovial. La cadena osicular, se fija a las paredes de la caja timpánica por medio de ligamentos (articulaciones extrínsecas), y por medio de los músculos de tipo estriado de contracción involuntaria: el estapedial, que se fija en el cuello del estribo, y el tensor del tímpano que se fija en el extremo superior del mango del martillo.

El oído medio, se comunica con la porción nasal de la faringe a través de la trompa de Eustaquio, que es un tubo de aproximadamente 35 a 45 mm en el adulto, y que consta de dos porciones: una posterolateral u ósea y una anteromedial de tipo cartilaginosa. Su cavidad está revestida por mucosa, con epitelio ciliado, que desplaza el moco hacia la faringe. (9, 10)

Fisiológicamente, las ondas que llegan al tímpano, lo hacen vibrar con lo que se mueven el martillo, el yunque y el estribo. Dada la capacidad del oído medio de inducir y de amplificar la energía mecánica, existe una protección del oído interno cuando el desplazamiento inicial del tímpano es exagerado. En el caso de un sonido con cambios de presión grande en el oído medio, los músculos y ligamentos que mantienen el martillo suspendido en la cavidad timpánica se contraen e impiden su movimiento. Simultáneamente, el músculo del estribo impide que éste empuje de manera exagerada a la membrana oval.

Además de esta protección, la presión de la cavidad timpánica comprendida entre el tímpano y su pared interna, la trompa de Eustaquio actúa como válvula de escape de los huesecillos y el tímpano, protegiendo los tejidos y células del conducto auditivo interno. Gracias al oído medio, la fuerza y el movimiento causados inicialmente por una onda de presión son aumentados, mientras que al mismo tiempo la amplitud del movimiento en la ventana oval es reducida. Así se logra un incremento de la onda de presión de 27 dB. (11)

Oído Interno

También llamado órgano vestíbulo-coclear, se encuentra localizado dentro de la porción petrosa del hueso temporal y está formado por una serie de sacos y tubos de tipo membranoso. Por ello se agrupa bajo el nombre de laberinto membranoso, y se ubica dentro del laberinto óseo.

Entre los dos laberintos, se encuentra un espacio, ocupado por un líquido llamado perilinfa, el espacio es llamado perilinfático. Dicho líquido contiene concentraciones altas de sodio y bajas de potasio.

En el interior del laberinto membranoso existe el espacio endolinfático, en donde inversamente, las concentraciones de potasio son altas y las de sodio son bajas. ⁽¹²⁾

El laberinto membranoso, está dividido en dos porciones: la vestibular y la coclear. La parte coclear, está formada por el órgano de Corti y la vestibular por el utrículo, el sáculo y tres conductos semicirculares. Ambas porciones contienen un epitelio sensorial ciliado, formado por células sensoriales ciliadas y de sostén o basales, y recibe innervación de tipo aferente y eferente. La cóclea se encuentra formada por tres tubos superpuestos y enrollados en espiral alrededor de una estructura ósea llamada modiolo, el cual tiene forma de caracol. Histológicamente, es muy semejante al resto del oído interno, pero la parte membranosa divide en dos al espacio perilinfático; uno de los espacios perilinfáticos se abre hacia el vestíbulo, por lo que se denomina rampa vestibular y el otro termina sobre la membrana de la ventana oval de la caja timpánica, por lo que se denomina rampa timpánica. Las dos rampas, que recorren la cóclea a todo lo largo, se unen en el ápice a través de una estrecha comunicación llamada helicotrema. De los tres conductos que forman la cóclea, el más complejo es el coclear, el cual es de forma triangular, tiene tres paredes, que se comunican con cada una de las rampas, y la tercera se adosa a la pared externa del caracol, llamada lámina de los contornos.

Desde el modiolo, se origina una saliente ósea, con forma de espiral, que acompaña a la cóclea a lo largo de cada una de las vueltas, y se denomina lámina espiral ósea. Sirve de apoyo al órgano de Corti, y sirve de punto de unión a las membranas basilar y vestibular. Esta última forma el límite entre el conducto coclear y la rampa vestibular y también se le conoce como membrana de Reissner. La membrana basilar, forma el

límite del conducto colear con la escala timpánica y sobre ella se encuentra en parte el órgano de Corti. Se inserta en la lámina espiral ósea y se une al ligamento espiral. Dentro de la lámina de los contornos, se encuentran el ligamento espiral y la estría vascular, la cual se encuentra muy vascularizada.

El órgano espiral u órgano de Corti Se encuentra formado por dos regiones, según la relación que guardan con el modiollo: una externa y una interna, separadas ambas por el túnel espiral o túnel de Corti, que es un espacio de corte triangular que recorre por todo lo largo al órgano espiral. Este está delimitado lateralmente por células de sostén bien diferenciadas llamadas pilares del túnel, y por las células ciliadas, dispuestas longitudinalmente en las regiones interna y externa. La cantidad de células varía por región, encontrando que en la externa existen aproximadamente 15,000 células dispuestas en tres hileras y en la interna sólo hay una hilera con 5,000 células. Un techo cubre al órgano de Corti, en donde se encuentra la membrana tectoria formada por fibras unidas por aminoglicanos. Las células de la hilera externa se encuentran más cerca de la membrana tectoria que las células de la hilera interna. La innervación de la cóclea, se establece con el ganglio espiral, que se encuentra en el modiollo, de donde parten fibras de tipo aferente. Estas se acompañan de fibras eferentes que provienen del mesencéfalo. Los dos tipos de fibras se unen para formar el nervio espiral, el cual llega al epitelio a través de aberturas, conocidas en conjunto como habenulla perforata. El patrón de innervación es diferente: las células ciliadas internas son innervadas principalmente por fibras aferentes en un 95% y solamente por un 5% de fibras eferentes; las células externas son innervadas principalmente por fibras eferentes (95%).
(9, 10, 11) El movimiento del estribo, causa ondas en la endolinfa de la rampa vestibular, las cuales desplazan la membrana basilar, en la que descansa el órgano de Corti. Las

ondas terminan en la membrana de la ventana redonda causando en su trayectoria la estimulación necesaria para activar las células ciliadas.

Existe una distribución tonotópica en el órgano de Corti; el segmento basal cerca de la membrana oval, que se encuentra tenso, resuena mejor con ondas de alta frecuencia, y el segmento apical laxo, resuena mejor con frecuencias bajas. A nivel bioquímico, hay un intercambio de iones sodio y potasio, generándose una transducción mecano-eléctrica. El potencial eléctrico de las células ciliadas, causa la liberación de neurotransmisores químicos desde las vesículas sinápticas. Con esto, se genera un potencial eléctrico, graduado en las fibras aferentes, que es transmitido a los centros cocleares del tronco. Cada fibra aferente del nervio coclear parece estar afinada y sincronizada a ciertas frecuencias llamadas frecuencias características (FC), y según ésta, es la respuesta a dicha frecuencia. La capacidad de la cóclea de distinguir la frecuencia desde la base al ápice es proyectada intacta y sin cambios al tallo cerebral, contribuyendo a la organización tonotópica de todo el sistema auditivo. Las fibras de las neuronas periféricas acústicas terminan en los núcleos cocleares dorsales y ventrales, en diferentes regiones, y cada región de los núcleos muestra también un orden tonotópico. Esta tonotopía, es mantenida hasta la corteza, en donde los tonos agudos, son reconocidos en la parte profunda de la cisura de Silvio, mientras que los tonos graves, son reconocidos en la parte externa de la cisura de Silvio. Esta área de la corteza constituye el área auditiva primaria, que corresponde a las áreas 41 y 42 de Brodman.

(13, 14)

El utrículo y el sáculo están encargados de la percepción de estados de aceleración o desaceleración de tipo linear, están conformados por epitelio sensorial ciliado y muestra dos tipos celulares: las células tipo I de base ancha y núcleo basal, tienen una inervación aferente que se ensancha y forma un saco llamado cáliz, en el que queda

inserta toda la célula, de manera que la terminación eferente sólo puede hacer contacto con el cáliz.

Las células tipo II, tienen forma cilíndrica, y tanto las terminaciones de tipo aferente como las de tipo eferente tienen los contactos normales para éste tipo de terminaciones.

El epitelio sensorial ciliado en el utrículo y sáculo forma las manchas, o máculas. A la mitad, trazamos una línea imaginaria, estriota. En el sáculo, las células ciliadas que se encuentran a cada lado de la estriota están orientadas hacia ella y en el utrículo las células ciliadas se orientan hacia fuera de la estriota.

Por encima del epitelio de las máculas se encuentra, se encuentra una masa de aminoglicanos llamada membrana estatocónica, en al cual se encuentran incluidos pequeños cristales de carbonato de calcio, las estatocónias.

Los conductos semicirculares son tres: uno anterior, uno posterior y uno lateral. Se originan y desembocan en el utrículo, tienen un ensanchamiento en cada uno de sus extremos conocido como ampolla, y permiten la percepción de aceleración y desaceleración angular.

Dentro de la ampolla que se encuentra dentro de cada canal semicircular, encontramos una prominencia transversal al plano del canal, llamada cresta ampular, formada por tejido conectivo denso, cubierta en la parte superior por epitelio sensorial ciliado, sobre el cual hay una masa de aminoglicanos en forma de cúpula, que se extiende desde la superficie del epitelio hasta el otro extremo de la ampolla, y tiene perforaciones dentro de los cuales se introducen los cilios sensorios. ^(9, 10, 11)

Vías y Centros de la audición

La organización estructural del sistema auditivo central, se continúa en el interior del cerebro. Las neuronas primarias del sistema auditivo están ubicadas en el ganglio

espiral de Corti. Después hay una serie de núcleos dentro del tallo cerebral que reciben y analizan la información neuronal de manera secuencial.

Una vez que el órgano de Corti, ha sido excitado, envía la información al cerebro por medio del nervio auditivo que forman los axones de 30,000 neuronas del ganglio espiral de Corti. La información se proyecta hacia los núcleos cocleares ubicados en la unión bulbotuberancial del tallo cerebral, que miden entre 8 x 3 mm. y contienen alrededor de 100,000 neuronas; en el núcleo dorsal las dendritas tienen una orientación principalmente en paralelo, mientras que en el núcleo ventral, la disposición es más aleatoria.

Existen diversos tipos de neuronas, y cada una puede tener diferentes características de disparo de acuerdo con la información neural que procesan, conservando la disposición tonotópica originada desde la cóclea, ya que hay neuronas que responden selectivamente a determinadas frecuencias e incluso a la fase del estímulo, según sea positiva o negativa. Las neuronas de los núcleos cocleares envían su información a través de tres vías nerviosas: la estría dorsal que cruza la línea media para llegar hasta el complejo olivar superior, al lemnisco lateral y al colículo inferior contralateralmente; la estría media que va al núcleo del lemnisco lateral y al colículo inferior contralateral y la estría ventral, que asciende hasta el complejo olivar contralateral; sin embargo, hay conexiones ipsilaterales hasta el complejo olivar, el núcleo del lemnisco lateral y el colículo inferior.

El complejo olivar superior, en la parte antero-inferior de la protuberancia anular, tiene tres núcleos principales: medial, lateral y del cuerpo trapezoide. En el ser humano, los dos últimos generalmente están fusionados y son indistinguibles. El medial tiene una estructura laminada y contiene entre 10,000 a 12,000 neuronas, mide 4mm. y las conexiones entre sus neuronas están orientadas paralelamente. Se calcula que la

distancia que recorren los fascículos ipsilateral y contralateral entre los núcleos cocleares y el complejo olivar superior son de 9 y 18 mm., respectivamente. En forma global, el complejo olivar superior debe contener de 20,000 a 24,000 neuronas. El arreglo tonotópico sigue conservado hasta este nivel. El colículo superior es el primer relevo neural que recibe información de ambos oídos, y por lo tanto está fuertemente involucrado en la localización espacial del sonido.

Posteriormente a través del núcleo del lemnisco lateral, la información llega hasta los colículos inferiores en la parte posterior del mesencéfalo. Se sabe que el lemnisco lateral mide 1 a 2 mm. de diámetro, sus prolongaciones neurales están orientadas horizontalmente y tiene una comisura que une a los núcleos del lemnisco de ambos lados en la parte dorsal.

Uno de los relevos mayores de la vía auditiva central, lo son los colículos inferiores, localizados en la porción dorsal del mesencéfalo. Miden 6 x 7 mm. y todos los relevos de núcleos inferiores de la vía auditiva hacen contacto con ellos. Tiene dos porciones: la central o corazón que es casi exclusivamente auditiva y la periférica o cinturón, que recibe información de otras modalidades sensoriales como visuales y somatosensoriales, razón por la cual participa en la integración de reflejos y conductas multisensoriales. Como el lemnisco lateral posee fibras comisurales que conectan ambos colículos, además existe un haz de fibras ipsilaterales llamado brazo, que lo une al cuerpo geniculado medial. Al igual que los demás núcleos auditivos del tallo cerebral, también posee un arreglo celular tonotópico.

La información auditiva continúa su camino sin cruzar la línea media, hacia los cuerpos geniculados mediales en el tálamo, que está 1 cm., aparte del colículo inferior; también está organizado tonotópicamente. La parte medial recibe impulsos primariamente auditivos, mientras que la otra porción recibe impulsos auditivos y somatosensoriales.

La latencia de la respuesta es ahí mayor y se ha observado que sus células responden a estímulos auditivos complejos, por lo cual en este núcleo podría comenzar el análisis del habla.

La corteza auditiva en el lóbulo temporal, tiene un grosor de 2 a 4 mm., está compuesta por millones de células nerviosas, al igual que el resto de la corteza cerebral está formada de una serie de seis capas de neuronas; hay un consenso que sitúa a la corteza auditiva en el giro de Heschl, también llamado el giro transverso por estar en la profundidad de la cisura de Silvio.

En cuanto a su organización tonotópica las frecuencias altas están representadas caudo-medialmente y las graves rostro-lateralmente, se calcula que se requieren de 2 mm. de corteza para codificar el paso de una octava de frecuencia a otra.

Se ha encontrado que otras zonas por fuera de la corteza auditiva primaria, pueden responder a la estimulación acústica, como es el caso del giro supramarginal en el lóbulo parietal, que es otra de las zonas comprometidas con el análisis acústico: el giro angular, en la confluencia de los lóbulos temporal y parietal y algunas regiones situadas inferiormente en el lóbulo frontal, que también responden a la estimulación auditiva, así como las regiones centrales del lóbulo de la ínsula. Uno de los aspectos más importantes de la conectividad de la corteza cerebral es el hecho de que cuando un área de la corteza cerebral envía señales hacia otra, la segunda área envía señales de retorno hacia la primera. Este arreglo es conocido como de retro-alimentación o de redundancia, por lo que un área puede influir sobre otra y modificar las respuestas que recibirá, constituyendo este proceso como algo básico para la decodificación del sonido.

La corteza cerebral temporal tiene varias conexiones intrahemisféricas. El giro de Heschl conecta con la corteza cerebral que le rodea y con el lóbulo frontal. El fascículo arqueado es una vía conocida por conectar las áreas de los lóbulos frontales y

temporales, que cruza la profundidad de los lóbulos temporales y de la ínsula. El cuerpo calloso, la comisura cerebral más grande del cerebro, conecta ambas regiones auditivas primarias temporales.

Electrofisiológicamente, se pueden obtener respuestas de las neuronas en los núcleos auditivos en campos lejanos del tallo cerebral, diencéfalo y corteza cerebral, por medio de potenciales provocados auditivos de latencia corta y de latencia tardía respectivamente, que pueden tener una aplicación semejante al electrococleograma para valorar la audición pero con la ventaja de ser estudios que no requiere de manipulaciones quirúrgicas o invasivas. Los potenciales provocados auditivos de latencia media o tardía, sin embargo, pueden tener como desventaja una mayor variabilidad.

También se suelen realizar pruebas conductuales que requieren la participación de la corteza auditiva, como sucede con las pruebas dicóticas. ^(1, 8, 15)

MÉTODOS DE MEDICIÓN DE LA AUDICIÓN

EMISIONES OTOACÚSTICAS

Se descubrieron en 1978 y su conocimiento ha aumentado desde el decenio de 1980-1989.

Hay dos clases de Emisiones Otoacústicas (O.A.E.): espontáneas y evocadas. Las evocadas requieren un estímulo de alguna clase para ser producidos, mientras que las espontáneas sólo se presentan, “de manera espontánea el 50% de la población adulta joven con audición normal y son más prevalentes en las mujeres. Las evocadas son sensibles al daño de las células ciliadas en la cóclea y son una herramienta para detectar y diagnosticar disfunción auditiva.

Existen tres tipos de O.A.E. espontáneas: a) O.A.E. evocadas transitorias, b) O.A.E. de producción distorsionada o por productos de distorsión y c) O.A.E. frecuencia-estímulo. Las O.A.E. transitorias se graban al estimular al oído con un click corto, mientras se graba el nivel sonoro en el canal auditivo con un micrófono pequeño. El click puede estimular un amplio rango de la membrana basilar en un instante. Por las características del mecanismo de onda viajera en la cóclea, la membrana basilar al inicio responde a un click, con un desplazamiento máximo en la región basal de alta frecuencia. El desplazamiento pico de la membrana basilar viaja hacia la punta, donde se produce el máximo desplazamiento en respuestas a sonidos de baja frecuencia. Aunque el click instantáneo, se presenta en el oído con frecuencias sonoras bajas, medias y altas, le toma más tiempo a los sonidos de baja frecuencia viajar hacia el ápex (punta) y estimular la membrana basilar.

La gran y abrupta porción de la onda es el estímulo del click que se presenta por el audífono. Después de un corto periodo de silencio, surge otra onda: un eco de bajo

nivel, el cual ha sido referido como “eco coclear”. La primera porción posee periodos cortos para las altas frecuencias, más que para las partes posteriores del eco.

Estas emisiones son sensibles al daño y a lesiones reversibles, de las células ciliadas. Las OEA. por productos de distorsión se pueden generar en diversas formas, los métodos más empleados utilizaron como estímulo dos tonos introducidos de manera simultánea en el canal auditivo. Las frecuencias de estos dos tonos puros se denotan como f_1 y f_2 , en donde f_2 tiene una frecuencia más alta que f_1 . Una manifestación de distorsión en un sistema es la emergencia de tonos en la respuesta o salida del sistema que no forma parte del estímulo sonoro, presente en el sistema. Estos tonos adicionales se refieren como productos de distorsión. Este tipo de O.A.E. se pueden medir en un amplio rango de niveles sonoros desde los moderados bajos a los muy altos. Aunque existe una incertidumbre considerable, acerca de si son los mismos procesos de distorsión involucrados en este rango completo de niveles sonoros, parece que las O.A.E. por productos de distorsión evocadas por un estímulo de baja intensidad es tan sensible al daño en las células ciliadas en la cóclea, como lo son las transitorias. ⁽¹⁶⁾

ANALIZADOR DE OÍDO MEDIO

La impedancia o imitancia acústica en la membrana timpánica del oído normal, cambia de modo sistemático al variar la presión aérea en el Conducto Auditivo externo por arriba o por debajo de la presión aérea ambiental. La relación normal entre los cambios de presión aérea y los cambios en la impedancia o imitancia, con frecuencia se altera en presencia de patología del oído medio. La timpanometría es la medición de la movilidad de la membrana timpánica, cuando la presión aérea en el canal externo es variada de +200 a -400 daPa. Los resultados de la timpanometría se representan en una gráfica, con la presión aérea en el eje x y la admitancia, o flexibilidad, en el eje y.

Un timpanograma normal para un adulto tiene un punto de presión pico entre -100 y +40 daPa, que sugiere que el oído medio funciona óptimamente en o cerca de la presión ambiental (0 daPa). Los timpanogramas que tienen su pico en un punto por debajo del rango aceptado de presiones normales sugiere un malfuncionamiento del sistema de ecualización de presión del oído medio. Este malfuncionamiento puede ser un resultado de disfunción de la trompa de Eustaquio, otitis media serosa temprana en resolución u otitis media aguda. Los oídos que contienen fluido detrás del tímpano están caracterizados por un timpanograma aplanado en un valor de alta impedancia o baja aceptación sin un punto de presión pico, lo que implica un sistema rígido de manera excesiva, que no permite un incremento en la transmisión de sonido a través de l oído medio bajo ningún estado de presión aérea.

La amplitud (altura) del timpanograma también proporciona información sobre la flexibilidad o elasticidad del sistema. Un oído medio rígido (p.ej., como sucede en la fijación de la cadena oscicular) se representa por una amplitud disminuida, que sugiere alta impedancia acústica o baja admitancia. Por el contrario, un oído con una impedancia acústica baja de modo anormal o admitancia alta (como en una cadena oscicular interrumpida o una membrana timpánica monomérica o hipermóvil) es revelado por un timpanograma con una amplitud muy alta.

La mayor parte de los timpanogramas se miden por medio de una sonda que emite tonos de baja frecuencia hacia el conducto auditivo externo. Las frecuencias de exploración más comúnmente utilizadas son las de 220 y 660 Hz. ⁽¹⁷⁾

AUDIÓMETRO

Al inicio del siglo pasado, la valoración con diapasones se complementó con la introducción de procedimientos electrónicos. El audiómetro se creó en el decenio de

1920. Los primeros dispositivos contenían generadores de audiofrecuencia y redes de atenuación para controlar y variar la intensidad de tonos puros y lograban transducir la señal por medio de un audífono y un vibrador, para valorar las respuestas por vías área y ósea. Luego, se incorporaron circuitos para estimular con lenguaje. Los fabricantes calibraron estos instrumentos con base en “oyentes normales”, por lo común recurriendo a su propio personal para tal fin. Se crearon cartas o representaciones gráficas – llamados audiogramas- que representaban la hipoacusia en cada frecuencia examinada. La audición normal se representó de manera gráfica como una línea recta en la porción superior. La hipoacusia en decibeles se marcó en el eje de las ordenadas, y la frecuencia en Hertz o ciclos por segundo, en el eje de las abscisas.

En 1951 la American Standards Association (ASA) adoptó como parámetro los umbrales modales para cada frecuencia del estudio realizado por el Department of Public Health (expresado como valores SPL del conector NBS 9 A). Las normas del estudio conducido por el Department of Public Health no lograron aceptación universal aun después que fueron adoptadas como el parámetro de la ASA. Con base en estudios mejor controlados, muchos investigadores aseguraban que los datos del Public Health no eran precisos y que la audición promedio normal era mejor que el estándar indicado. Explicaban que para conocer la audición normal debería obtenerse de estudios realizados bajo estrictas condiciones de laboratorio y con testigos en lugar de datos de una encuesta. Al mezclar los resultados de 15 estudios de laboratorio (aproximadamente 50% realizados en los Estados Unidos), la International Standards Organization (ISO) adoptó un parámetro diferente en 1964. En promedio, el de la ISO mostró que los niveles de audición normal eran unos 10 dB mejores que los de la ASA. En 1969, el American National Standards Institute (ANSI) adoptó uno nuevo para audición normal, el ANSI S3.6-1969, similar a los valores de ISO. Los niveles

auditivos umbrales de ANSI se consideraron más precisos y representativos del oído humano joven otológicamente normal. Los niveles umbral de ANSI son estándares de amplia aceptación en los Estados Unidos. Además de los valores de umbrales de nivel de presión sonora, el audiómetro promedio brinda otras especificaciones electroacústicas (p. ej., precisión de la frecuencia de rendimiento y linealidad del atenuador, así como tolerancias de distorsión armónica). En 1989 se revisaron los parámetros de los audiómetros, pero se conservaron los niveles umbral de audición adoptados en 1969.⁽¹⁸⁾

PRUEBAS DE CONDUCCIÓN AÉREA: AUDIOMETRÍA

La valoración precisa de la capacidad auditiva requiere un ambiente sonoamortiguado, para eliminar la contaminación por ruido ambiental, equipo audiométrico calibrado y profesionales competentes para realizar el examen. El ambiente y el equipo para realizar la prueba deben reunir los estándares operacionales, según lo especificó el American National Standards Institute, cuyos documentos S3.1-1977 (R 1986) y S3.6-1989, respectivamente, establecen los estándares publicados para ruido ambiental permisible durante pruebas audiométricas y las especificaciones para los audiómetros.

La audiometría por vía aérea consiste en la medición de los umbrales de tonos puros a frecuencias específicas para cada oído, obtenidos por medio de auriculares. Una vez obtenidos, se anotan en el audiograma en los lugares correspondientes. El término “umbral” denota el nivel mínimo en decibeles al que suele identificarse un tono. Los umbrales se establecen al emplear incrementos de 5 dB, que son lo bastante diferentes como para que los sujetos en estudio aprecien las diferencias. Estos valores umbral se describen mejor con los términos “sensibilidad auditiva” que con el de “agudeza”. Un procedimiento aceptado para obtener umbrales por vía aérea explora desde 200 hasta

8,000 Hz a intervalos de una octava. Los intervalos interoctava se exploran cuando los umbrales de octava sucesivos difieren por más de 20 dB. Los tonos puros para la vía aérea se envían al oído a través de un audífono calibrado y ajustado para su mejor respuesta frecuencial.

Mediciones de umbral

Se han creado abundantes procedimientos para medir umbrales con tonos puros por vías área y ósea. Sin embargo, la práctica contemporánea para determinación de umbrales de tonos puros casi universalmente aplica una metodología que identifica los umbrales al incrementar de manera progresiva, en intervalos ascendentes, la intensidad de los estímulos. Se instruye al paciente para que responda cada vez que escuche los tonos presentados. La respuesta se indica presionando un botón, elevando una mano o un dedo, o simplemente diciendo “sí”. Por lo común, la prueba comienza en la frecuencia de 1,000 Hz; la presentación de cada tono dura aproximadamente un segundo, y luego se separa por intervalos silentes de duración variable (un segundo o un poco más), para evitar respuestas mecánicas incorrectas. La duración tonal de un segundo es más que suficiente para la integración temporal de la intensidad sonora, y el intervalo silente entre tonos controla posible adaptación de los sujetos con lo que se afectaría la precisión al determinar el umbral.

Después de obtener la primera respuesta, la intensidad se reduce en intervalos de 10 dB hasta que no haya respuesta. Desde este punto, todas las series ascendentes de presentaciones tonales se incrementan en 5 dB. Cuando vuelve a marcarse la respuesta, el nivel de intensidad se reduce en 10 dB y se comienza una nueva serie ascendente con incrementos de 5 dB. El umbral es el mínimo nivel auditivo al que se observa respuesta más de 50% de las veces y, casi en general, es el nivel que produce una respuesta dos de

cada tres veces. Los umbrales de la vía aérea para cada oído se grafican en un audiograma empleando símbolos designados para cada tipo de medición. En general, se recomienda usar los símbolos propuestos por la American Speech-Language-Hearing Association (ASHA).⁽¹⁸⁾

POTENCIALES EVOCADOS AUDITIVOS DE ESTADO ESTABLE (PEAEE)

Los PEAEE se fundamentan en el hecho de que la aplicación de un estímulo repetitivo, genera señales repetitivas. Con la repetición de un determinado estímulo, cada una de las respuestas correspondientes se superpondrá a la siguiente, esta última a la siguiente y así sucesivamente dando lugar a una respuesta periódica. Se les denomina estables en el tiempo porque a diferencia de los Potenciales transitorios por click, que se extinguen tras un determinado período de tiempo, esta respuesta se mantendrá en el tiempo así como lo haga el estímulo que la provoca.⁽¹⁹⁾ Las respuestas de los potenciales de estado estable que se obtienen en el rango de frecuencias entre 80 – 110 Hz son generadas probablemente por la superposición de los Potenciales Evocados Auditivos de Tallo Cerebral y por tanto, es poco afectada por el sueño y la sedación. Esto le confiere un gran valor como instrumento de exploración audiométrica ya que no se requiere la cooperación del sujeto y puede ser registrada con facilidad en niños pequeños.

La técnica de múltiples frecuencias (MF) se basa en lo siguiente: por las propiedades de rectificación de la cóclea, la respuesta de estado estable que se genera por un tono continuo modulado en amplitud, se detecta como un pico espectral a la frecuencia de modulación. Si en lugar de utilizar un solo tono modulado, se estimula con una señal acústica más compleja, en la cual se suman múltiples tonos modulados, la respuesta generada quedaría en este caso representada como una serie de picos en el espectro (uno

por cada una de las frecuencias de modulación utilizadas). Con esta metodología (siempre que se utilicen frecuencias de modulación diferentes para cada tono y para cada oído) se pueden explorar simultáneamente varias regiones de la cóclea y ambos oídos. De esta manera, se reduce considerablemente el tiempo de exploración ya que se realiza una audiometría completa detallada por frecuencia con sólo un registro por cada intensidad de estimulación.

Como los PEAAE son respuestas periódicas de tipo sinusoidal, pueden ser fácilmente analizados en el dominio de la frecuencia. El problema de la detección de la señal se reduce a determinar si las componentes espectrales correspondientes a cada uno de los estímulos tonales utilizados (que aparecen con las frecuencias de modulación correspondientes) son significativamente diferentes del ruido. Para esto, se utiliza un indicador estadístico que evalúa en cada una de las frecuencias de interés si la componente espectral correspondiente a la respuesta es diferente del ruido. Con esta técnica se observa una menor diferencia entre el umbral conductual y el umbral electrofisiológico en sujetos con pérdida auditiva. Una posible explicación es que esto pudiera estar relacionada con el fenómeno de reclutamiento (para un sonido de intensidad determinada el oído percibe más de lo que debería percibir con relación a su umbral mínimo). La respuesta fisiológica presenta un mayor aumento en la amplitud por incremento de la intensidad, cuando existe una pérdida auditiva con reclutamiento, lo que puede hacer que la respuesta reconocible está cerca de la intensidad umbral.

Otra explicación podría ser que en el caso de los hipoacúsicos, por tener estos umbrales más altos no se haría efectivo el enmascaramiento producido por el ruido acústico. (20 -

25)

Por la posibilidad que nos brindan los PEAAE, de utilizar indicadores estadísticos para la detección de la respuesta, ésta técnica permite una mayor objetividad ya que la

detección de la respuesta se hace automática. Esto la hace superior a otros procedimientos electroaudiométricos que requieren mayor pericia por parte del especialista.

Con fines audiométricos, las técnicas de estado estable tienen las siguientes ventajas sobre los PEATC obtenidos por clicks:

Los PEAE permiten el uso de estímulos de estado estable tales como los tonos continuos con una amplitud modulada sinusoidalmente. Tienen un contenido espectral más circunscrito, con un primer pico a nivel de la frecuencia portadora, otro a la frecuencia portadora más la frecuencia de modulación, y un tercero a la frecuencia portadora menos la frecuencia de modulación.

Estas características de los tonos modulados los convierten en estímulos más específicos en frecuencia que los clicks utilizados para los registros de PEATC.

El click produce una activación amplia de toda la membrana basilar, pero se conoce que la respuesta deriva fundamentalmente de la región basal de la cóclea donde se codifican las frecuencias agudas (2 – 3 KHz). Así, con una exploración mediante PEATC por clicks, no se puede estimar un audiograma detallado por frecuencias.

Por la periodicidad de las respuestas de estado estable, éstas son fácilmente llevadas del dominio del tiempo al dominio de frecuencia, lo que permite que las mediciones de la amplitud y la fase de la respuesta, sean muy simples usando una determinada frecuencia de estimulación.

Cuando se utilizan frecuencias de estimulación entre 80 y 100 Hz, la respuesta se origina por superposición de los potenciales de latencia corta (PEATC). Los PEATC por clicks están compuestos por componentes rápidos (ondas I a V) y un componente lento que contiene una onda vértex positiva con latencia igual a la de la onda V, seguida de una lenta negatividad (SN10) con un pico entre los 10 – 12 milisegundos. La energía

principal en este componente lento está alrededor de los 100 Hz. Cuando los estímulos son presentados con una frecuencia de estimulación entre 80 – 100 Hz, estas ondas pueden superponerse para dar una respuesta periódica como los PEAAE.

Tanto en la audiometría con PEAAE como en la audiometría tonal, se ha obtenido un umbral auditivo ligeramente mayor en la frecuencia de 500 Hz que en el resto de las frecuencias.

Podemos destacar que la técnica de potenciales evocados de estado estable utilizando estímulos tonales de múltiples frecuencias, modulados en amplitud en el rango entre 80 y 110 Hz permite una adecuada caracterización de los umbrales por frecuencias, tanto en sujetos audiológicamente sanos como en niños con pérdidas auditivas. Por esta razón, se pueden considerar como una herramienta electroaudiométrica confiable y de gran utilidad clínica. ⁽⁵⁾

OBJETIVOS

GENERAL

Determinar si los PEAAE proporcionan información confiable acerca de los valores audiométricos entre las frecuencias de 500 Hz – 4000 Hz en niños

ESPECÍFICOS

Determinar la diferencia que existe entre los umbrales obtenidos por medio de la audiometría tonal con los que se obtienen por medio de los PEAAE en cada una de las frecuencias del rango 500 Hz – 4000 Hz, en niños de 4 a 9 años.

Determinar la confiabilidad de los PEAAE como método diagnóstico en sujetos normooyentes sin patología de oído medio en niños de 4 a 9 años, para posteriormente valorar la posibilidad de utilizar dicho método en aquellos pacientes en los que por diversos motivos, es imposible obtener umbrales auditivos confiables por medio de la audiometría tonal.

HIPÓTESIS

Los PEAAE permiten la obtención de umbrales auditivos estimados en el rango de frecuencias de 0.5-4.0 kHz en niños cuya confiabilidad puede correlacionarse con los umbrales que se obtienen en la audiometría tonal tradicional.

MATERIAL Y MÉTODOS

Otoscopio Whech Alyn

Analizador de oído medio. GSI TymStar Versión 2 con audífono de inserción ips

Cabina sonoamortiguada

Audiómetro OB822 Clinical Audiometer

Computadora Laptop Acer con programa de PEAAE

Equipo de PEAAE Audera.

Sujetos: Niños 20 de 4 a 9 años sin patología de oído medio o patología de oído interno, con o sin trastornos del lenguaje, sin déficit mental.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Niños de 4 a 9 años de edad, con audición normal confirmada mediante audiometría tonal.

Ausencia de antecedentes de patología previa de oído medio y/o patología de oído interno.

Con o sin trastornos en el desarrollo del lenguaje.

Rendimiento intelectual normal.

CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Niños de 4 a 9 años de edad, con hipoacusia confirmada mediante audiometría tonal

Patología de oído medio y/o patología de oído interno.

Déficit mental y/u otra patología que pudiera intervenir con los resultados.

Pacientes que no estén de acuerdo con participar en el estudio.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y RESULTADOS

Statistics

edad

N	Valid	20
	Missing	0
Mean		6.4000
Median		6.0000
Mode		5.00(a)
Range		5.00
Minimum		4.00
Maximum		9.00
Sum		128.00

a Multiple modes exist. The smallest value is shown

edad

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	4.00	3	15.0	15.0	15.0
	5.00	4	20.0	20.0	35.0
	6.00	4	20.0	20.0	55.0
	7.00	3	15.0	15.0	70.0
	8.00	3	15.0	15.0	85.0
	9.00	3	15.0	15.0	100.0
	Total		20	100.0	100.0

Statistics

sexo

N	Valid	20
	Missing	0
Mean		1.4000
Median		1.0000
Mode		1.00
Range		1.00
Minimum		1.00
Maximum		2.00
Sum		28.00

sexo

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	1.00	12	60.0	60.0	60.0
	2.00	8	40.0	40.0	100.0
Total		20	100.0	100.0	

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
AUDIO500Hz	20	13.7500	5.09773	1.13989
PEAEE500hZ	20	15.7500	16.40563	3.66841
AUDIO1kZ	20	11.2500	6.25658	1.39901
PEAEE1Kz	20	21.7500	12.27696	2.74521
AUDIO2Kz	20	10.5000	6.26183	1.40019
PEAEE2KZ	20	22.7500	16.66031	3.72536
PEAEE4Kz	20	17.2500	14.90982	3.33394

One-Sample Test

	Test Value = 0					
	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
AUDIO500Hz	12.063	19	.000	13.75000	11.3642	16.1358
PEAEE500hZ	4.293	19	.000	15.75000	8.0719	23.4281
AUDIO1kZ	8.041	19	.000	11.25000	8.3218	14.1782
PEAEE1Kz	7.923	19	.000	21.75000	16.0042	27.4958
AUDIO2Kz	7.499	19	.000	10.50000	7.5694	13.4306
PEAEE2KZ	6.107	19	.000	22.75000	14.9527	30.5473
PEAEE4Kz	5.174	19	.000	17.25000	10.2720	24.2280

Statistics

	AUDIO 500Hz	PEAEE 500hZ	AUDIO 1kZ	PEAEE 1Kz	AUDIO 2Kz	PEAEE 2KZ	AUDIO 4Kz	PEAEE 4Kz
N Valid	20	20	20	20	20	20	20	20
Missing	0	0	0	0	0	0	0	0
Mean	13.7500	15.7500	11.2500	21.7500	10.500	22.7500	12.250	17.2500
Median	15.0000	15.0000	12.5000	25.0000	10.000	22.5000	10.000	15.0000
Mode	10.00	-5.00	15.00	25.00	10.00	15.00	10.00	20.00
Range	15.00	55.00	20.00	50.00	25.00	65.00	15.00	55.00
Minimum	5.00	-5.00	.00	.00	-5.00	-10.00	5.00	-5.00
Maximum	20.00	50.00	20.00	50.00	20.00	55.00	20.00	50.00
Sum	275.00	315.00	225.00	435.00	210.00	455.00	245.00	345.00

AUDIOMETRÍA 500Hz

	Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid 5.00	2	10.0	10.0	10.0
10.00	7	35.0	35.0	45.0
15.00	5	25.0	25.0	70.0
20.00	6	30.0	30.0	100.0
Total	20	100.0	100.0	

PEAEE 500hZ

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-5.00	4	20.0	20.0	20.0
	5.00	2	10.0	10.0	30.0
	10.00	3	15.0	15.0	45.0
	15.00	3	15.0	15.0	60.0
	20.00	3	15.0	15.0	75.0
	25.00	1	5.0	5.0	80.0
	30.00	1	5.0	5.0	85.0
	35.00	1	5.0	5.0	90.0
	50.00	2	10.0	10.0	100.0
	Total	20	100.0	100.0	

AUDIOMETRÍAMETRÍA 1kZ

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	.00	2	10.0	10.0	10.0
	5.00	4	20.0	20.0	30.0
	10.00	4	20.0	20.0	50.0
	15.00	7	35.0	35.0	85.0
	20.00	3	15.0	15.0	100.0
	Total	20	100.0	100.0	

PEAEE 1Kz

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	.00	1	5.0	5.0	5.0
	5.00	2	10.0	10.0	15.0
	10.00	1	5.0	5.0	20.0
	15.00	3	15.0	15.0	35.0
	20.00	2	10.0	10.0	45.0
	25.00	7	35.0	35.0	80.0
	30.00	2	10.0	10.0	90.0
	45.00	1	5.0	5.0	95.0
	50.00	1	5.0	5.0	100.0
	Total	20	100.0	100.0	

AUDIOMETRÍAMETRÍA 2Kz

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-5.00	1	5.0	5.0	5.0
	5.00	5	25.0	25.0	30.0
	10.00	7	35.0	35.0	65.0
	15.00	4	20.0	20.0	85.0
	20.00	3	15.0	15.0	100.0
	Total	20	100.0	100.0	

PEAEE 2KZ

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-10.00	1	5.0	5.0	5.0
	-5.00	1	5.0	5.0	10.0
	.00	1	5.0	5.0	15.0
	15.00	5	25.0	25.0	40.0
	20.00	2	10.0	10.0	50.0
	25.00	4	20.0	20.0	70.0
	35.00	1	5.0	5.0	75.0
	40.00	3	15.0	15.0	90.0
	45.00	1	5.0	5.0	95.0
	55.00	1	5.0	5.0	100.0
	Total	20	100.0	100.0	

AUDIOMETRÍA 4Kz

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	5.00	1	5.0	5.0	5.0
	10.00	10	50.0	50.0	55.0
	15.00	8	40.0	40.0	95.0
	20.00	1	5.0	5.0	100.0
	Total	20	100.0	100.0	

PEAEE 4Kz

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	-5.00	1	5.0	5.0	5.0
	.00	2	10.0	10.0	15.0
	5.00	3	15.0	15.0	30.0
	10.00	2	10.0	10.0	40.0
	15.00	3	15.0	15.0	55.0
	20.00	4	20.0	20.0	75.0
	25.00	1	5.0	5.0	80.0
	35.00	2	10.0	10.0	90.0
	45.00	1	5.0	5.0	95.0
	50.00	1	5.0	5.0	100.0
	Total	20	100.0	100.0	

PRUEBA DE WILCOXON

Test Statistics(b)

	PEAEE500hZ - AUDIO500Hz	PEAEE1Kz - AUDIO1kZ	PEAEE2KZ - AUDIO2Kz	PEAEE4Kz - AUDIO4Kz
Z	-.469(a)	-3.302(a)	-2.795(a)	-1.221(a)
Asymp. Sig. (2-tailed)	.639	.001	.005	.222

a Based on negative ranks.

b Wilcoxon Signed Ranks Test

PRUEBA DE SIGNO

Test Statistics(b)

	PEAEE500hZ - AUDIOMETRÍA 500Hz	PEAEE1Kz - AUDIOMETRÍA A1kZ	PEAEE2Kz - AUDIOMETRÍA A2Kz	PEAEE4Kz - AUDIOMETRÍA A4Kz
Exact Sig. (2-tailed)	.804(a)	.000(a)	.008(a)	.210(a)

a Binomial distribution used.

b Sign Test

Se procesaron los datos relativos a los umbrales obtenidos mediante ambas técnicas, en 20 niños de los cuales 12 (60%) fueron niñas y 8 (40%) fueron niños.

Al realizar la prueba de “T” no se observó diferencia estadística significativa en todas las frecuencias analizadas, sin embargo si existe diferencia estadística significativa en las frecuencias de 1 y 2 Kz en la Prueba de Signo. Mediante el análisis de los resultados se observa una clara tendencia a mostrar niveles de audición mayormente mejores en la prueba de PEAEE en comparación con los umbrales auditivos obtenidos en la Audiometría Tonal, en especial en las frecuencias de 500 Hz y 1 Kz.

Se observó una mejor correlación de los umbrales auditivos entre ambas técnicas en las frecuencias de 1 Kz y 2 Kz, siendo la frecuencia de 4 Kz la que tuvo respuestas más variables.

CONCLUSIONES

A diferencia de los estudios anteriormente publicados, en el presente estudio se observan valores auditivos semejantes en ambas pruebas; incluso en los PEAAE en ocasiones se llegaron a observar mejores umbrales auditivos en comparación con la Audiometría Tonal, lo cual nos indica la posibilidad de llegar a utilizar los PEAAE como método de medición de los umbrales auditivos en pacientes en quienes nos veríamos imposibilitados para realizar una Audiometría Tonal por factores adversos a las circunstancias.

DISCUSIÓN

Este trabajo ofrece los resultados obtenidos por la utilización de una nueva técnica para la cual existen escasos estudios que la validen en la determinación de umbrales auditivos. Son asimismo escasos los trabajos que hayan realizado una validación de esta técnica mediante la valoración de las relaciones de umbrales PEAAe-ATL bajo unas condiciones homogéneas a las de éste, existiendo algunos otros que utilizan sistemáticas similares, pero mediante la estimulación binaural.

Debido a las limitaciones propias del servicio y a lo limitado de la prueba, es posible que se hayan visto afectados los resultados y debido a ello se vea favorecido el estudio por medio de PEAAE, por lo cual sugerimos un estudio más amplio para confirmar o descartar estos resultados, ya que de confirmarlos serían de gran ayuda para su aplicación en la especialidad y se verían beneficiados los pacientes.

BILBIOGRAFÍA

1. Audiología práctica año5ª Edición. Editorial Panamericana. Gonzalo de Sebastián;
2. www.rhin.org/document_view.aspx.
3. www.INEGI.com.mx
4. Berruecos VP (2000): Cochlear Implants: An International perspective. Latin American countries and Spain. Audiology, 39: 221-225.
5. P. Martínez-Beneito, A. Morant Ventura, M. I. Pitarch Ribas, F. J. García Callejo, J. Marco Algarra. (2002) Potenciales Evocados Auditivos de Estado Estable a Multifrecuencia como Técnica de Determinación de umbrales Auditivos. Acta ORL Esp. ; 53: 707-717.
6. El impacto de la sordera en la familia. David Luterman. Servicio de Atención y Apoyo a Familias. Resource_Guide_Apendices _Spanish.
7. Audiología práctica año5ª Edición. Editorial Panamericana. Gonzalo de Sebastián; 5-24.
8. Stevens. Manuales de Medicina año. La audición y el cerebro. Secretaría de Salud. Reimpresión 15 de agosto del 2000: 45-51.
9. Fawcet DW (1989): Tratado de Histología 11ª Edición, Editorial Interamericana/Mcgraw-Hill, México; 969-994.
10. Quiroz GF (1991) Anatomía Humana. 1ª Edición, Tomo III, Editorial Porrúa, México. : 446-501
11. Jahn A. Santos J (1988): . Physiology of the ear. 1ª Edición, Editorial Raven Press, New York. : 59-102.
12. Murray R. Mayes P. Granner D. Bioquímica de Harper, 12a Edición, Editorial Manual Moderno, 1992: 446-463.

13. Berlin I. C. (1999) The Efferent Auditory System, Basic Science and Clinical Applications, 1ª Edición, Editorial Singular Publishing Group Inc, San Diego. London,: 1-52.
14. Valadez RJ. (2002): Neuroanatomía Funcional. 1a Edición, ediciones de Neurociencias, México, 305-337.
15. Temas Básicos de Audiología. Aspectos médicos. Editorial Trillas. Adrián Poblano. Compilador. Capítulo 3 Anatomía y fisiología de la vía auditiva. 105-123.
16. Fundamentos de Audiología. Editorial Manual Moderno. p. 72, 100-102.
17. Clínicas Otorrinolaringológicas de Norteamérica. Audiología Clínica. 2/1991. Editorial Interamericana McGraw-Hill. 246-251.
18. www.OMS.com
19. The Auditory Steady-State Response: Clinical Observations and Applications in Infants and Children. Journal of the American Academy of Audiology. Vol. 13. April and May 2002: 270-281.
20. Estimating the Audiogram Using Multiple Auditory Steady-State Responses. añoJournal of the American Academy of Audiology. Vol. 13. April and May 2002: 205-222.
21. The Auditory Steady-State Response: Comparisons with the Auditory Brainstem Response. Journal of the American Academy of Audiology. Vol. 13. April and May 2002: 173-186.
22. Auditory Sensitivity in Children Using the Auditory Steady-State Response. Arch Otolaryngol Head Neck Surg. Vol. 130, May 2004: 536-539.
23. Auditory steady-state response testing in children: Evaluation of a new technology. Otolaryngology-Head and Neck Surgery. July 2003: 107-113.

24. Auditory steady-state responses (ASSR): effects of modulation and carrier frequencies. *International Journal of Audiology* 2005; 44: 567-573.
25. *Fundamentos de Audiología*. Editorial Manual Moderno. p. 145-148.