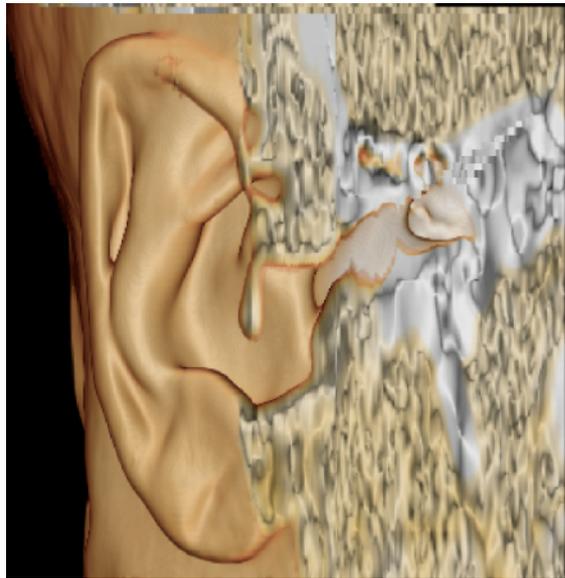


UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Facultad de Medicina

Departamento de Anatomía e Histología Humanas

Tesis doctoral



**VALORACIÓN ANATOMORRADIOLÓGICA
DE LA VÍA AUDITIVA CON DIVERSAS
TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN**

Ignacio Martín García

2013



VNIVERSIDAD
D SALAMANCA

D. Juan Antonio Juanes Méndez, Doctor en Medicina y Cirugía, Profesor titular del Departamento de Anatomía e Histología Humanas, de la Universidad de Salamanca y **D. Juan Carlos Paniagua Escudero**, Doctor en Medicina y Cirugía, Profesor asociado del departamento de Física, Ingeniería y Radiología Médica de la Universidad de Salamanca

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**VALORACIÓN ANATOMORRADIOLÓGICA DE LA VÍA AUDITIVA CON DIVERSAS TÉCNICAS DE NEUROIMÁGEN**”, ha sido realizado por **D. Ignacio Martín García**, bajo nuestra dirección, reuniendo, a nuestro juicio, los requisitos y méritos suficientes para que el autor del mismo, pueda optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca.

Y para que así conste, firmamos la presente certificación en Salamanca a catorce de mayo de dos mil trece.

F^{do}: Juan Antonio Juanes Méndez

F^{do}: Juan Carlos Paniagua Escudero

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría empezar este trabajo con mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que lo han hecho posible y que sabéis que es tan vuestro como mío. Muchas gracias.

Quiero empezar agradeciendo a mis directores el Dr. Juan Antonio Juanes Méndez y al Dr. Juan Carlos Paniagua Escudero su tiempo, su entusiasmo y orientación, sin cuya ayuda no hubiera sido posible este trabajo.

En segundo lugar al Dr. José Miguel Alonso Sánchez y al Dr. Manuel Ángel Martín Pérez por su apoyo incondicional en los momentos más duros y por motivar a un joven radiólogo para no dejar de investigar. Gracias a ellos por enseñarme a afrontar las situaciones cotidianas con su gran profesionalidad y capacidad. Mentalidades como las suyas son un auténtico ejemplo para los que nos iniciamos en el diagnóstico por la imagen.

Al Servicio de Radiodiagnóstico del Hospital de Zamora, especialmente al Dr. José Martín Marín Balbín, por su capacidad docente, motivación e insistencia para llevar a buen puerto este trabajo. Gracias a todo el Servicio por haberme dado la oportunidad de formarme como médico.

Al profesor Alberto Prats de la Universidad de Barcelona, por las imágenes de RM de 7 Teslas.

Doy las gracias a mi familia, especialmente padres y hermana, por todo lo que me han enseñado para ser la persona que soy y por la gran paciencia que han demostrado conmigo.

Finalmente, aunque no menos importante, a Rosario, muchas gracias. No te digo nada porque lo sabes todo. Te quiero más.

*La ley del equilibrio
es la ley de la felicidad.
Se puede sacrificar todo
menos el equilibrio.*

(Yogi Bñajan)

ÍNDICE

| | |
|---|------------|
| 1. Agradecimientos | |
| 2. Prólogo..... | 11 |
| 3. Introducción..... | 13 |
| 3.1 Embriología del oído | 15 |
| 3.1.1 Oído externo..... | 16 |
| 3.1.2 Oído medio..... | 17 |
| 3.1.3 Oído interno | 20 |
| 3.2 Anatomía y fisiología de la vía auditiva..... | 24 |
| 3.2.1 El sonido | 24 |
| 3.2.2 El hueso temporal | 27 |
| 3.2.3 Oído externo..... | 34 |
| 3.2.4 Oído medio..... | 36 |
| 3.2.5 Oído interno | 47 |
| 3.2.6 Vía auditiva aferente | 53 |
| 3.2.7 Vía auditiva eferente | 71 |
| 3.3 Técnicas de diagnóstico por imagen para el estudio del hueso temporal y la vía auditiva | 75 |
| 3.3.1 Radiografía simple..... | 75 |
| 3.3.2 Tomografía computarizada | 76 |
| 3.3.2.1 Angio TC | 79 |
| 3.3.3 Resonancia magnética..... | 80 |
| 3.3.3.1 Angio RM | 84 |
| 3.3.3.2 Tensor de difusión..... | 86 |
| 3.3.3.3 Resonancia magnética funcional (RMf) | 88 |
| 3.4 Aspectos patológicos de la vía auditiva..... | 91 |
| 4. Planteamiento del trabajo | 99 |
| 5. Material y métodos..... | 109 |

| | |
|--|------------|
| 6. Resultados | 125 |
| 6.1 Hueso temporal..... | 128 |
| 6.2 Vía auditiva..... | 134 |
| 6.2.1 Oído externo..... | 134 |
| 6.2.2 Oído medio..... | 143 |
| 6.2.3 Oído interno | 162 |
| 6.2.4 Vía auditiva aferente | 194 |
| 6.3 Patología más frecuente de la vía auditiva | 201 |
| 6.3.1 Anomalías congénitas | 201 |
| 6.3.2 Lesiones inflamatorias | 203 |
| 6.3.3 Fracturas de peñasco | 205 |
| 6.3.4 Lesiones neoplásicas | 207 |
| 6.3.5 Alteraciones vasculares..... | 215 |
| 7. Discusión | 221 |
| 8. Conclusiones | 237 |
| 9. Bibliografía | 241 |

PRÓLOGO

El sentido de la audición es esencial para el ser humano en su relación con el entorno y, es el resultado de la actividad secuencial de una serie de estructuras anatómicas complejas que se caracterizan por estar intrincadas, fundamentalmente, en el interior del hueso temporal, lo que dificulta su estudio.

Hay que mencionar la importante conexión que existe entre la especialidad de Radiodiagnóstico y la Anatomía Humana, ya que para llegar a un adecuado diagnóstico por imagen es necesario conocer la anatomía humana y el anatomista necesita conocer la anatomía radiológica, fundamentalmente, como complemento docente. Ello resalta la importancia de realizar estudios anatomorradiológicos.

El desarrollo de las técnicas de imagen, fundamentalmente a partir de los años 80, ha permitido una gran evolución en el campo del diagnóstico por la imagen, beneficiando por ende a todas y cada una de las especialidades médico-quirúrgicas. Este desarrollo ha provocado una mayor especialización y subespecialización de todos los campos de la medicina.

La rápida evolución en el campo del diagnóstico por la imagen nos obliga a un constante reciclaje, no solo del especialista en diagnóstico por imagen, sino también de los diferentes especialistas, ya que el enfoque terapéutico también se ha ido modificando. Todo esto, va encaminado a reducir la morbi-mortalidad de los pacientes ya que las diferentes pruebas de neuroimagen van a permitir tomar en cada momento la decisión más adecuada en cada caso.

En el campo de la neurorradiología el desarrollo más importante se produce en el campo de la resonancia magnética. Sobre todo con la capacidad de adquisición de imágenes con cortes más finos, menor tiempo de exploración, nuevas secuencias y aplicaciones, así como la posibilidad de modificar dichas imágenes en una estación de trabajo obteniendo imágenes en 3D.

El trabajo que presentamos para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca, tiene por objeto el estudio detallado de los elementos de la vía auditiva combinando el empleo de diversas técnicas de neuroimagen, fundamentalmente, la tomografía computarizada multidetector y la resonancia magnética.

En la actualidad, el uso constante y obligatorio de las técnicas de imagen hace que el nivel de exigencia de la calidad en el trabajo del radiólogo se haya incrementado, por lo que no nos queda otro camino que manejar adecuadamente todas las herramientas a nuestro alcance y actualizar constantemente nuestros conocimientos para llevar a cabo nuestro trabajo de la mejor manera posible.

El diagnóstico por imagen es una especialidad en constante evolución, por lo que en un futuro, las aplicaciones y herramientas mejorarán para aportarnos una mayor información sobre los diferentes elementos de la vía auditiva.

INTRODUCCIÓN

3. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la anatomía normal del oído así como su desarrollo embrionario es necesario para la adecuada interpretación, mediante imagen, de las variantes anatómicas y patologías que afectan a las diferentes partes del oído.

Nuestro trabajo se centra en el estudio morfológico de la anatomía normal de cada una de las partes del oído, mediante técnicas de neuroimagen como: la tomografía computarizada multidetector (TCMD) y la resonancia magnética (RM). Describiremos las estructuras más visibles y las más afectas por la patología más frecuente. Por lo tanto iniciaremos nuestro trabajo de tesis doctoral, realizando una descripción de los aspectos embrionarios y anatómicos más relevantes para comprender mejor nuestro estudio.

3.1 EMBRIOLOGÍA DEL OÍDO

El sentido del oído tiene su origen en un organismo acuático ancestral, hace 350 millones de años, con la formación de una pequeña vesícula que contenía líquido y estaba situada en cada lado de la cabeza y le servía para orientarse en el mar a través de las vibraciones de baja frecuencia.

Con la evolución, y la aparición de criaturas terrestres, dicho sentido evolucionó para que las nuevas criaturas pudieran oír y, por tanto, mejorar así su supervivencia. La conexión entre el medio externo y el oído interno se estableció con la aparición del oído medio y la evolución del oído externo. Paralelamente se fue especializando la porción correspondiente a la vía auditiva en el oído interno.

El desarrollo embrionario del oído es un proceso anatómicamente complejo y con varios estadios. Las estructuras del oído externo se originan a partir del primer y segundo arcos branquiales entre la 6ª y 12ª semanas intraútero. La membrana timpánica deriva de las tres capas celulares (ectodermo, mesodermo y endodermo).

La cadena osicular y sus ligamentos derivan del primero y segundo arcos branquiales. La porción membranosa del oído interno se origina del neuroectodermo en la 4ª semana de gestación originándose la placoda ótica, que será la precursora del utrículo, canales semicirculares, conducto coclear y sáculo. Entre la 4ª y la 8ª semana de gestación se origina el laberinto óseo.

El conocimiento del desarrollo embrionario permite entender las anomalías congénitas, malformaciones, variantes anatómicas y la situación normal de los diferentes elementos del oído.

El desarrollo embrionario del oído se divide, principalmente, en tres partes: oído externo, oído medio y oído interno (SOM y CURTIN, 2004; LANGMAN y SADLER, 2008; PHILLIPS y cols., 2012).

3.1.1 OÍDO EXTERNO

El conducto auditivo externo, deriva del meato auditivo externo, que se origina a partir de la porción dorsal de la primera hendidura branquial, durante la 4ª semana de gestación. Durante su desarrollo se dirige hacia la cavidad timpánica, que deriva de la primera bolsa faríngea (receso tubotimpánico), estas invaginaciones al entrar en contacto originan la membrana timpánica. El conducto auditivo externo queda configurado totalmente hacia la 26ª semana de gestación.

El pabellón auricular se origina a partir de seis protuberancias del primero y segundo arcos branquiales, tres a cada lado de la primera hendidura faríngea, que se fusionarán para ir conformando los diferentes componentes del pabellón auricular (trago, concha, hélix, antihélix y antitrigo) (fig.1) (KARMODY y ANNINI, 1995; LANGMAN y SADLER, 2008).

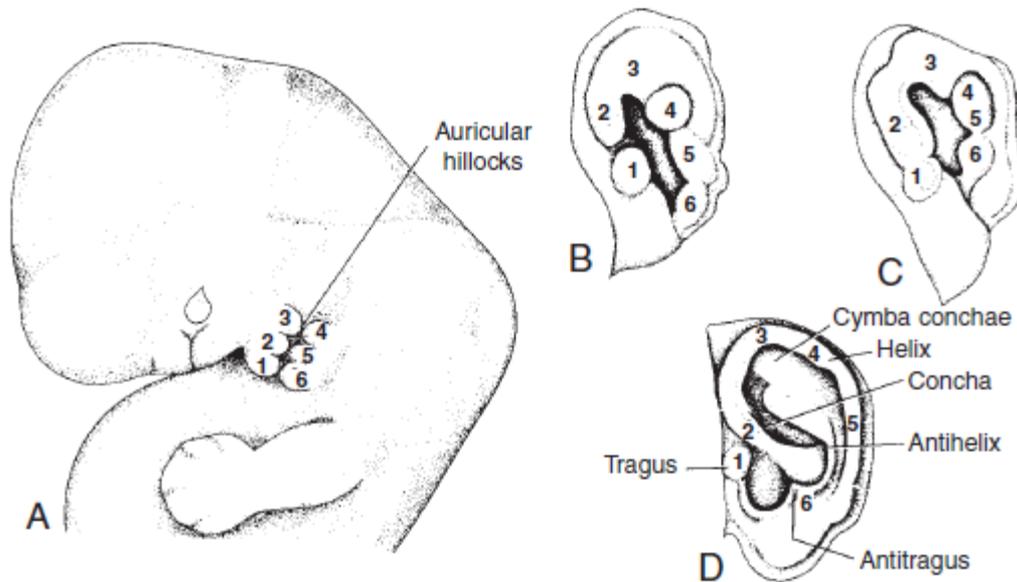


Fig. 1. Desarrollo del pabellón auditivo a partir de las seis protuberancias que se originan a cada lado de la primera hendidura faríngea (Esquema tomado de Langman J y Sadler TW. Embriología médica. 10ª ed. Buenos Aires: Panamericana, 2008).

3.1.2 OÍDO MEDIO

La trompa de Eustaquio y la caja timpánica se originan a partir de la primera bolsa faríngea (endodermo o receso tubotimpánico). La porción dorsal final de la bolsa originará la trompa de Eustaquio y, lateralmente, la caja timpánica. (ANSON y DAVID, 1980; NEMZEK y cols., 1996).

La primera bolsa faríngea origina cuatro formaciones saculares, entre la 10ª y 30ª semana de gestación, para formar propiamente la caja timpánica, dichas formaciones saculares son: el saccus anticus, el saccus posticus, el saccus superior (escamoso) y el saccus medius. El saccus medius es especialmente importante porque origina gran parte del epitímpano, antro y celdillas mastoideas, esta formado por tres pequeños sáculos, el más medial origina el espacio de Prussak. A veces la porción anterior del epitímpano está formada por el saccus anticus, cuando esto ocurre, el anterior y posterior epitímpano no comunican. El saccus superior se encuentra entre el mango del martillo y el yunque y es responsable de la neumatización de la porción escamosa del

temporal. El saccus posticus forma los recesos y crestas del mesotímpano posterior.

El primer y el segundo arco branquial van a originar la cadena de huesecillos, ligamentos suspensorios y músculos. El primer arco (cartílago de Meckel) forma la cabeza del martillo, el músculo tensor del tímpano y el cuerpo y parte del yunque (SWARTZ y cols., 1986). El segundo arco branquial (cartílago de Reichert) es el origen del resto de la cadena osicular incluido el músculo del estribo. Otras estructuras que se originan a partir del segundo arco son el cóndilo mandibular, el estiloides y el canal del facial. La pletina del estribo tiene dos capas; la porción timpánica, que deriva del segundo arco branquial y la porción vestibular (ligamento anular), que deriva de la cápsula ótica. (SWARTZ y FAERBER, 1985).

Los osículos se forman simultáneamente con el desarrollo y diferenciación del resto de estructuras del oído medio. Cada hueso osifica a partir de un centro de osificación, el yunque a partir de la 16ª y media semana y el estribo en la 18ª semana. Los osículos se forman por osificación endondral, que persiste el resto de la vida. El martillo y el yunque se mantienen más o menos invariables durante la vida del individuo. El estribo puede sufrir erosiones y pérdida de sustancia para luego osificar, es el huesecillo más lábil puesto que a lo largo de la vida puede sufrir dehiscencias y estrechamientos.

Mientras la cadena de huesecillos se va diferenciando, el tejido mesenquimal de la caja timpánica se vuelve menos denso y celular haciéndose mucosoide para, finalmente, quedar un epitelio endodérmico que recubre la caja timpánica. La membrana timpánica y su anillo se forman hacia la 18ª semana de gestación, y está formada por las tres capas celulares. La capa de ectodermo se origina a partir de la invaginación de la primera hendidura branquial. La mucosa del oído medio se forma del endodermo a partir del desarrollo de la primera bolsa

faríngea. La capa fibrosa medial deriva del mesodermo que se interpone entre la primera hendidura faríngea y la primera bolsa faríngea (fig.2).

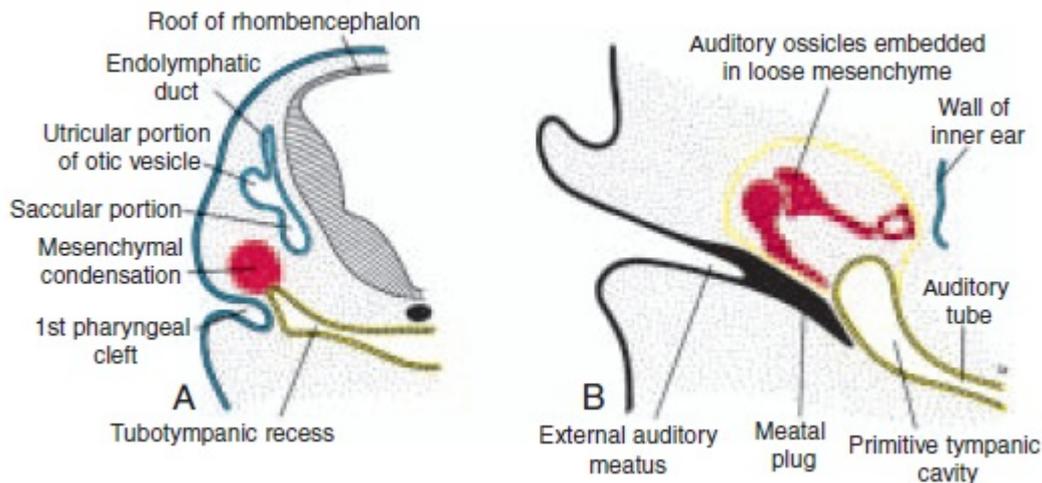


Fig. 2. Sección transversal de un embrión de 7 semanas, mostrando la formación del receso tubotimpánico, la primera hendidura faríngea y el tejido mesenquimal que originará la cadena de huesecillos (Esquema tomado de Langman J y Sadler TW. Embriología médica. 10ª ed. Buenos Aires: Panamericana, 2008).

El anillo timpánico se forma a partir de cuatro centros de osificación y sirve de soporte para la membrana timpánica, queda completamente formado sobre la 15ª semana de gestación (fig. 3).

A partir de la 30ª semana se completa la neumatización del tímpano. La neumatización del antro mastoideo le sigue y progresa rápidamente entre las semanas 34ª y 35ª, pero el epitímpano no se completa hasta el último mes de vida fetal. El empleo del término neumatización no implica la ocupación de aire en estos compartimentos sino que hace referencia a la eliminación de elementos mesenquimales que ocupan la caja timpánica (SOM y CURTIN, 2004; LANGMAN y SADLER, 2008).

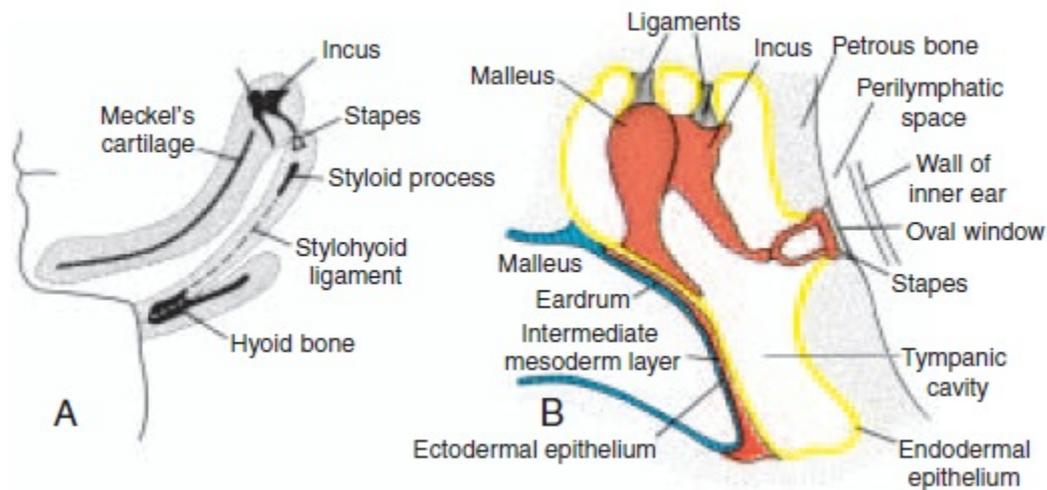


Fig. 3. A. Estructuras que derivan de los tres primeros arcos branquiales. **B.** Oído medio mostrando el mango del martillo embebido entre las tres capas de la membrana timpánica, el estribo contacta con la ventana oval, la cavidad timpánica está recubierta por tejido endodérmico (Esquema tomado de Langman J y Sadler TW. Embriología médica. 10ª ed. Buenos Aires: Panamericana, 2008).

3.1.3 OÍDO INTERNO

El desarrollo del oído interno tiene tres fases principales: (1) desarrollo (3ª a 11ª semana), (2) crecimiento (11ª a 16ª semana) y (3) osificación (16ª a 24ª semana). El desarrollo del epitelio en el laberinto membranoso ocurre simultáneamente en la fase de crecimiento y osificación.

Es necesario considerar tres estructuras en el desarrollo del oído interno: (1) laberinto endolinfático, (2) laberinto perilinfático y (3) laberinto óseo.

El laberinto endolinfático se inicia con la formación de un engrosamiento de la superficie del neuroectodermo entre la primera hendidura faríngea y el rombencéfalo, originando así la placoda ótica, existen una a cada lado del embrión. Cada placoda se invagina y hunde formando una hendidura (fosita auditiva) en la que progresivamente se van juntando sus bordes superiores para dar lugar a la vesícula ótica (fig. 4 y fig. 5).

La vesícula ótica se dispone rostralmente al primordio facio-acústico que será el precursor del séptimo y octavo nervios craneales, para luego migrar hacia la base del cráneo. La vesícula ótica se va a ir elongando para originar dos partes, una más grande que es la utriculosacular y otra menor, porción endolinfática.

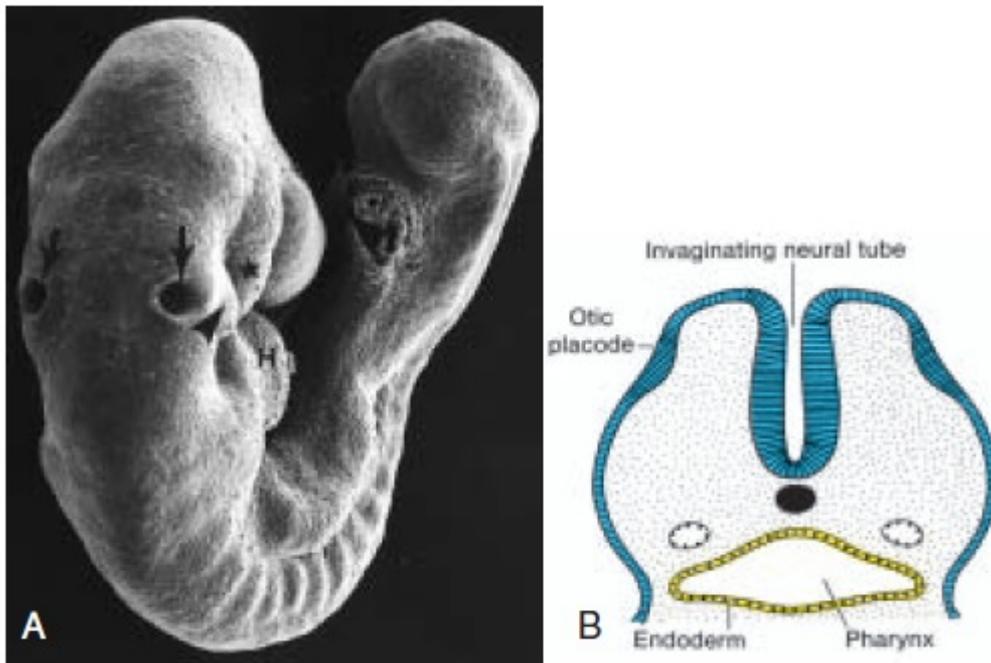


Fig. 4 A. Imagen de microscopio electrónico de un embrión de rata apreciando las placodas óticas. B. Engrosamiento neuroectodérmico que origina la placoda ótica (Esquema tomado de Langman J y Sadler TW. Embriología médica. 10ª ed. Buenos Aires: Panamericana, 2008).

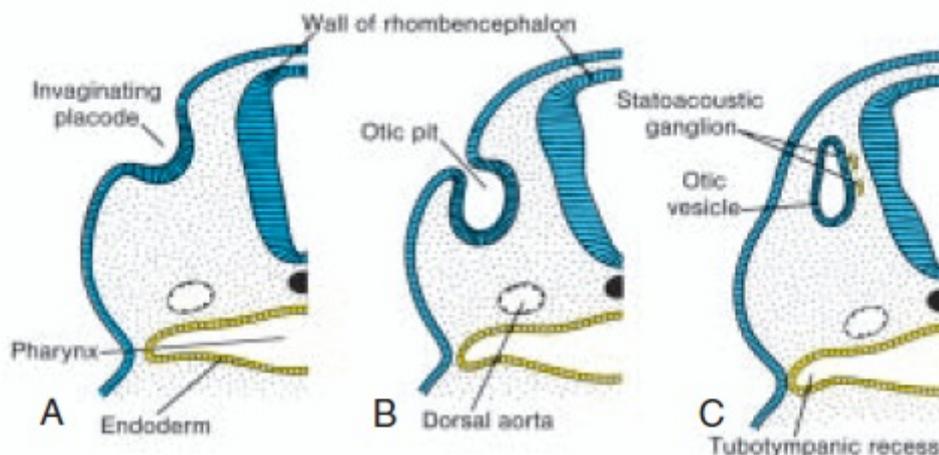


Fig. 5. Formación de la vesícula ótica A. Día 24. B. Día 28. C. 4ª semana (Esquema tomado de Langman J y Sadler TW. Embriología médica. 10ª ed. Buenos Aires: Panamericana, 2008).

Más tarde van a aparecer dos pequeños divertículos que darán lugar al conducto semicircular superior y posterior, que se originan de la región dorsal de la vesícula ótica, mientras que el conducto semicircular lateral aparece en su región más lateral. Los conductos se van a ir elongando hasta llegar a adquirir forma de anillos. La zona donde los conductos se unen a la vesícula ótica constituye el utrículo (fig. 6).

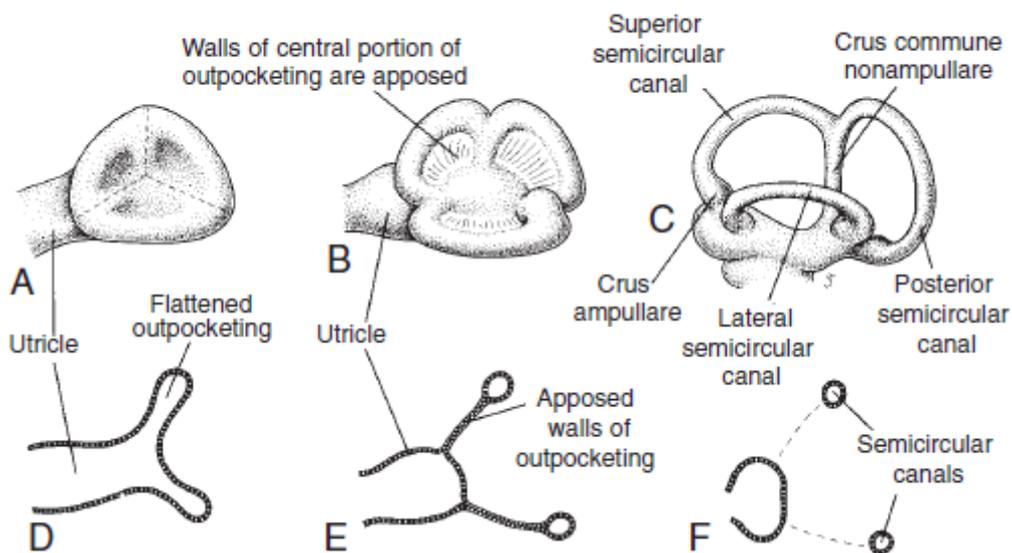


Fig. 6. Desarrollo de los canales semicirculares. **A.** 5ª semana. **B.** 6ª semana. **C.** 8ª semana. **D, E, F.** Aposición, fusión y desaparición, respectivamente, de las porciones centrales de los conductos (Esquema tomado de Langman J y Sadler TW. Embriología médica. 10ª ed. Buenos Aires: Panamericana, 2008).

El sáculo se origina a partir de la porción anteromedial de la vesícula ótica. La cóclea va a surgir a partir de un primordio que se origina como una evaginación del sáculo, llegando a obtener sus dos vueltas y media características hacia la 10ª semana de gestación.

El laberinto membranoso está rodeado por mesénquima que se va a diferenciar en cartílago que luego se osificará y formará parte del laberinto en su estadio final.

Las últimas estructuras en aparecer son el saco y el conducto endolinfático que además son estructuras que se van a ir modificando durante la infancia hasta la pubertad, mientras el resto de estructuras se mantienen sin cambios. Es hacia la 6^a-7^a semana cuando el laberinto obtiene, prácticamente, su configuración total.

El desarrollo del laberinto perilinfático se produce a partir del tejido mesenquimal el cual se va a vacuolizar y originará una serie de cavidades que se rellenarán de líquido y van a rodear al vestíbulo, cóclea y conductos semicirculares. Estas cavidades se van a fusionar constituyendo el laberinto perilinfático que contendrá una matriz de tejido similar al que existe en el espacio aracnoideo (fig. 7).

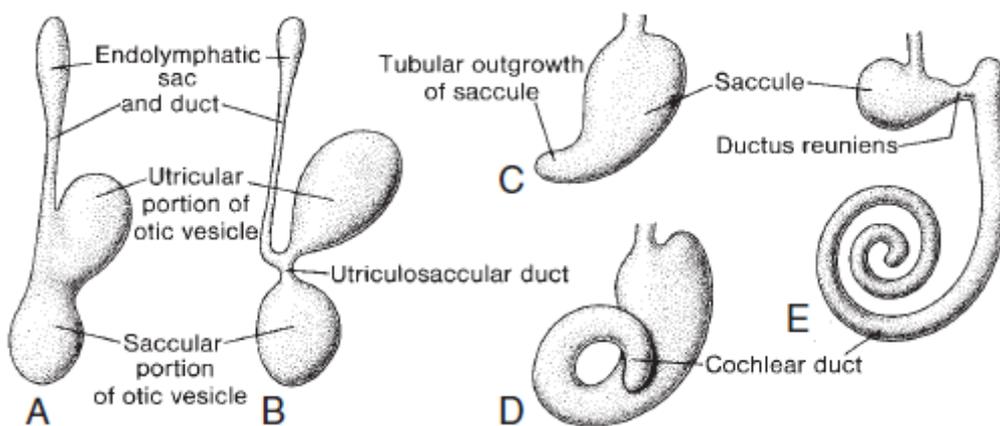


Fig. 7. Desarrollo del utrículo, sáculo, cóclea y conducto endolinfático (Esquema tomado de Langman J y Sadler TW. Embriología médica. 10^a ed. Buenos Aires: Panamericana, 2008).

El laberinto óseo se produce cuando el cartílago llega a su punto máximo de madurez y crecimiento. Una vez el laberinto membranoso queda encapsulado por hueso endocondral, queda limitado el crecimiento de las estructuras del oído interno, sin posibilidad de expansión. Este hueso endocondral nunca será eliminado ni sustituido y constituye, junto con la cadena de huesecillos, un tipo de hueso avascular con poca respuesta osteogénica.

La osificación ocurre entre las 16^a y 23^a semanas de la vida fetal. En la osificación de la cápsula ótica encontramos tres capas: (1) una capa de endostio, que no suele cambiar a lo largo de la vida, únicamente puede proliferar ante eventos traumáticos o infecciones, (2) una capa endocondral, que tiene muy poca capacidad de respuesta osteogénica y (3) una capa perióstica, que se sigue desarrollando hasta la edad adulta y será sustituida por hueso compacto.

La osificación de la cápsula ótica es uniforme y completa con excepción de tres áreas: (1) el área periférica a la ventana oval, (2) el área de la *fissula ante fenestram* y (3) el área situada en la prominencia más lateral del conducto semicircular lateral, es en esta zona donde hay que tener cuidado y no interpretar como zona de dehiscencia ósea o fistula lo que es una región de ausencia de osificación (SOM y CURTIN, 2004; LANGMAN y SADLER, 2008).

3.2 ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DE LA VÍA AUDITIVA

3.2.1 EL SONIDO

El sonido depende del movimiento oscilatorio molecular, que se transmite en forma de onda, de una molécula a otra, siempre que exista un medio homogéneo elástico, que rodee la fuente de energía. Se trata de ondas longitudinales donde las moléculas de un medio vibran en la misma dirección de propagación.

Cuando el sonido alcanza una superficie que limita a otro medio (interfase), puede reflejarse, absorberse o transmitirse. Ello depende de los caracteres físicos del nuevo medio respecto del anterior (masa, ángulo de incidencia, elasticidad, etc.). El fenómeno de resistencia que encuentra el sonido para su transmisión se denomina impedancia acústica.

El sonido es la sensación producida en el oído por la vibración de las partículas que se desplazan a través de un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) que las

propaga. La propagación de esta vibración por el medio produce las ondas sonoras, (ondas mecánicas, ondas de compresión). Es el propio medio el que produce y propicia la propagación de estas ondas con su compresión y expansión. Para que pueda comprimirse y expandirse es imprescindible que éste sea un medio elástico, ya que un cuerpo rígido no permite que las vibraciones se transmitan. Así pues, sin medio elástico no habría sonido, ya que las ondas sonoras no se propagan en el vacío.

Por ello, deben existir dos factores para que exista el sonido:

- Una fuente de vibración mecánica.
- Un medio elástico a través del cual se propague la perturbación.

Como hablamos de variaciones (perturbaciones, vibraciones, etc.), está claro que debe haber un valor estático, a partir del cual se producen estas variaciones. En el caso del aire, el valor estático nos lo da la presión atmosférica.

Las ondas sonoras se desplazan en tres dimensiones y sus frentes de onda son esferas concéntricas que salen desde el foco de la perturbación en todas las direcciones. Por esto son ondas esféricas o tridimensionales.

Su velocidad de propagación decae en intensidad con la distancia y las características físicas del medio. En el aire es de 343 m/s, en el agua de 1400 m/s y en los metales mayor de 5000 m/s. Velocidad que se ve alterada por la temperatura.

La intensidad o energía de la onda se percibe como volumen. La sonoridad se mide mediante una magnitud llamada fonio, que utiliza una escala arbitraria cuyo cero (el llamado "umbral de audición") corresponde a $I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Este valor corresponde a 0 dB, otra forma de medir el volumen. Desde el punto de vista de la intensidad, los sonidos pueden dividirse en fuertes y débiles.

La frecuencia se mide en hercios (Hz) (unidad que expresa la cantidad de vibraciones que emite una fuente sonora por unidad de tiempo). El oído humano puede percibir ondas sonoras de frecuencias entre los 16 y los 20.000 Hz. Las ondas que poseen una frecuencia inferior a los 16 Hz se denominan infrasónicas y las superiores a 20.000 Hz, ultrasónicas. En el aire dichos valores extremos corresponden a longitudes de onda que van desde 16 metros hasta 1.6 centímetros, respectivamente. La percepción de la frecuencia es el tono o altura, es la cualidad que nos permite distinguir entre un sonido agudo o alto y otro grave o bajo. Para un sonido puro el tono viene determinado, principalmente, por la frecuencia, aunque también puede cambiar con la presión y la envolvente.

El timbre de un sonido es la cualidad que depende de la cantidad de armónicos que tenga un sonido y de la intensidad de cada uno de ellos. Nos permite diferenciar un sonido de otro.

La duración física de un sonido y la percibida están muy relacionadas aunque no son exactamente lo mismo. La duración percibida es aquel intervalo temporal en el que el sonido persiste sin discontinuidad.

Etapas de la audición

1. Captación y procesamiento mecánico de las ondas sonoras.
2. Conversión de la señal acústica (mecánica) en impulsos nerviosos, y transmisión de dichos impulsos hasta los centros sensoriales del cerebro.
3. Procesamiento neural de la información codificada en forma de impulsos nerviosos.

La captación, procesamiento y transducción de los estímulos sonoros se llevan a cabo en el oído propiamente dicho, mientras que la etapa de procesamiento neural, en la cual se producen las diversas sensaciones auditivas, se encuentra

ubicada en el cerebro. Así pues, se pueden distinguir dos regiones o partes del sistema auditivo:

- 1- La región periférica, en la cual los estímulos sonoros conservan su carácter original de ondas mecánicas hasta el momento de su conversión en señales electroquímicas.
- 2- La región central, en la cual se transforman dichas señales en sensaciones.

En la región central también intervienen procesos cognitivos, mediante los cuales se asigna un contexto y un significado a los sonidos; es decir, permiten reconocer una palabra o determinar que un sonido dado corresponde a un violín o a un piano (DVORKIN Y CARDINALI, 2003; GUYTON y HALL, 2006; RAMIREZ-CAMACHO, 2007; SERRA, 2010).

3.2.2 HUESO TEMPORAL

El hueso temporal es el elemento óseo integrador de los componentes del oído externo, oído medio y oído interno (figs. 9-13). Este hueso se sitúa a ambos lados de la base del cráneo y consta de cinco partes, que vamos a ir comentando.

Porción escamosa

Forma la pared anterolateral y superior del hueso; es delgada y tiene forma de concha. La superficie externa es lisa y convexa, y proporciona inserción al músculo temporal; forma parte de la pared de la fosa temporal. De la porción inferior de la escama surge la apófisis cigomática, donde se inserta el músculo masetero, su porción anterior se articula con el malar y la posterior se divide en una raíz anterior y posterior. La raíz anterior es el tubérculo articular de la fosa condílea. Por detrás, la fosa condílea, se une a la superficie anterior de la porción timpánica. La fosa condílea tiene una parte articular por delante de la fisura petrotimpánica y otra no articular por detrás de la fisura.

La superficie interna de la porción escamosa es cóncava e irregular, su borde superior se articula con el hueso parietal y el anteroinferior con el ala mayor del esfenoides.

Porción mastoidea

Tiene una superficie rugosa donde se insertan varios músculos, esta superficie se continúa caudalmente con una proyección cónica, la apófisis mastoides, que es lugar de inserción de varios músculos, como el esternocleidomastoideo, esplenio de la cabeza y longísimo de la cabeza.

En la superficie interna se aprecia un surco profundo que es el asiento de parte del seno transversal.

El borde posterosuperior del peñasco se articula con el hueso parietal y occipital, por delante y arriba se articula con la porción escamosa y por debajo forma parte del conducto auditivo externo y de la cavidad timpánica.

En el interior de la mastoides encontramos las celdillas mastoideas que a través del *additus ad antrum* comunican con el epitímpano.

Peñasco

La pirámide petrosa tiene forma de cuña y se encuentra en la base del cráneo, entre el esfenoides por delante y el occipital por detrás. El vértice apunta en dirección medial, hacia delante y ligeramente hacia arriba. Esta porción contiene el oído interno.

El peñasco es una pirámide de tres caras cuya base se fusiona con la porción escamosa y mastoidea del temporal, su vértice apunta en dirección medial y anterior insertándose entre el borde posterior del ala mayor del esfenoides y la parte basilar del hueso occipital.

La cara anterior del peñasco forma el límite posterior de la fosa craneal media y se continua lateralmente con la superficie interna de la porción escamosa, con la sutura petroescamosa. Se puede apreciar en superficie una depresión poco profunda donde se aloja el ganglio semilunar (V nervio craneal), el cavum de Meckel. También se aprecia otra eminencia arqueada que refleja la prominencia del conducto semicircular, por delante de ésta, por tanto, se encuentra la cavidad timpánica. Otra estructura que se encuentra en esta zona es el agujero facial que es atravesado por el nervio petroso superficial mayor y una rama petrosa de la arteria meníngea media.

La cara posterior del peñasco se continúa con la porción mastoidea. Cerca del centro de esta superficie se encuentra la abertura para el conducto auditivo interno, por la que pasan los nervios craneales VII y VIII, cuyos filamentos pasan a través de unas áreas cribiformes que están divididas por una cresta transversal, originando un compartimento superior y otro inferior. Por encima y anterior pasa el nervio facial (VII nervio craneal) y la porción vestibular superior del VIII nervio craneal se sitúa detrás, estas dos partes están separadas por la barra de Bill que es una pequeña cresta ósea. En el compartimento inferior del conducto se sitúan, en la porción delantera, la rama coclear de VIII nervio craneal y por detrás salen las ramas vestibulares inferiores del VIII nervio craneal (fig. 8).

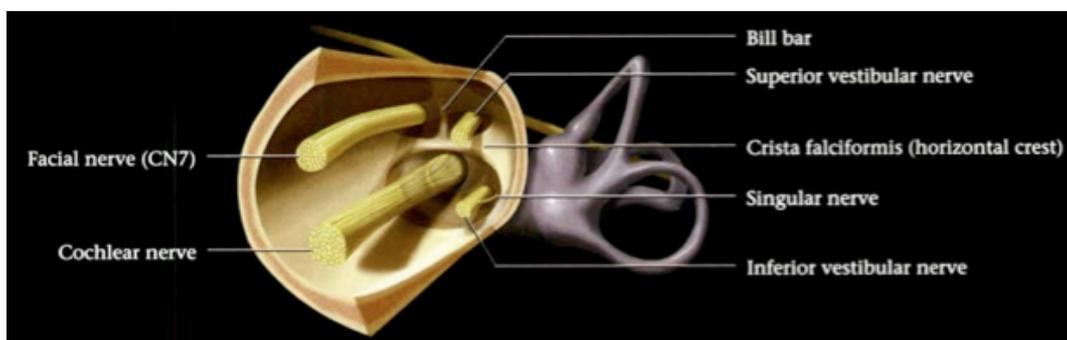


Fig. 8. Relación de los nervios craneales VII y VIII en el conducto auditivo interno (Esquema tomado de Harnsberger y cols. *Diagnostic and surgical imaging anatomy*. 1ª ed. Salt lake City, Utah: Amirsys, 2006).

La cara inferior del peñasco es rugosa e irregular y forma parte de la base del cráneo. Proporciona inserción para el músculo elevador del velo del paladar y para la porción cartilaginosa de la trompa de Eustaquio. Por delante está atravesada por el conducto carotídeo, por detrás de éste está el agujero yugular, con dos porciones, anteromedial y posterolateral. Por la porción anterolateral pasan los nervios craneales IX, X y XI.

En esta cara podemos encontrar dos orificios minúsculos próximos a la fosa yugular, por un lado el canalículo timpánico inferior, que alberga la rama timpánica del nervio glosofaríngeo (nervio de Jacobson) y a la arteria timpánica inferior (rama de la faríngea ascendente), y por otro lado el canalículo mastoideo que alberga la rama auricular del nervio vago (nervio de Arnold), lateral a la fosa yugular.

El ángulo superior del peñasco (reborde petroso), que corresponde a la línea de intersección de las superficies anterior y posterior del peñasco, tiene un surco para el seno petroso superior y en él se inserta la tienda del cerebelo. En el extremo anteromedial existen unas muescas para las raíces del nervio trigémino, una de estas muescas señala la posición del canal de Dorello, a través del cual el VI nervio craneal entra en el seno cavernoso.

El ángulo posterior del peñasco, definido por la unión de la cara inferior de la superficie posterior con el límite posterior de la superficie inferior, posee el surco para el seno petroso inferior y la fosa yugular.

El ángulo anterior del peñasco, definido por la unión con los huesos de la parte anterior del suelo de la fosa craneal media, tiene dos porciones; una medial, que se articula con el ala mayor del esfenoides y una porción lateral, que se une a la parte escamosa en la sutura petroescamosa, donde existen dos semicanales separados por una fina lámina de hueso (tabique del conducto musculotubárico),

de manera que en la porción superior de dicho semicanal se encuentra el músculo tensor del tímpano y en el inferior, la porción ósea de la trompa de Eustaquio.

Porción timpánica

Es una lámina curva por debajo de la porción escamosa y frente a la apófisis mastoides. Su cara posterior adopta una forma en “C” que forma la pared anterior, el suelo y la porción posteroinferior del conducto auditivo externo óseo. El borde lateral de la porción timpánica del temporal es rugoso y forma una gran parte del margen de la abertura del conducto auditivo externo. La porción lateral del borde superior se fusiona con la parte posterior del tubérculo postglenoideo. Su extensión medial forma el límite posterior de la fisura petrotimpánica.

La fisura timpanoescamosa constituye la extensión lateral de la fisura petrotimpánica y la fisura de Glasser es la extensión medial de la fisura petrotimpánica.

El borde inferior de la porción timpánica encierra la raíz de la apófisis estiloides. Por detrás, esta porción se fusiona con las porciones escamosa y mastoidea, formando el límite anterior de la fisura timpanomastoidea.

Apófisis estiloides

Es una proyección caudal de unos 2.5 cm. de longitud, por delante del agujero estilomastoideo. Es el origen del ligamento estilohioideo y los músculos estilohioideo, estilofaríngeo y estilogloso (ANSON y DONALDSON, 1973; GOODWIN, 1983; BRADLEY, 1991; DONALDSON y cols., 1992; SWARTZ y cols., 1995; LO y PETRUS, 1997; CROVETTO DE LA TORRE y cols., 2002; DAVIDSON, 2002; SOM y CURTIN, 2004; JUN y cols., 2005; ROUVIERE y DELMAS, 2005; SARAIYA y AYGUN, 2009; SWARTZ y cols., 2009).



Fig. 9. Superficie externa del hueso temporal (amarillo: porción escamosa, naranja: porción mastoidea, azul: porción timpánica, verde: estiloides) (Esquema tomado de Swartz J y Loevner LA. *Imaging of the temporal bone*. 4ª ed. New York: Thieme, 2009).

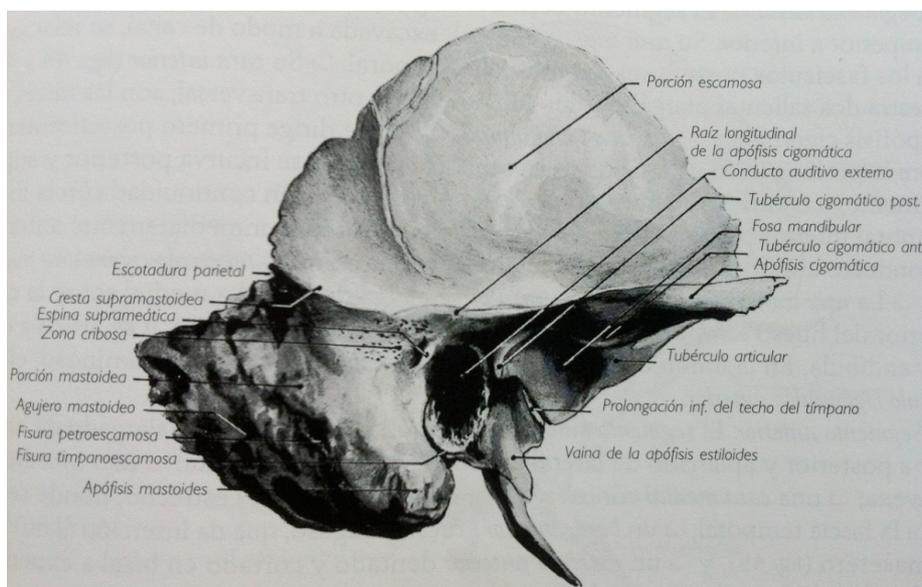


Fig. 10. Cara exocraneal del hueso temporal (Esquema tomado de Rouvière H y Delmás A. *Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional*. 11ª ed. París: Masson, 2005).

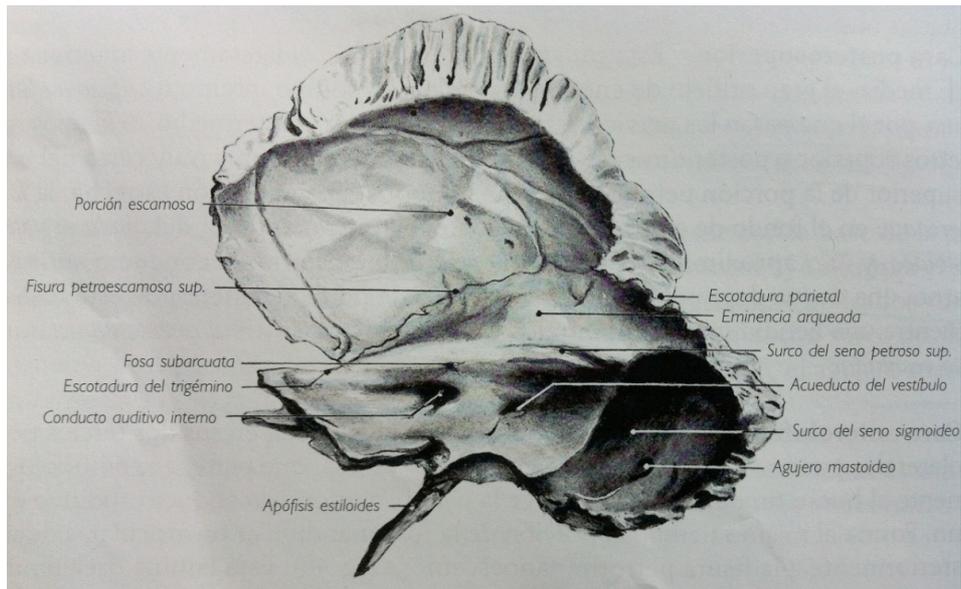


Fig. 11. Cara endocraneal del hueso temporal (Esquema tomado de Rouvière H y Delmás A. Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional. 11ª ed. París: Masson, 2005).

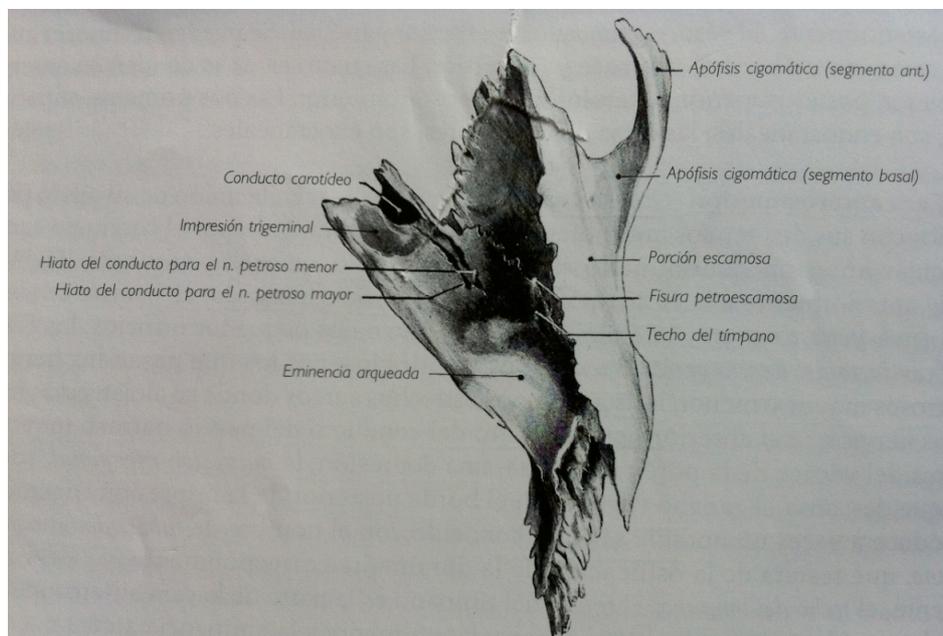


Fig. 12. Visión superior del hueso temporal (Esquema tomado de Rouvière H y Delmás A. Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional. 11ª ed. París: Masson, 2005).

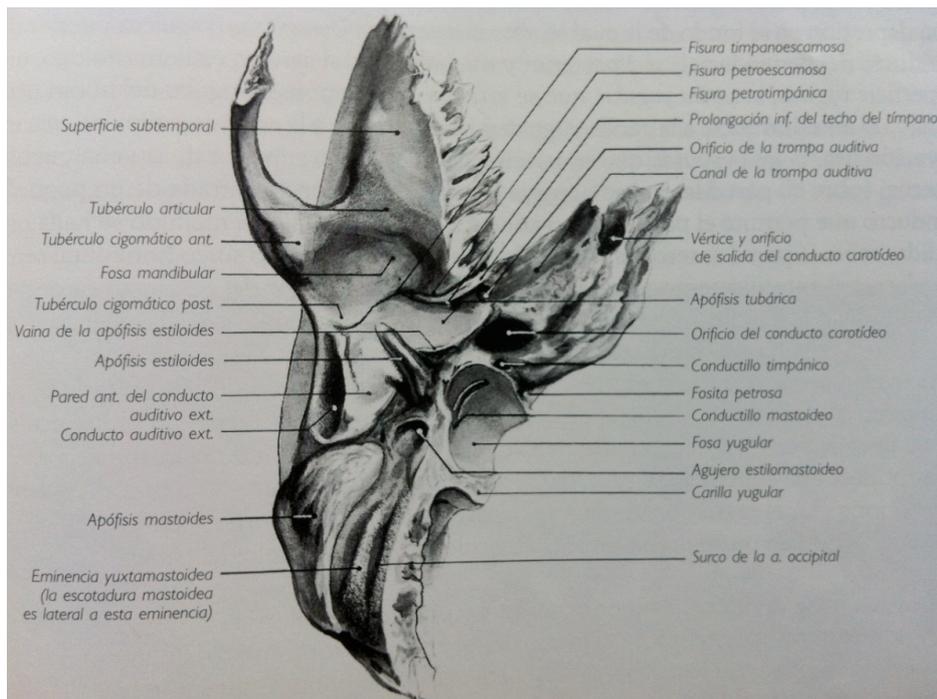


Fig. 13. Cara exocraneal (visión inferior) del hueso temporal (Esquema tomado de Rouvière H y Delmás A. Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional. 11ª ed. París: Masson, 2005).

3.2.3. OÍDO EXTERNO

Está constituido por la oreja o pabellón auditivo y el conducto auditivo externo, terminando en la membrana timpánica (fig. 14).

Pabellón auricular

El pabellón auricular está compuesto por cartílago y piel. En la cara anterior y lateral la piel está firmemente adherida al pericondrio. Esto permite explicar que en algunas lesiones traumáticas se produzcan otopneumatomas por desprendimiento del pericondrio. Su estructura con protuberancias permite determinar la dirección de las ondas sonoras.

El pabellón auricular, junto con la cabeza y los hombros, contribuyen a modificar el espectro de la señal sonora. Las señales sonoras que entran al conducto auditivo externo sufren efectos de difracción debidos a la forma del pabellón auricular y la cabeza, y estos efectos varían según la dirección de incidencia y el

contenido espectral de la señal. Así, se altera el espectro sonoro debido a la difracción. Estas alteraciones, en forma de "picos" y "valles" en el espectro, son usadas por el sistema auditivo para determinar la procedencia del sonido en el llamado "plano medio" (plano imaginario perpendicular a la recta que une ambos tímpanos) (DVORKIN Y CARDINALI, 2003; GUYTON y HALL, 2006; RAMIREZ-CAMACHO, 2007; SERRA, 2010).

Conducto auditivo externo

Las paredes del conducto auditivo externo están formadas, en su porción lateral por fibrocartílago y en su porción medial por hueso. El conducto mide unos 16 mm. y se dirige hacia dentro, adelante y abajo. La pared anterior, el suelo y la parte inferior de la pared posterior corresponden al componente timpánico del hueso temporal.

Las arterias del conducto auditivo externo proceden de la arteria carótida externa a través de ramas de las arterias auricular posterior, temporal superficial y maxilar interna. Las venas de drenaje desembocan en las venas yugular interna y externa y, a veces, en el seno sigmoideo.

La inervación deriva de la rama auriculotemporal de la rama mandibular del nervio trigémino y de las ramas cutáneas del plexo cervical, sobre todo del nervio auricular mayor, rama de C2 y C3. También hay contribuciones de fibras sensitivas de los nervios craneales VII, IX y X.

Tímpano

Constituye el límite entre el oído externo y medio. Es una membrana fina y transparente ligeramente ovalada, algo más ancha en su porción superior. El mango del martillo se inserta en la membrana timpánica. La periferia de la membrana timpánica es un anillo cartilaginoso que se une al surco timpánico en el conducto auditivo externo. Este anillo está incompleto en su porción superior y anterior originando la hendidura de Rivinius, es en esta hendidura donde se

originan unos pliegues (pliegues anterior y posterior del martillo) que, junto con el reborde superior del conducto, crean una zona triangular, delgada y laxa, localizada por debajo del muro del ático. El resto del tímpano es tenso y se conoce como porción tensa (SWARTZ y FAERBER, 1985; KARMODY, 1995; SOM y CURTIN, 2004; ROUVIERE y DELMAS, 2005).

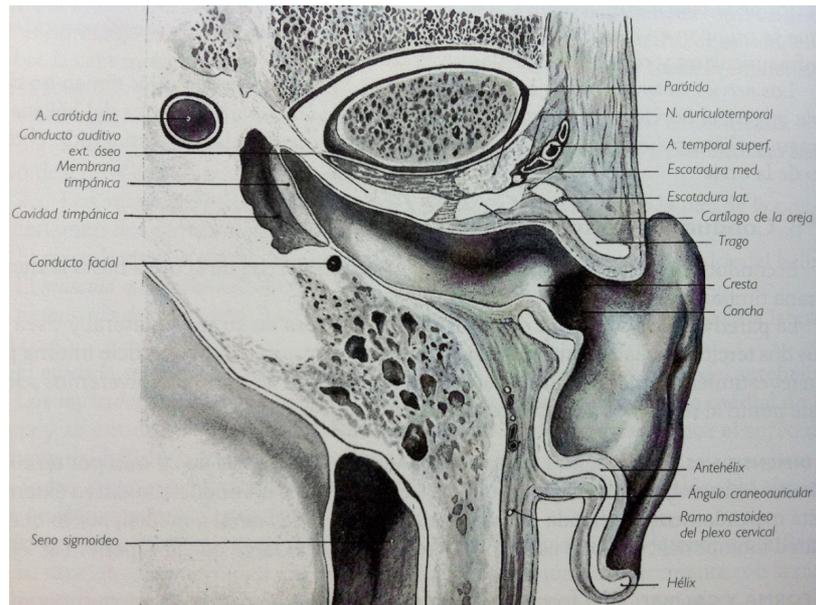


Fig. 14. Corte transversal del órgano vestibulococlear que incluye de lateral a medial, la oreja, el conducto auditivo externo y la cavidad timpánica (Esquema tomado de Rouvière H y Delmás A. Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional. 11ª ed. París: Masson, 2005).

3.2.4 OÍDO MEDIO

El oído medio es un espacio irregular ocupado por aire de la nasofaringe que llega a través de la trompa de Eustaquio. La cadena de huesecillos atraviesa el oído medio desde su porción lateral a la porción medial y su objetivo es transmitir y amplificar las vibraciones que alcanzan el tímpano.

Las ondas sonoras que impactan contra el tímpano hacen que éste vibre siguiendo las oscilaciones de dicha señal. Las vibraciones del tímpano se transmiten a lo largo de la cadena de huesecillos, la cual opera como un sistema

de palancas de primer orden, de forma tal que la base del estribo vibra en la ventana oval. El estribo se encuentra en contacto con uno de los fluidos contenidos en el oído interno (perilinf); por lo tanto, el tímpano y la cadena de huesecillos actúan como un mecanismo para transformar las vibraciones del aire en vibraciones del fluido.

Esta diferencia de medios supone un desajuste de impedancia (de unos 30 dB) que se resuelve mediante dos vías complementarias.

En primer lugar, la disminución de la superficie en la que se concentra el movimiento vibratorio. El tímpano tiene un área promedio de 69 mm^2 , pero el área vibrante efectiva es de unos 43 mm^2 . El pie del estribo, que empuja la ventana oval poniendo en movimiento el líquido contenido en el oído interno tiene un área de 3.2 mm^2 . La presión (fuerza por unidad de superficie) se incrementa en consecuencia en unas 13.5 veces.

Por otra parte, el martillo y el yunque funcionan como un mecanismo de palanca y la relación entre ambos brazos de la palanca es de 1.31:1. La ganancia mecánica de este mecanismo de palanca es entonces de 1.3 lo que hace que el incremento total de la presión sea de unas 17.4 veces. El valor definitivo va a depender del área real de vibración del tímpano. Además, los valores pueden ser superiores para frecuencias entre los 2.000 Hz y los 5.000 Hz, debido a la resonancia del canal auditivo externo y a las frecuencias de resonancia características de los conos asimétricos, como lo es el tímpano. En general entre el oído externo y el tímpano se produce una amplificación de entre 5 dB y 10 dB en las frecuencias comprendidas entre los 2.000 Hz y los 5.000 Hz, lo que contribuye, de manera fundamental, para la zona de frecuencias a la que nuestro sistema auditivo es más sensible.

Así, la presión transmitida al líquido coclear por la platina del estribo es 20 veces superior a la presión ejercida sobre el tímpano. A este proceso indicado se le

denomina: correspondencia de la impedancia (DVORKIN Y CARDINALI, 2003; GUYTON y HALL, 2006; RAMIREZ-CAMACHO, 2007; SERRA, 2010).

La cavidad timpánica consta de tres partes, la cavidad timpánica propiamente dicha (mesotímpano), el ático (epitímpano), localizado en la zona más craneal, y el hipotímpano, que se encuentra caudal al tímpano (fig.15).

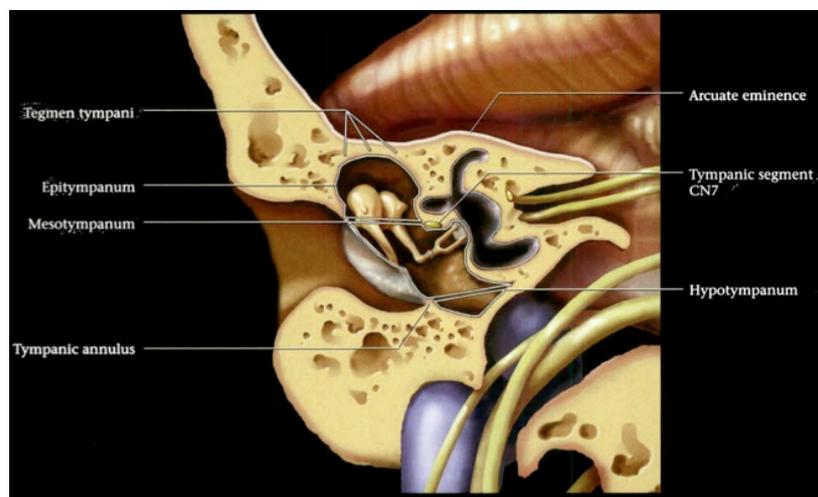


Fig. 15. Corte coronal del oído medio. El oído medio está dividido en tres partes: epitímpano, mesotímpano e hipotímpano (Esquema tomado de Harnsberger y cols. *Diagnostic and surgical imaging anatomy*. 1ª ed. Salt Lake City, Utah: Amirsys, 2006).

Las paredes que delimitan el oído medio se explican a continuación.

Pared tegmentaria o techo

Separa la fosa craneal media del oído. Es una fina lámina ósea que nace en la porción petrosa del hueso temporal. El borde lateral se une a la porción escamosa del hueso temporal, en los niños esta zona puede no estar osificada y permitir el paso de una infección del oído medio al espacio epidural de la fosa craneal media.

Pared yugular o suelo

Es una fina pared, que suele estar por debajo del nivel del conducto auditivo externo, y separa la cavidad timpánica de la vena yugular interna. La extensión inferior de esta cavidad forma el hipotímpano.

A veces el bulbo yugular es tan grande que hace prominencia en esta pared y puede provocar una dehiscencia.

Entre el conducto carotídeo y la placa yugular, cerca de la pared del laberinto, existe una pequeña abertura para el paso de la rama timpánica del nervio glossofaríngeo (nervio de Jacobson).

Pared mastoidea o posterior

Es amplia por arriba y por abajo y contiene la entrada a las celdillas mastoideas por el *additus ad antrum* desde el epitímpano. La eminencia piramidal se encuentra por detrás de la ventana oval y frente a la porción vertical del conducto facial, es hueca y en ella está el origen del músculo estapedio, inervado por una rama del nervio facial.

También encontramos dos recesos importantes, el seno timpánico y el receso facial. El seno timpánico es un espacio limitado medialmente por la pared del laberinto y lateralmente por la eminencia piramidal. El receso facial está limitado por la eminencia piramidal, el complejo estiloideo y el conducto facial en la porción medial, y por el anillo timpánico óseo en la parte lateral.

La fosa del yunque es una pequeña depresión en la porción más inferior y posterior del epitímpano. Contiene la apófisis corta del yunque y es donde se inserta el ligamento posterior de dicha apófisis.

El nervio cuerda del tímpano abandona la porción mastoidea del nervio facial saliendo a través de una abertura situada por debajo del tendón del músculo estapedio.

Pared carotídea o anterior

Es más ancha por arriba que por abajo y corresponde al conducto carotídeo, del que está separado por una fina lámina de hueso cortical, perforada por la rama timpánica de la arteria carótida interna y por el nervio carotidotimpánico.

En su zona superior encontramos el semicanal para el músculo tensor del tímpano que se extiende hasta la pared laberíntica y termina inmediatamente por encima de la venta oval.

Otra estructura que se aprecia en la zona superior es el orificio timpánico de la trompa de Eustaquio, que está separado del semicanal del músculo tensor del tímpano por el tabique del conducto musculotubárico.

Trompa de Eustaquio

Comunica la cavidad timpánica con la nasofaringe. Parte de la trompa está compuesta por hueso y parte por tejido fibroso y cartílago. La parte ósea se origina en la pared carotídea y se va adelgazando acabando en el ángulo de la unión de las porciones escamosa y petrosa del hueso temporal. La zona cartilaginosa ocupa el surco entre el peñasco temporal y el ala mayor del esfenoides.

Los músculos tensor del velo del paladar, elevador del velo del paladar y salpingofaríngeo, que se insertan tanto en el lado medial como lateral del cartílago, pueden abrir al máximo su luz durante la deglución para asegurar el equilibrio entre las presiones aéreas del oído medio y de la faringe.

Pared lateral o membranosa

El límite lateral de la cavidad timpánica es el tímpano, junto con el pequeño reborde de hueso temporal en el que se inserta. Cerca de la hendidura de Rivinius encontramos tres pequeñas aberturas: (1) la fisura petrotimpánica (de Glasser) por donde pasa la rama timpánica anterior de la arteria maxilar interna y en ella se alojan la apófisis anterior del martillo y su ligamento anterior, y las aberturas timpánicas (2) anterior y (3) posterior, por estas dos últimas penetra y sale el nervio cuerda del tímpano.

Pared medial o laberíntica

Es la parte del peñasco que rodea al oído interno y lo separa de la cavidad del tímpano. En ella se encuentran varias prominencias y depresiones que reflejan los contornos de diferentes estructuras del oído interno, como: la prominencia creada por el extremo anterior del conducto semicircular lateral, la prominencia del conducto facial, la fosita de la ventana oval y el promontorio, que es una convexidad que corresponde con la porción de la cápsula ótica situada sobre el giro basal de la cóclea. Por debajo y por detrás de ésta se encuentra el nicho de la ventana redonda. Otra estructura es el subículo o cresta del promontorio, que forma el borde inferior de una depresión conocida como seno del tímpano (SWARTZ, 1983; SWARTZ y cols., 1983; SWARTZ y cols., 1983; TOS, 1998; CROVETTO DE LA TORRE y cols., 2002; SOM y CURTIN, 2004; ROUVIERE y DELMAS, 2005).

Contenido de la cavidad timpánica**Huesecillos del oído (fig. 16)**

Existen tres huesecillos:

- 1- Martillo: que consta de cabeza, cuello, mango y apófisis laterales. La cabeza se encuentra en el epitímpano y el mango se inserta en la membrana timpánica, la apófisis lateral apuntala el tímpano por debajo de la porción flácida y la apófisis anterior es una espícula que ocupa la fisura petrotimpánica.

- 2- Yunque: formado por dos raíces divergentes de diferente longitud. El cuerpo es cuboide pero comprimido en sentido transversal. El cuerpo está unido a la cabeza del martillo con la articulación diartrosis incudomaleolar. La apófisis corta se une a la fosa del yunque en la porción más posterior e inferior del receso epitimánico. La rama larga desciende casi verticalmente por detrás y paralela al mango del martillo y se articula con la cabeza del estribo.
- 3- Estribo: se une a la pared del laberinto en la ventana oval. Consta de cabeza, cuello, dos ramas y una base. En el cuello se inserta el músculo estapedio, las ramas anterior y posterior convergen para formar la base que se une a la ventana oval constituyendo una sindesmosis tímpano-estapedial.

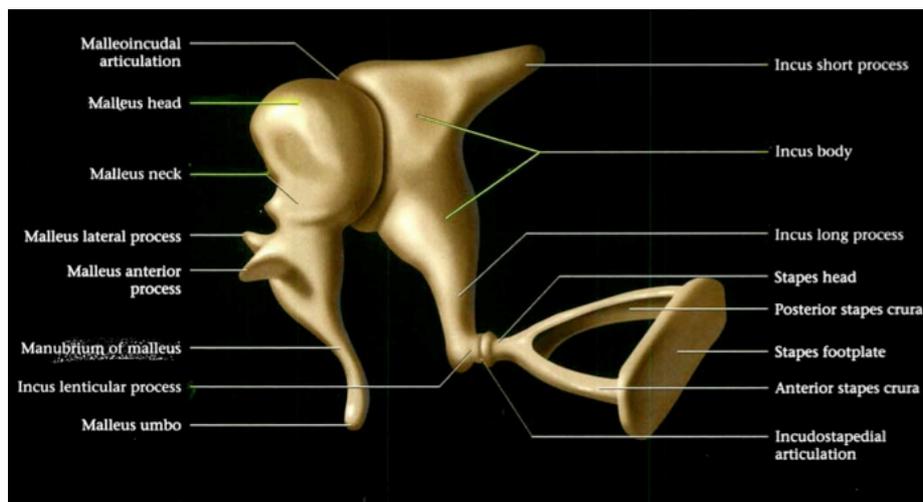


Fig. 16. Huesecillos del oído medio (Esquema tomado de Harnsberger y cols. Diagnostic and surgical imaging anatomy. 1ª ed. Salt lake City, Utah: Amirsys, 2006).

Ligamentos

Los huesecillos están unidos a las paredes de la cavidad timpánica por ligamentos, existiendo tres para el martillo, dos para el yunque y otro para el estribo.

En el martillo el ligamento anterior va del cuello del martillo, por encima de la apófisis anterior, a la pared carotídea cerca de la fisura petrotimpánica. El superior desciende desde el techo del receso epitimpánico a la cabeza del martillo. El ligamento lateral conecta la parte posterior de la hendidura de Rivinius con la cabeza del martillo.

En el yunque el ligamento posterior conecta el cuello y el extremo de la apófisis corta con la pared posterior de la fosa del yunque. El ligamento superior va desde el cuerpo del yunque a la pared tegmentaria.

El ligamento anular de la base del estribo corresponde al anillo fibroso que rodea a la base del estribo y fija el borde de la ventana oval.

Músculos

El músculo tensor del tímpano se inserta en el cuello del martillo y está inervado por una rama del nervio mandibular que pasa por el ganglio ótico.

El músculo estapedio se origina en las paredes de la eminencia piramidal y se inserta en la superficie posterior del cuello del estribo. Está inervado por una rama del nervio facial.

Ambos músculos reducen la eficiencia del mecanismo de conducción del sonido. Los dos amortiguan la vibración de la cadena de huesecillos. El tensor del tímpano aumenta la tensión de la membrana timpánica y así disminuye la amplitud de la excursión del martillo. El estapedio tira de la cabeza del estribo hacia atrás, lo que hace que la base del hueso rote en un eje vertical sobre su propio centro. Todo ello reduce la superficie que transmite la vibración y por tanto se protege al oído interno de oscilaciones excesivas de amplitud en un ruido fuerte (LEMMERLING y cols., 1997; SOM y CURTIN, 2004; ROUVIERE y DELMAS, 2005).

Nervios y vasos

Los nervios de la cavidad del oído medio están representados por el plexo timpánico, localizado en el promontorio coclear bajo la mucosa. Este plexo se forma por la rama timpánica (nervio de Jacobson) del IX nervio craneal, reforzado por uno o varios nervios carotidotimpánicos procedentes del plexo simpático de la carótida interna. El nervio facial aporta fibras secretomotoras parasimpáticas.

El cuerda del tímpano, rama del VII nervio craneal, atraviesa la cavidad del oído medio pero no proporciona inervación.

La irrigación arterial del oído medio, procede de varios vasos, suelen ser ramas de la arteria carótida externa. La arteria timpánica nace de la arteria maxilar interna y la arteria timpánica inferior, de la arteria faríngea ascendente. La arteria estilomastoidea es una rama de la arteria auricular posterior o de la occipital y a su vez origina la arteria timpánica posterior. Las arterias timpánica superior y petrosa proceden de la arteria meníngea media y ramas carotidotimpánicas de la arteria carótida interna.

Las venas siguen un trayecto paralelo al de las arterias y desembocan en el seno petroso superior y plexo pterigoideo (AYDIN y cols., 2000; SILBERGLEIT y cols., 2000; SOM y CURTIN, 2004; VATTOTH y cols., 2010).

Trayecto del nervio facial (VII nervio craneal)

El VII nervio craneal se origina en el tronco del encéfalo, separado en dos raíces, sensitiva y motora. La raíz motora es mayor y abandona el bulbo raquídeo en el borde inferior de la protuberancia, medial al nervio acústico. La raíz sensitiva es más pequeña (nervio intermedio o de Wisberg) contiene fibras eferentes y sale del bulbo entre la raíz motora de nervio facial y el nervio estatoacústico.

El nervio facial se dirige, junto con el estatoacústico, hacia el conducto auditivo interno. Se dispone superior al nervio coclear, pasando por encima de la cresta falciforme en la porción anterior y superior del conducto.

El segmento laberíntico del nervio mide de 3 a 4 mm. de longitud y se dirige hacia delante y hacia fuera en su propio conducto óseo, conducto de Falopio, su trayecto es anterolateral, casi perpendicular al eje longitudinal del peñasco. El segmento laberíntico se localiza inmediatamente por encima de la cóclea y por delante de los conductos semicirculares. Al final del extremo laberíntico se encuentra el ganglio geniculado, donde el nervio realiza un giro tomando una dirección posterior, es la primera rodilla del nervio facial, entonces el nervio se dirige hacia atrás y hacia fuera, en el eje mayor del peñasco y a lo largo de la pared medial de la cavidad timpánica y sigue su trayecto inmediatamente por encima de la ventana oval y por debajo del conducto semicircular lateral. A la altura del seno timpánico, el nervio cambia de dirección en la segunda rodilla, adoptando una posición vertical para caer a lo largo de la pared posterior de la cavidad timpánica, atravesar la mastoides anterior y salir a la base del cráneo por el agujero estilomastoideo (fig. 17).

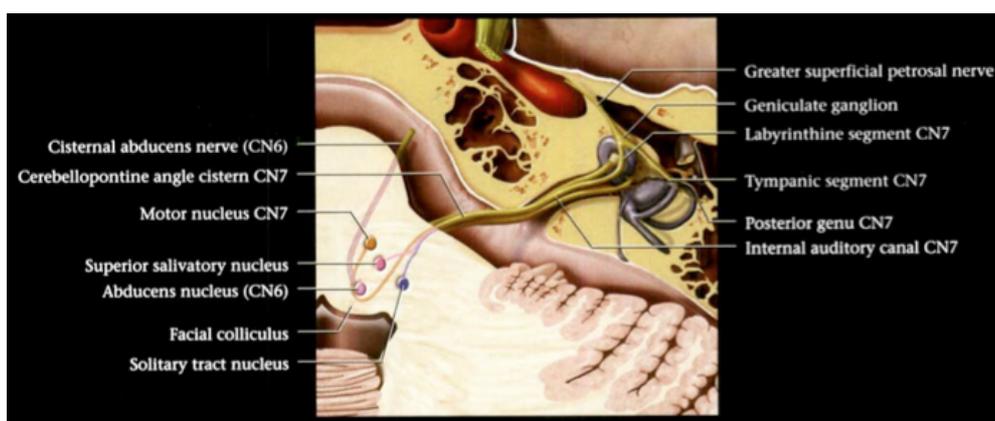


Fig. 17. Núcleos y segmentos del VII nervio (Esquema tomado de Harnsberger y cols. Diagnostic and surgical imaging anatomy. 1ª ed. Salt lake City, Utah: Amirsys, 2006).

El nervio facial tiene tres ramas:

- 1- Nervio petroso superficial: Abandona al facial a nivel del ganglio geniculado y sigue la cara anterior de la pirámide del peñasco. Es un nervio mixto con fibras parasimpáticas (del nervio intermediario) y motoras. Recibe fibras simpáticas del nervio petroso profundo convirtiéndose así en el nervio del conducto pterigoideo.
- 2- Nervio del músculo estapedio: Ramita que abandona el facial cuando desciende en el segmento mastoideo, por detrás de la eminencia piramidal.
- 3- Nervio cuerda del tímpano: Formado esencialmente por fibras sensitivas, aunque también contiene fibras parasimpáticas. Surge 5 mm. por encima del agujero estilomastoideo. Se dirige por el conducto del cuerda del tímpano y penetra en el oído cerca del borde del tímpano y cruza la cavidad a lo largo de la superficie medial del tímpano pasando por fuera de la apófisis larga del yunque y después por dentro del mango del martillo, por encima del tendón del músculo tensor del tímpano. Posteriormente abandona la cavidad timpánica por un pequeño conducto en la fisura petrotimpánica medial para penetrar en la base del cráneo y unirse al nervio lingual para proporcionar sensación gustativa a los dos tercios anteriores de la lengua (fig. 18).

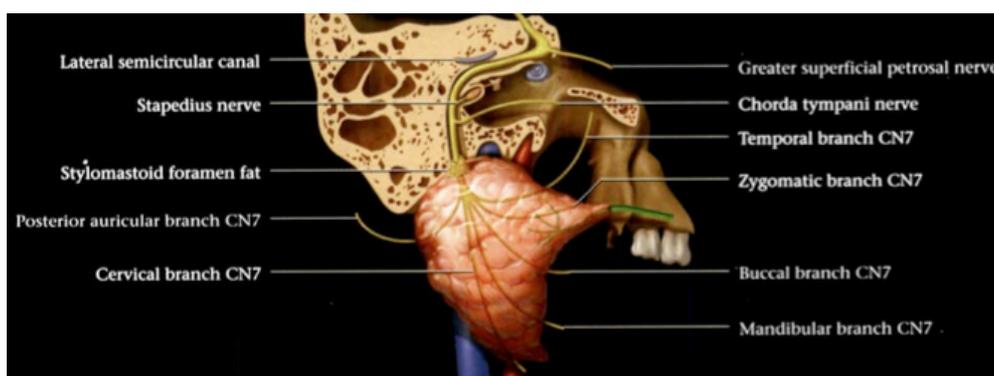


Fig. 18. Ramas del VII nervio craneal (Esquema tomado de Harnsberger y cols. Diagnostic and surgical imaging anatomy. 1ª ed. Salt lake City, Utah: Amirsys, 2006).

La demostración radiológica de pérdida de sustancia ósea en cualquier región del conducto de facial debe considerarse anormal, si bien se ha demostrado la existencia de dehiscencias en gran cantidad de pacientes, sobre todo en la porción timpánica, cerca de la región de la ventana oval (HAMAMOTO y cols., 2000; LAINE y UNDERHILL, 2002; GLASTONBURY y cols., 2003; SOM y CURTIN, 2004; VEILLON y cols., 2010).

3.2.5 OÍDO INTERNO

Las vibraciones transmitidas al oído interno, movilizan la membrana tectoria y el órgano de Corti por un desplazamiento de la membrana basilar, produciendo así un desplazamiento relativo entre ambas estructuras. Esto hace que los cilios de las células sensoriales se flexionen, desencadenando un potencial bioeléctrico que se transmite hacia la base de las células, donde se encuentran las sinapsis con las terminaciones nerviosas que originaran la porción coclear del VIII nervio craneal. Así el oído convierte la energía mecánica del sonido en energía bioeléctrica (GUYTON y HALL, 2006; RAMIREZ-CAMACHO, 2007; SERRA, 2010).

3.2.5.1 Laberinto óseo

Vestíbulo

Es la porción central del laberinto óseo, por delante se continua con la cóclea y por detrás con los conductos semicirculares.

En su pared medial y suelo existen múltiples aberturas para la entrada de ramas nerviosas del nervio vestibular. Además de las aberturas de la ventana oval y el acueducto vestibular.

Conductos semicirculares

Cada uno de los conductos equivale a unos dos tercios de un círculo con 1 mm. de diámetro transversal. Por delante cada conducto se abre en una ampolla, los extremos no ampulares del conducto superior y posterior se unen para formar la rama ósea común.

Los conductos superior y posterior tienen una orientación vertical y forman un ángulo recto entre ambos.

Los ángulos de los conductos verticales están orientados en los dos huesos temporales, de forma que el conducto semicircular superior de un lado tiene la misma orientación que el conducto posterior del lado opuesto.

El conducto semicircular lateral no ocupa un plano horizontal, su extremo anterior se encuentra en un plano superior al de la extremidad posterior y el conducto forma un ángulo de 30° con el plano horizontal (SWARTZ y cols., 1996; SWARTZ y cols., 1996; LEMMERLING y cols., 2001; SOM y CURTIN, 2004).

Cóclea

Es una estructura cónica con base frente al conducto auditivo interno y vértice hacia delante, hacia fuera y ligeramente hacia abajo. La base está perforada para permitir el paso del nervio coclear.

La cóclea es un conducto óseo plegado alrededor de un núcleo central llamado modiolo o columela. El conducto óseo efectúa algo más de dos vueltas y media. Desde el modiolo se proyecta hacia el conducto una fina lámina espiral ósea que lo divide parcialmente. La membrana basilar, que se extiende desde el borde libre de la lámina espiral ósea hasta la pared externa de la cóclea ósea, completa la división del conducto. Los dos pasajes en que queda dividido el conducto coclear se comunican entre sí en el vértice del modiolo mediante el helicotrema.

El conducto coclear óseo efectúa dos vueltas y media alrededor del modiollo, la primera vuelta sobresale en la cavidad timpánica produciendo una elevación llamada promontorio.

El canalículo coclear o conducto perilinfático permite equilibrar las presiones del espacio perilinfático y subaracnoideo, sin embargo suele estar completamente ocupado por tejido subaracnoideo y fibroso.

3.2.5.2 Laberinto membranoso

Los espacios comunicantes que se encuentran en el laberinto membranoso constituyen la cavidad endolinfática. Esta formada por varias estructuras que se explican a continuación (fig. 19).

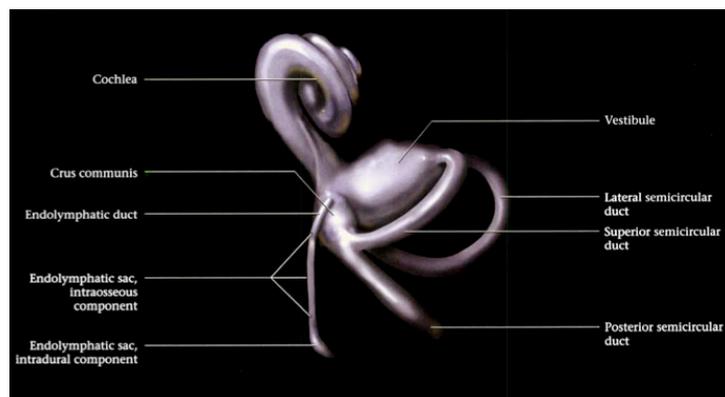


Fig. 19. Laberinto membranoso (Esquema tomado de Harnsberger y cols. Diagnostic and surgical imaging anatomy. 1ª ed. Salt lake City, Utah: Amirsys, 2006).

Conducto coclear

Es un tubo espiral que se encuentra en el interior de la cóclea. Es una bolsa ciega que separa el espacio perilinfático dentro del laberinto óseo y lo divide en dos partes, la ramba vestibular y la ramba timpánica. Tiene una morfología triangular y su techo está formado por la membrana de Reisner. Contiene el órgano de Corti, que es el lugar donde se encuentran las células sensitivas y de sostén de la audición (fig. 20).

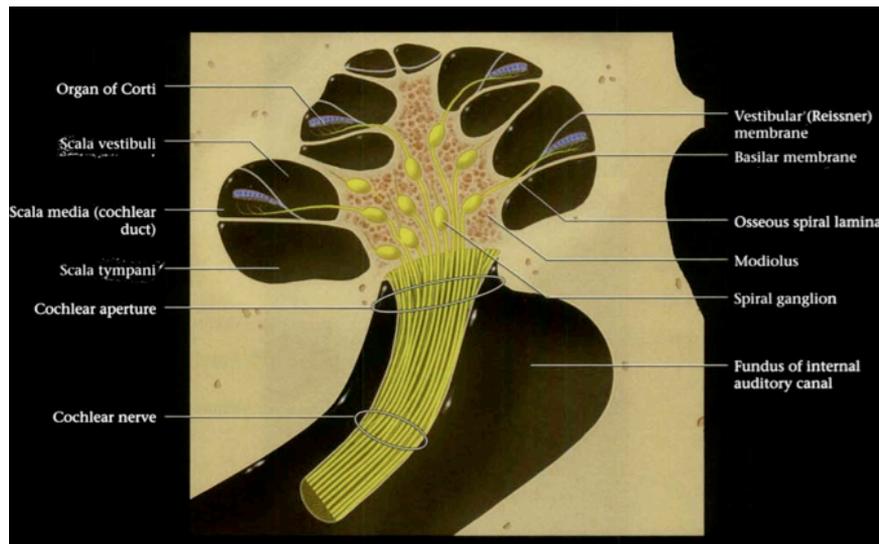


Fig. 20. Corte axial de la cóclea que muestra la rampa vestibular y la rampa timpánica (Esquema tomado de Harnsberger y cols. *Diagnostic and surgical imaging anatomy*. 1ª ed. Salt lake City, Utah: Amirsys, 2006).

Órganos sensitivos vestibulares

Se encuentran en la mácula del utrículo y del sáculo así como en las ampollas de los conductos semicirculares.

La mácula del utrículo interviene sobre todo en las sensaciones relacionadas con la aceleración lineal de la cabeza. Las crestas ampulares, localizadas en el interior de los conductos semicirculares, son los órganos del equilibrio cinético, pues se estimula con el movimiento o con los cambios de presión de la endolinfa secundarios a la aceleración angular de la cabeza.

El utrículo se halla en el receso elíptico del vestíbulo. Los conductos semicirculares membranosos se abren en el utrículo. El conducto utriculosacular se origina en la parte anteromedial del utrículo y se abre en el conducto endolinfático.

El sáculo ocupa un receso esférico cerca de la abertura de la rampa vestibular de la cóclea. La mácula del sáculo se sitúa en su pared anterior. El sáculo comunica con el seno del conducto endolinfático a través del conducto sacular, mientras

que el conducto *reuniens* comunica la parte inferior del sáculo con el extremo basal del conducto coclear.

Los conductos semicirculares se abren mediante cinco orificios en el utrículo, siendo la rama común una única abertura para la unión del extremo medial del conducto semicircular superior y el extremo superior del conducto semicircular posterior.

Conducto y saco endolinfáticos

El conducto endolinfático se origina en el vestíbulo como una porción dilatada, el seno endolinfático. Surge en la confluencia de los conductos sacular y utricular. Cuando abandona el vestíbulo se estrecha en un istmo y pasa al acueducto vestibular, localizado cerca de la rama común. Cuando el acueducto gira caudalmente para acercarse a la abertura en la duramadre del acueducto vestibular, el conducto membranoso vuelve a ensancharse para formar el saco endolinfático. La parte intraósea del saco ocupa la mayor parte del acueducto vestibular. El resto del saco hace prominencia desde la abertura inferior del acueducto y descansa entre el periostio del peñasco y la duramadre.

Membrana de la ventana redonda

Esta membrana es muy importante para la transferencia de la energía acústica hacia el oído interno, donde forma un área blanda en el laberinto óseo que permite el movimiento de la perilinfa que acompaña a las excursiones de la base del estribo.

Aparato vascular

La irrigación proviene de la cavidad craneal a través de un asa arterial con origen en la arteria cerebelosa anteroinferior y que da lugar a la rama auditiva interna (arteria laberíntica) que irriga la duramadre y nervios en el conducto auditivo interno, el hueso adyacente al conducto y la cara medial del oído interno antes de dividirse para dar la arteria coclear común.

Las principales venas de la cóclea son las espirales anterior y posterior, que se unen cerca de la base de la cóclea para formar la vena modiolar común que se une a la vena vestibulococlear y se convierte en la vena de acueducto coclear que desemboca en el seno petroso inferior (DANIELS y cols., 1996; SWARTZ y cols., 1996; CROVETTO DE LA TORRE y cols., 2002; SOM y CURTIN, 2004; ROUVIERE y DELMAS, 2005).

3.2.5.3 Espacios perilinfáticos y sistemas de líquido

El espacio perilinfático de cada conducto semicircular se continúa por ambos extremos con el espacio perilinfático del vestíbulo que, a su vez, está ampliamente comunicado con el de la rampa vestibular. La rampa vestibular comunica con la timpánica en el helicotrema.

En el hueso compacto de la porción petrosa del hueso temporal existen varias dehiscencias reales o potenciales que, en teoría, podrían permitir una comunicación anormal entre el espacio perilinfático y las estructuras vecinas siendo las más representativas la ventana oval, la ventana redonda y el acueducto vestibular, que se extiende por la cápsula ótica desde el vestíbulo a la fosa craneal posterior y por el que discurren el conducto endolinfático y la vena que lo acompaña. Puede existir otra dehiscencia que es el acueducto coclear que se abre en la superficie inferior del peñasco y permite la comunicación entre el espacio subaracnoideo y rampa timpánica (fig. 21). (LO y cols., 1997; CROVETTO DE LA TORRE y cols., 2002; SOM y CURTIN, 2004; BERRETTINI y cols., 2005).

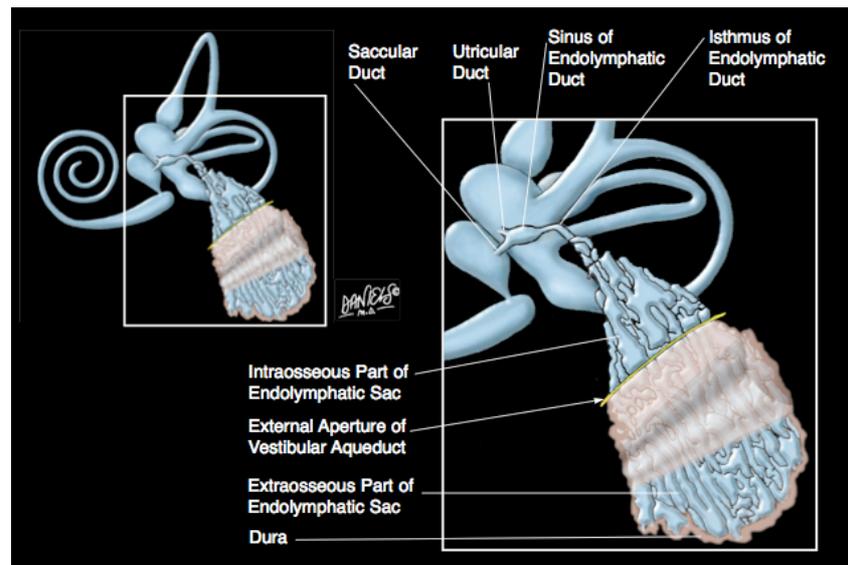


Fig. 21. Laberinto membranoso y visión magnificada del conducto y saco endolinfático. Se aprecian tres partes del conducto endolinfático; el seno, que sale del vestíbulo; una porción intermedia que une la anterior con el istmo.

3.2.6 VÍA AUDITIVA AFERENTE

El sistema auditivo humano es sensible a un amplio rango de frecuencia (entre 16 Hz y 20.000Hz). Para saber como funciona nuestro sistema auditivo se requieren conocimientos en anatomía y fisiología del complejo sistema auditivo (HEIMER, 1995) (fig. 22).

Los impulsos llegan por las fibras del nervio coclear y a nivel del tronco del encéfalo podemos distinguir tres grupos de núcleos dedicados al procesamiento de la señal sonora:

- a. Los núcleos cocleares en el bulbo raquídeo, donde llegan fibras del nervio coclear.
- b. El complejo olivar superior situado en la porción ventrolateral de la protuberancia.
- c. Los núcleos del lemnisco lateral, localizados en la porción lateral y rostral de la protuberancia e incluidos entre las fibras lemniscales.

A nivel del mesencéfalo, el colículo inferior constituye una estación obligatoria de relevo de la información auditiva que va a alcanzar el tálamo, así como el lugar de donde parten circuitos descendentes hacia el complejo olivar superior o los núcleos cocleares (GENIEC y MOREST, 1971).

La principal estructura auditiva talámica es el cuerpo geniculado medial localizado en su región posterolateral, sin olvidar; el núcleo posterior del tálamo, que a nivel más rostral procesa información auditiva. Modulando el tálamo auditivo y, entre éste y el córtex, podemos considerar como parte de la vía auditiva a la porción posterolateral del núcleo reticular del tálamo. La información alcanza la corteza auditiva que esta localizada en el lóbulo temporal superior en las áreas 41 y 42 de Brodmann.

A través de estas estaciones, la señal auditiva que portan las fibras del nervio coclear se transmite hasta la corteza auditiva en lo que constituye la vía auditiva ascendente. La vía auditiva descendente, paralela a la anterior, va a procesar y transmitir la información que, desde la corteza, llegará al receptor auditivo. (GESCHWIND y LEVITSKY, 1968)

3.2.6.1 El nervio auditivo coclear

En el hombre, cada cóclea está inervada por unas 50.000 neuronas ganglionares o primarias, que pueden ser de dos tipos:

- a. Neuronas tipo I: 95% del total, que reciben sinapsis de una célula ciliada interna, mientras que cada célula ciliada interna mantiene contacto con las prolongaciones distales de unas 20 neuronas tipo I
- b. Neuronas tipo II: 5%, son más pequeñas, su axón es amielínico e inervan a las células ciliadas externas. Cada neurona tipo II recibe sinapsis de 10 a 30 células ciliadas externas y cada célula ciliada externa mantiene contacto con las prolongaciones distales de varias neuronas tipo II. La

rama auditiva o coclear del VIII nervio craneal está formada por los axones de las neuronas ganglionares. (SPOENDLIN, 1969; LIBERMAN, 1980; LIBERMAN, 1982)

La energía acústica transmitida por el oído medio alcanza la base del estribo y su oscilación hace que los fluidos de la cóclea vibren con la misma frecuencia. Esta vibración se transmite a la linfa y provoca oscilación de la membrana basilar y posteriormente el desplazamiento de las células ciliadas. Con este movimiento los estereocilios de las células ciliadas se deforman al chocar con la membrana tectoria y se pone en marcha el mecanismo de transducción (BROWNELL, 1982). Debido a las propiedades mecánicas de la membrana basilar, ésta presenta un patrón de resonancia en el que sus porciones más anchas (basales) vibran con las frecuencias más altas y las más estrechas (apicales) con las más bajas (VON BEKESY, 1966). Se establece así una relación entre el lugar en la cóclea y la selectividad a las frecuencias de sonido, es lo que se conoce como cocleotopía. Cada fibra del nervio auditivo es sensible a un rango limitado de frecuencias e intensidades. El área de respuesta se corresponde con el campo receptor auditivo, es decir, el rango de frecuencias e intensidades a las cuales una célula es sensible (EVANS, 1972).

El umbral de respuesta es el nivel mínimo de intensidad de sonido requerido para provocar una respuesta en una fibra o neurona. En el umbral del sonido, el área de respuesta está limitada por una línea denominada la curva de sintonía. La frecuencia a la cual la fibra es más sensible, es decir, a la que responde ante una mínima intensidad del estímulo, recibe el nombre de frecuencia característica. En ausencia de estímulo acústico, las fibras del nervio auditivo difieren en su frecuencia de descarga (número de potenciales de acción por unidad de tiempo), propiedad que está en relación con el calibre de la fibra y el patrón de inervación coclear (LIBERMAN, 1982).

Las fibras que inervan el lado externo de las células ciliadas internas son de mayor diámetro y tienen una mayor actividad que las fibras que contactan en la superficie modiolar. Esta segregación espacial que presentan las terminales periféricas es mantenida en el ganglio espiral, y también dentro de ciertos límites en los núcleos cocleares. Los mecanismos de generación de la actividad espontánea no son bien conocidos; se cree que están en relación con la liberación no inducida de neurotransmisor en la base de las células ciliadas internas, además hay una relación directa entre la mayor frecuencia de descarga espontánea de la fibra y su menor umbral de respuesta, la buena sintonización o la sincronización con ondas de forma compleja (EVANS, 1978).

3.2.6.2 Los núcleos cocleares

Las fibras del nervio auditivo terminan en los núcleos cocleares, situados en el ángulo pontocerebeloso, donde hay dos subdivisiones:

1. Núcleo coclear dorsal o tubérculo acústico
2. Núcleo o ganglio ventral, constituido por el núcleo coclear anteroventral y el núcleo coclear posteroventral (OSEN, 1969).

Tras entrar en los núcleos cocleares, los axones del nervio coclear se bifurcan de una manera ordenada; cada fibra envía una rama ascendente al núcleo coclear anteroventral y una rama descendente que cruza e inerva al núcleo coclear posteroventral y termina en el núcleo coclear dorsal (ARNESEN Y OSEN, 1978; FEKETE y cols., 1984).

Así, cada subdivisión de los núcleos cocleares debe recibir la misma información procedente de la cóclea. La existencia de una misma información suministrada a tres subdivisiones de los núcleos cocleares supone un patrón de divergencia de la transmisión y el procesado de la información auditiva. Además, la cocleotopía originada en la cóclea se mantiene en el orden de las fibras del nervio auditivo y

es preservada en cada una de las tres subdivisiones de los núcleos cocleares, dando lugar a la tonotopía.

La tonotopía, es el equivalente en el sistema nervioso central de la cocleotopía a nivel del receptor coclear. Dentro de un núcleo, las neuronas que responden a un mismo rango de frecuencias de sonido se localizan espacialmente en un mismo plano, denominado plano de isofrecuencia (EVANS y NELSON, 1973; BOURK y cols., 1981).

Núcleo coclear ventral

Se describen 5 tipos neuronales:

1. Neuronas esféricas: con un soma redondo y una o dos dendritas gruesas y poco ramificadas que terminan en un gran penacho distal, e inervan bilateralmente el complejo olivar superior (CANT y MOREST, 1979).
2. Neuronas globulares: de forma similar a las anteriores pero con un soma más ovalado e igualmente inervan el complejo olivar superior. Las encontramos en todo el núcleo coclear ventral, en la zona en que las fibras primarias entran en los núcleos cocleares y se bifurcan (TOLBERT y MOREST, 1982)
3. Neuronas estrelladas: forman a nivel morfológico y funcional el grupo más heterogéneo dentro del núcleo coclear ventral, hay dos tipos T y D (CANT, 1981).
4. Neuronas pulpo: localizadas en el núcleo coclear posteroventral, exclusivamente en su región más posterior. Presentan un soma ovalado y las dendritas primarias emergen exclusivamente de la cara rostral del soma. Presentando una trayectoria paralela similar a los tentáculos de un pulpo en movimiento (KANE, 1973).
5. Células grano: son las células más pequeñas de los núcleos cocleares, presentan una morfología similar a las células grano descritas en el cerebelo. Forman una capa que rodea la superficie libre de los núcleos cocleares y también se sitúan entre el núcleo coclear ventral y dorsal. A

esta capa llegan fundamentalmente las fibras tipo II de los aferentes primarios y los axones de estas células proyectan al núcleo coclear dorsal.

Núcleo coclear dorsal

Las neuronas principales del núcleo coclear dorsal son las neuronas piramidales (BLACKSTAD y OSEN, 1984). Son inervadas a través de sus dendritas basales por las ramas ascendentes de las fibras del nervio coclear y, a nivel del soma y dendrita apical por otras neuronas locales cuyos axones inervan el colículo inferior contralateral. Son neuronas bien sintonizadas y, por lo tanto, tienen un área de respuesta circunscrita con fenómenos de inhibición lateral.

Mientras que las neuronas de proyección, tanto en el núcleo coclear dorsal como en el ventral, son neuronas excitadoras que probablemente utilizan glutamato como neurotransmisor, las neuronas de axón corto son de naturaleza inhibitoria y son las más abundantes y variadas de los núcleos cocleares. Se clasifican en:

1. Neuronas estrelladas pequeñas
2. Células en rueda de carro
3. Células verticales (WOUTERLOOD y MUGNAINI , 1984)

Desde los núcleos cocleares la información auditiva viaja por tres tractos fibrosos:

1. Estría acústica dorsal: contiene los axones de las neuronas del núcleo coclear dorsal que inervan el colículo inferior contralateral y los axones de las neuronas estrelladas tipo D que inervan a los núcleos cocleares contralaterales.
2. Estría acústica intermedia: lleva los axones de las neuronas pulpo del núcleo coclear posteroventral, y sus axones inervan, fundamentalmente, el complejo ventral del lemnisco lateral contralateral.
3. Estría acústica ventral o cuerpo trapezoide: está formado por los axones de las neuronas del núcleo coclear ventral que inervan el complejo olivar superior de ambos lados. Este es el primer lugar de la vía auditiva para la

convergencia biaural, los núcleos del lemnisco lateral y el colículo inferior contralateral (ADAMS, 1976; ADAMS 1983).

La información única que transportan las fibras del nervio auditivo hasta los núcleos cocleares se transforma en la segunda neurona de la vía, de tal forma que las proyecciones desde los distintos tipos neuronales de los núcleos cocleares siguen un patrón divergente de procesamiento de la información auditiva y el flujo aferente de información sale de los núcleos cocleares segregado dentro de canales específicos (FRIAUF y OSTWALD, 1988).

3.2.6.3 Complejo olivar superior

Formado por un conjunto de núcleos muy compactados, principalmente tres:

1. Oliva superior lateral
2. Oliva superior medial
3. Núcleo medial del cuerpo trapezoide

Algunos estudios comparativos en mamíferos han demostrado diferencias marcadas en el tamaño relativo de los núcleos principales.

En humanos, la oliva superior medial está bien desarrollada mientras que los otros dos núcleos son de menor tamaño, lo que corresponde con un rango de frecuencias limitado en los agudos (SCHWARTZ, 1992).

La oliva superior lateral

Formada por dos tipos neuronales:

1. Células principales
2. Células marginales

Son neuronas biaurales, es decir, reciben información auditiva procedente de ambos oídos. Las neuronas de la oliva superior lateral presentan una respuesta

excitadora con aumento de la actividad cuando se estimula el oído ipsilateral y una respuesta inhibitoria con disminución de la actividad cuando se estimula el oído contralateral (BOUDREAU y TSUCHITANNI, 1968).

La oliva superior medial

Tiene forma de semiluna en secciones transversales y está organizada en series de láminas fibrocelulares de orientación horizontal. Recibe proyecciones bilaterales desde las células esféricas del núcleo coclear anteroventral a través del cuerpo trapezoide.

Las neuronas de este núcleo envían sus axones por el lemnisco lateral ipsilateral hacia el núcleo dorsal del lemnisco lateral y el colículo inferior del mismo lado (HENKEL, 1997).

Núcleo medial del cuerpo trapezoide

Sus células presentan una organización de altas a bajas frecuencias en planos verticales orientados en sentido medial a lateral. Las neuronas de este núcleo dirigen sus axones a la oliva superior lateral y medial, a los grupos periolivares, al complejo ventral del lemnisco lateral y, quizás, al colículo inferior ipsilateral (SPANGLER y cols., 1985).

3.2.6.4 Los núcleos del lemnisco lateral

Están formados por islotes de neuronas intercalados entre las fibras del lemnisco lateral, que se extiende en la cara lateral del tronco del encéfalo desde el complejo olivar superior hasta el colículo inferior. Agrupa todas las fibras que conectan los núcleos cocleares y el complejo olivar superior con la vía auditiva alta. Clásicamente se distinguen por su posición dos subdivisiones:

1. Complejo ventral del lemnisco lateral

Situado rostral y medial al complejo olivar superior.

Las aferencias al núcleo ventral proceden, fundamentalmente, de las neuronas pulpo y neuronas estrelladas de los núcleos contralaterales (SCHOFIELD y CANT, 1997). La mayoría de neuronas del complejo ventral del lemnisco lateral envían sus axones al colículo inferior del mismo lado, con un pequeño porcentaje que inervan al cuerpo geniculado medial y al colículo superior (GLENDENNING y cols., 1981; WHITLEY y HENKEL, 1984). Se cree que este núcleo está implicado en detectar el momento en el que un determinado sonido se produce.

2. Núcleo dorsal del lemnisco lateral

Inervado fundamentalmente por las células biaurales del complejo olivar superior. Proyecta tanto al colículo inferior del mismo lado como al núcleo dorsal y al colículo inferior contralateral, a través de la comisura de Probst, tracto fibroso localizado debajo del tercer ventrículo. Sus neuronas se caracterizan por su naturaleza gabaérgica y por presentar dominios dendríticos perpendiculares a las fibras lemniscales.

La principal función de sus neuronas es ayudar a una mejor sintonización de las neuronas del colículo inferior a las que inervan de forma tonotópica y, por tanto, restringen sus áreas de respuesta o campos receptivos (IWAHORI, 1986).

3.2.6.5 El colículo inferior o tubérculo cuadrigémino posterior

Se localiza en la porción dorsal del mesencéfalo y en él acaban los axones del lemnisco lateral. Está formado por un núcleo central y unas regiones pericentrales o cortezas. Mientras que el núcleo central está tonotópicamente organizado, las cortezas dorsal y externa del colículo inferior no presentan tonotopía precisa (MARTIN y cols., 1988).

A partir del colículo inferior y a través del brazo conjuntival del colículo inferior, un tracto fibroso situado rostral y lateral al colículo, la información auditiva ascendente es transmitida al cuerpo geniculado medial del tálamo y al núcleo posterior talámico (OLIVER, 1984).

El núcleo central del colículo inferior

Es el punto de relevo obligatorio de los axones que ascienden por el lemnisco lateral y que transportan la información auditiva procedente de estaciones más bajas de la vía . Recibe también proyecciones auditivas contralaterales tanto del núcleo dorsal del lemnisco lateral a través de la comisura de Probst como del colículo inferior contralateral a través de la comisura intercolicular, y también recibe proyecciones descendentes ipsilaterales desde la corteza cerebral auditiva (MALMIERCA y cols., 1993; OLIVER y cols., 1991).

Las cortezas dorsal y externa del colículo inferior

Las cortezas dorsal y externa del colículo inferior se organizan en capas y cubren dorsal, lateral, rostral y caudalmente al núcleo central.

La corteza dorsal cubre la porción caudal y dorsomedial del núcleo central. En secciones teñidas con el método de Golgi, es posible dividir la corteza en cuatro capas:

1. Capa I: contiene pocas células con el árbol dendrítico plano y paralelo a la superficie del colículo inferior.
2. Capa II: contiene muchas células estrelladas de pequeño y mediano tamaño.
3. Capa III: definida por el fascículo de fibras dorsolaterales que entran o salen del brazo conjuntival del colículo inferior.
4. Capa IV: posee grandes células estrelladas.

La corteza dorsal recibe aferencias sobre todo desde la corteza cerebral estableciéndose una relación directa entre el tamaño de la corteza dorsal y el tamaño de la corteza cerebral auditiva (MOREST y OLIVER, 1984).

Las neuronas de la corteza dorsal proyectan, fundamentalmente, a la división dorsal del cuerpo geniculado medial del tálamo.

La corteza externa cubre lateral, ventral y rostralmente al núcleo central, se pueden distinguir tres capas:

1. Capa I: se continua con la capa I de la corteza dorsal.
2. Capa II: constituida por neuronas de pequeño y mediano tamaño agrupadas en parches.
3. Capa III: contiene células grandes multipolares, es la mayor de las capas y se continua con la porción rostral de la corteza externa. Recibe aferencias desde la corteza cerebral, pero predominan las aferencias no auditivas desde el núcleo del trigémino, sustancia gris periacueductal y el núcleo paraventricular o el globo pálido (OLIVER y MOREST, 1984).

3.2.6.6 El cuerpo geniculado medial y el núcleo posterior talámico

El cuerpo geniculado medial del tálamo esta limitado dorsalmente por el núcleo pulvinar, lateralmente por el cuerpo geniculado lateral y ventralmente por el pedúnculo cerebral. Se describen tres subdivisiones: ventral, medial y dorsal interconectadas respectivamente con el núcleo central y las cortezas dorsal y externa del colículo inferior. Los axones ascendentes del cuerpo geniculado medial alcanzan la corteza cerebral a través de las radiaciones acústicas que viajan en la cápsula interna (ROUILLER y RIBAUPIERRE, 1985).

La división ventral y el núcleo posterior talámico

La división ventral del cuerpo geniculado medial está constituida por neuronas principales de proyección e interneuronas. Las neuronas principales son bipenachadas y se disponen en láminas tonotópicamente organizadas.

Al igual que en el núcleo central del colículo inferior y núcleos auditivos troncoencefálicos, la unidad morfofuncional de la división ventral es la lámina fibrocelular, donde se orientan en paralelo el soma y las dendritas de las neuronas principales con los axones procedentes tanto del colículo inferior como de la capa VI del córtex auditivo primario (CALFORD, 1983; ROUILLER y cols., 1983).

Rostral y medial a esta división ventral y ya fuera del cuerpo geniculado medial se encuentra el núcleo posterior del tálamo, cuya parte lateral es auditiva (IMIG y MORET, 1985).

Las divisiones dorsal y medial

La división dorsal del cuerpo geniculado medial no presenta una estructura laminar (WINER Y MORET, 1983). Recibe aferencias desde la corteza externa del colículo inferior y envía sus axones a la capa IV del córtex auditivo secundario.

La división medial del cuerpo geniculado medial se caracteriza por la presencia de pocas neuronas cuyos campos dendríticos son hemisféricos.

Esta división recibe aferencias desde las cortezas dorsal y externa del colículo inferior, así como desde la corteza cerebral y, sus axones proyectan de forma difusa a todas las áreas corticales auditivas, pero terminando no en la capa IV sino en la capa I (CALFORD y AITKIN, 1983).

El núcleo reticular del tálamo

Esta situado entre el tálamo y la corteza cerebral. Actúa de auténtica interface entre el mundo sensorial, representado por los centros sensoriales talámicos y la corteza cerebral. Por su porción pósterolateral pasan los axones que interconectan el tálamo y el córtex auditivo.

Estas neuronas expresan GABA, proyectan a su vez sobre las neuronas de la división ventral del cuerpo geniculado medial del tálamo, tanto sobre las dendritas de las neuronas principales como de las interneuronas. Así la información sensorial que ha de llegar a la corteza está ya modulada por este circuito inhibitorio reticular (SIMM y cols., 1990).

3.2.6.7 Córtex cerebral

Anatomía y desarrollo

El córtex cerebral recubre los hemisferios cerebrales y se halla muy plegado; estos pliegues, que consisten en surcos, cisuras y circunvoluciones, aumentan de manera considerable la superficie permitiendo triplicar el área de la corteza cerebral.

El córtex cerebral consiste en gran parte en células gliales y en los cuerpos celulares de las neuronas, dendritas y axones de interconexión. Debido al predominio de somas celulares, responsables del color marrón grisáceo de la corteza, ésta se denomina también sustancia gris. Bajo la corteza cerebral hay millones de axones que conectan las neuronas corticales con las localizadas en otras áreas del encéfalo. La gran concentración de mielina da a este otro tejido una apariencia de color blanco opaco; de ahí que se denomine sustancia blanca.

La corteza cerebral se desarrolla a partir de porciones de la vesícula telencefálica. Las células que se originan en la zona germinal, que circunda a la luz, migran en dirección periférica para formar el manto cortical. A partir del sexto mes de vida

fetal, las neuronas corticales comienzan a formar seis capas horizontales. Las células formadas de manera simultánea migran a la misma capa cortical; las que migran más tarde pasan por las capas profundas para formar láminas más superficiales (HEIMER, 1995).

Células y fibras corticales

La cantidad de tipos celulares en el córtex es llamativamente pequeña, encontramos principalmente:

1. Células piramidales: tienen una dendrita apical que se extiende hacia arriba, a la superficie pial, y numerosas dendritas basales que se proyectan horizontalmente desde el cuerpo celular. El axón sale de la base de la célula e ingresa a la sustancia blanca.
2. Células estrelladas o granulares: tienen forma poligonal y escaso citoplasma. Estas células poseen numerosas dendritas y un axón corto. Las células estrelladas son mayores en número, en la capa IV.
3. Células fusiformes: se encuentran principalmente en las capas corticales más profundas, con su eje más largo vertical a la superficie. Numerosas dendritas se originan en los polos de estas células; el axón se origina en la parte inferior del cuerpo celular e ingresa a la sustancia blanca (ECOMO, 1929).

Otros tipos celulares son las células horizontales de Cajal y las células con axones ascendentes, denominadas células de Martinotti. Las células horizontales de Cajal, fusiformes pequeñas, se hallan en la capa cortical más superficial. Los axones de las células de Martinotti se extienden a la superficie.

Las fibras de la corteza cerebral están dispuestas de manera radial y tangencial. Los haces de fibras dispuestos radialmente corren en forma vertical desde la sustancia medular hacia la superficie cortical. Comprenden los axones de las células piramidales, fusiformes y estrelladas, que salen de la corteza como fibras

de proyección o de asociación, y las fibras aferentes, de proyección y asociación, que entran y terminan en la corteza. Las fibras tangenciales corren paralelas a la superficie cortical. Estos haces de fibras están compuestos por las ramas terminales de fibras aferentes de proyección y asociación, axones de células horizontales y granulares, y las ramas colaterales de las células piramidales y fusiformes. Las fibras horizontales representan en gran parte porciones terminales de fibras radiales. Las fibras tangenciales no están distribuidas de manera regular en toda la corteza, sino que se concentran en profundidades variables en bandas horizontales. Las dos bandas más prominentes son las bandas de Baillarger, que forman delgadas franjas en los cortes en fresco de la corteza (CARPENTER, 1991).

Capas corticales

En los cortes coloreados con el método Nissl, los cuerpos celulares están dispuestos en capas horizontales superpuestas. Las capas se distinguen por los tipos, densidad y disposición de sus células. La laminación que se observa en los cortes coloreados para la mielina, está determinada principalmente por la disposición de las fibras horizontales o tangenciales, que varía en las diferentes capas.

Desde la superficie pial hacia la sustancia blanca subyacente, se distinguen las siguientes capas:

- I. Capa molecular: contiene células con axones horizontales y células de Golgi tipo II.
- II. Capa granular externa: formada por células granulares muy agrupadas.
- III. Capa piramidal externa: compuesta por dos subcapas de neuronas piramidales.
- IV. Capa granular interna: compuesta por células estrelladas densamente agrupadas, muchas de las cuales con axones cortos que se ramifican dentro de la capa. Algunas células proyectan axones a capas más profundas.

- V. Capa piramidal interna: consta sobre todo de neuronas piramidales de tamaño mediano y grande. Las dendritas apicales de las neuronas piramidales grandes ascienden hasta la capa molecular. Los axones de las células piramidales salen de la corteza mayormente como fibras de proyección.
- VI. Capa multiforme: contiene de manera predominante células fusiformes cuyos largos axones son perpendiculares a la superficie cortical. Los axones de estas células entran a la sustancia blanca, principalmente, como fibras de proyección.

Aparte de la laminación celular horizontal, la corteza también presenta una disposición vertical o radial de las células, que le otorga la apariencia de delgadas columnas celulares verticales que atraviesan todo su espesor. Estas columnas están bastante definidas en los lóbulos parietal, occipital y temporal y prácticamente ausentes en el lóbulo frontal.

La disposición columnar de las células de la corteza cerebral está determinada principalmente por la forma de terminación de las aferencias córticocorticales (JONES, 1981).

Áreas corticales

La corteza cerebral no tiene una estructura uniforme. Se ha trazado un mapa y se ha dividido en un número de áreas que difieren entre sí en el espesor total, el espesor y la densidad de capas individuales y en la disposición y el número de las células y fibras. Las variaciones estructurales son tan extremas en algunas áreas, que el patrón básico de seis capas prácticamente desaparece. Estas áreas se denominan heterotípicas, término antónimo de homotípico, que alude a la corteza en la que se distinguen con claridad las seis capas. El mapa de Brodmann de la corteza cerebral ha sido utilizado ampliamente como referencia (BRODMANN, 1909)

Áreas sensoriales de la corteza cerebral

Las regiones corticales localizadas a las cuales se proyectan impulsos relacionados con modalidades sensoriales específicas constituyen las áreas sensoriales primarias.

Las áreas sensoriales primarias están relacionadas, en especial, con la integración de la experiencia sensorial y con las cualidades discriminativas de la sensación. Con la excepción del olfato, los impulsos vinculados con todas las formas sensitivas llegan a áreas localizadas de la corteza cerebral a través de sistemas de proyección tálamocorticales. Las áreas sensoriales primarias establecidas en la corteza cerebral son:

- a. Área somatoestésica o somatosensorial primaria, constituida por la circunvolución postcentral y su extensión medial en el lobulillo paracentral (áreas 3, 1 y 2)
- b. Área visual o estriada, localizada a lo largo de los labios, borde superior e inferior de la cisura calcarina (área 17)
- c. Área auditiva, en el lóbulo temporal, en las circunvoluciones transversas de Heschl (áreas 41 y 42)
- d. Área gustativa, en la parte más ventral (opercular) de la circunvolución postcentral (área 43)
- e. Área olfatoria primaria, formada por la allocorteza de las regiones piriforme y periamigdalina, no tiene números asignados en la parcelación de Brodmann (CARPENTER, 1991).

Corteza cerebral auditiva

Podemos distinguir una o más áreas primarias rodeadas por áreas secundarias o de asociación. La corteza auditiva primaria se encuentra a nivel del lóbulo temporal. Este gran lóbulo se encuentra por debajo de la cisura lateral, y en su cara externa presenta tres circunvoluciones orientadas en forma oblicua: las circunvoluciones superior, media e inferior. La cisura temporal superior es paralela a la cisura lateral y, caudalmente, presenta una rama ascendente que

termina en la circunvolución angular. En el borde externo de la cisura lateral, varias circunvoluciones oblicuas forman las circunvoluciones transversas de Heschl; estas circunvoluciones transversas relativamente cortas, mediales a la parte posterior de la circunvolución temporal superior, constituyen la corteza auditiva primaria en el hombre. La corteza auditiva primaria o koniocortex equivale al área 41 de Brodmann y corresponde a la primera circunvolución temporal superior. El parakoniocórtex, incluido o no según los diversos autores en la corteza auditiva primaria, se corresponde con el área 42 de Brodmann y con el resto de las circunvoluciones transversas y el *planum temporale* (porción más lisa de la superficie superior del lóbulo temporal y caudal a las circunvoluciones transversas) (WEBSTER, 1992).

Hay pocos estudios de la arquitectura neuronal de la corteza auditiva del hombre, destacando el realizado por Cajal en el que describe la misma tipología neuronal que aparece en el córtex auditivo del resto de los mamíferos como el gato, con las neuronas piramidales características y las pirámides invertidas, células en candelabro, neuronas estrelladas espinosas o células piramidales pequeñas (RAMÓN Y CAJAL, 1904).

Se ha demostrado con técnicas neuromagnéticas la existencia de, al menos, una representación tonotópica dentro de la circunvolución temporal transversa. La pérdida bilateral de las circunvoluciones transversas origina una pérdida grave de la sensibilidad auditiva, pero permanece la discriminación de las frecuencias, así como la comprensión del lenguaje (KRAUS y GEE, 1992).

El *planum temporale*, por detrás del parakoniocórtex, y la parte posterior de la circunvolución superior comprende el área 22 que se extiende hacia el opérculo y el lóbulo parietal inferior. Este área, en el hemisferio izquierdo, se conoce con el nombre de área de Wernicke o área de la palabra. Es un centro de comprensión auditivo cuya lesión origina una afasia caracterizada por un déficit en la comprensión de las palabras que escuchamos. Para algunos autores este área se

extiende ocupando todo el lóbulo parietal inferior: el área 39, lóbulo angular, y el área 40, lóbulo supramarginal. Las áreas 39 y 40 son áreas polimodales, de integración de la información sensorial, auditiva, visual y somestésica, correspondiéndose, por tanto, con el córtex auditivo secundario de primates no humanos y otros mamíferos.

Todas las áreas corticales están interconectadas con la corteza cerebral auditiva del hemisferio contralateral por medio del cuerpo caloso. Dentro de cada hemisferio el fascículo arcuato constituye la principal vía de asociación auditiva. Este fascículo interconecta el área de Wernicke y el lóbulo parietal con el área de Broca o área *triangularis* de la circunvolución frontal inferior. El área de Broca comprende las áreas 44 y 45 de Brodmann y es el centro motor del lenguaje. Se localiza al lado de la circunvolución precentral que controla los movimientos de la expresión de la cara, la articulación y la fonación. Normalmente, la lesión del área de Broca origina una afasia en la cual la comprensión de la palabra está bastante conservada, pero aparecen fallos graves en la vocalización de las palabras y en la construcción de las frases (CLARKE y cols., 1995; BRODMANN, 1909).

3.2.7 VIA AUDITIVA EFERENTE

La vía auditiva descendente se organiza como un entramado complejo y escalonado de conexiones que se inician en la corteza cerebral y, finalmente, alcanzan el órgano de Corti. Los axones de neuronas localizadas en las capas profundas del córtex auditivo modulan, principalmente, la actividad de centros auditivos talámicos y foliculares. Igualmente, los axones de neuronas foliculares modulan a neuronas del complejo olivar superior y de los núcleos cocleares. Por último, el haz olivococlear que tiene su origen en el complejo olivar superior, proporciona la inervación eferente de la cóclea (HUFFMAN y HENSON, 1990).

Proyecciones auditivas corticofugas

Las proyecciones descendentes de la corteza se originan en neuronas piramidales de las capas V y VI. Los axones de estas neuronas abandonan el córtex siguiendo una trayectoria paralela a los axones auditivos ascendentes. Los axones de la capa V llegan hasta el colículo y centros auditivos troncoencefálicos, mientras que los axones de las neuronas de la capa VI terminan a nivel talámico (BAJO y cols., 1995).

El circuito corticotalámico: el fenómeno de atención selectiva

Los núcleos auditivos talámicos están recíprocamente interconectados con la corteza cerebral. De tal forma que el tálamo tonotópico (división ventral del cuerpo geniculado medial y parte lateral del núcleo posterior) proyecta y recibe proyecciones de las áreas auditivas primarias. El tálamo auditivo polimodal (división dorsal del cuerpo geniculado medial) proyecta y recibe proyecciones del córtex auditivo secundario, mientras que el tálamo auditivo no tonotópico o difuso (división medial del cuerpo geniculado medial) proyecta y recibe proyecciones difusas de todo el córtex auditivo. Tanto las proyecciones ascendentes como las descendentes son proyecciones excitadoras y este circuito se encuentra modulado por las neuronas gabaérgicas del núcleo lenticular del tálamo que, invadas por colaterales de los axones corticotalámicos, invanan a las propias neuronas talámicas del cuerpo geniculado medial (IMIG y MORET, 1983).

Proyecciones corticocoliculares

Estas proyecciones se originan en las neuronas piramidales de la capa V del córtex auditivo y terminan fundamentalmente en la corteza del colículo inferior ipsilateral. Esta proyección, aún siendo glutamaérgica y, por tanto, excitadora, origina en las neuronas del colículo inferior respuestas tanto excitatorias como inhibitorias de tal modo que dicho circuito termina tanto sobre neuronas coliculares de proyección ascendente como sobre interneuronas coliculares gabaérgicas (ANDERSEN y cols., 1980).

Proyecciones corticosubcoliculares

En algunos animales experimentales como la rata, el ratón o la cobaya, se han descrito proyecciones desde el córtex auditivo primario que alcanzan algunos centros troncoencefálicos como el núcleo *sagulum*, regiones paralemniscales, regiones periolivares, el núcleo coclear dorsal y la región de los granos que rodea al núcleo coclear ventral. Aunque es necesario conocer si estas proyecciones son comunes a todos los mamíferos y su significado funcional, llama la atención que la modulación de la corteza primaria sobre el tronco del encéfalo se lleve a cabo a través de centros que no pertenecen a la vía tonotópica lemniscal (SALDAÑA y cols., 1996).

Proyecciones descendentes del colículo inferior

Algunas neuronas del colículo inferior envían su axón por el lemnisco lateral hasta el complejo olivar superior ipsilateral y los núcleos cocleares de ambos lados. En el complejo olivar superior, esta proyección modula la contracción de las células ciliadas externas (MALMIERCA y cols., 1996).

El haz olivococlear

Cada cóclea está inervada por 2.000 fibras eferentes u olivococleares que proceden del complejo olivar superior y que modulan la actividad coclear. Con el empleo de técnicas de transporte axónico, se han demostrado dos tipos de eferentes cocleares: el sistema olivococlear lateral, que termina bajo las células ciliadas internas, y el sistema olivococlear medial, que termina principalmente en las células ciliadas externas (WARR, 1975). Las fibras olivococleares laterales y mediales se dirigen dorsalmente formando un haz compacto, ventral a la terminación anterior de la rodilla del nervio facial. Las fibras directas se reúnen lateralmente y las fibras cruzadas se sitúan medialmente reunidas con las fibras directas al lado contrario. El haz olivococlear abandona el tronco del encéfalo con el nervio vestibular y entra en la cóclea a nivel de la anastomosis de Oort, en disposición mediobasal. Las fibras eferentes continúan apical y basalmente en el

haz espiral intragangliónico y giran externamente para entrar en el órgano de Corti (LIBERMAN y BROWN, 1986).

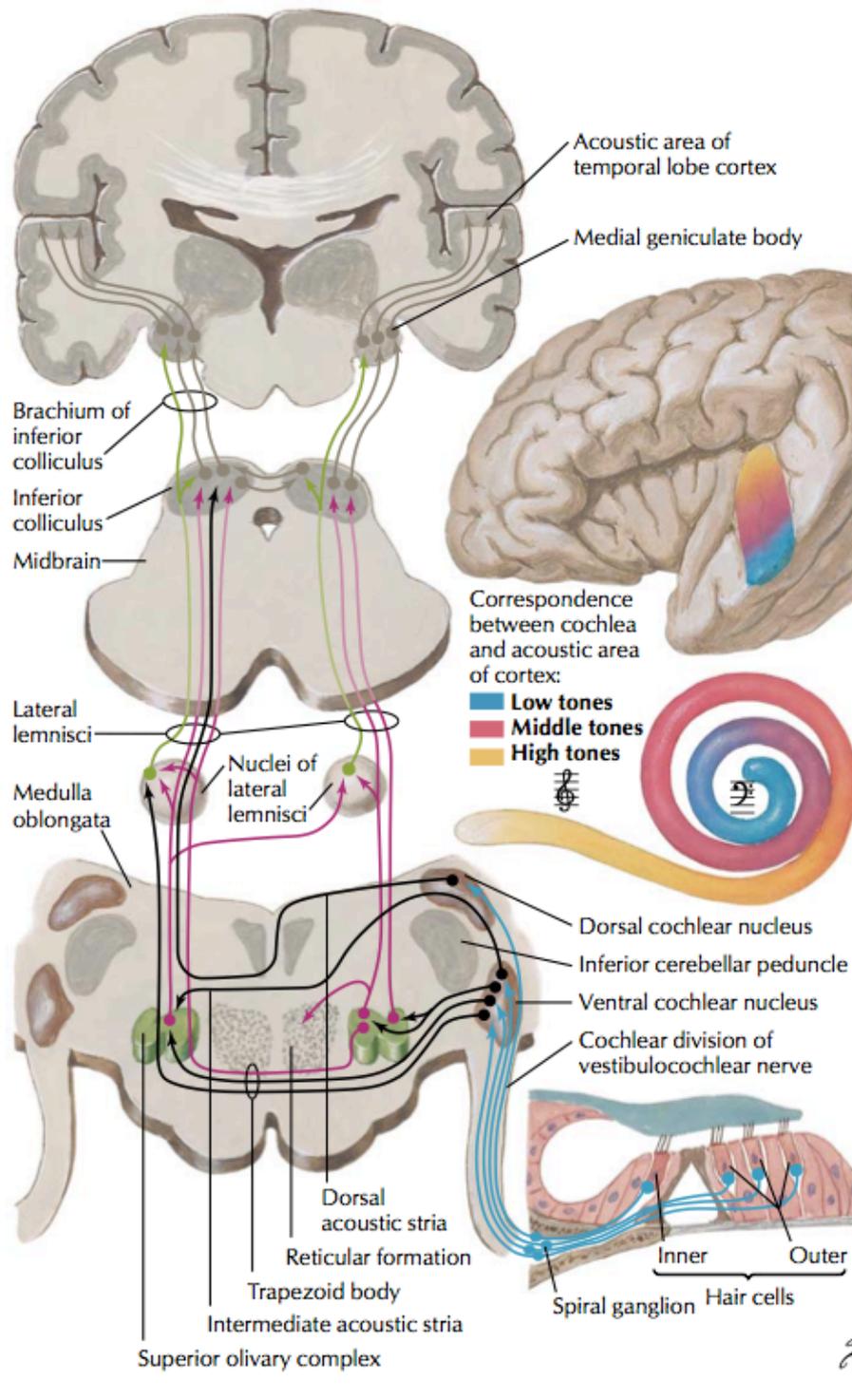


Fig. 22. Resumen de la vía auditiva (Esquema tomado de Netter FH y cols. Atlas of neuroanatomy and neurophysiology. Selections from the Netter Collection of Medical Illustrations, 2002).

3.3 TÉCNICAS DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEN PARA EL ESTUDIO DEL HUESO TEMPORAL Y LA VÍA AUDITIVA

El estudio radiológico del hueso temporal supone un desafío debido a la existencia de gran cantidad de estructuras de escaso tamaño que se concentran en un espacio pequeño. En esta región existen una gran variedad de tejidos que no pueden ser evaluados de una manera óptima mediante una única técnica radiológica. Por tanto, se debe emplear la tomografía computarizada (TC) y la resonancia magnética (RM), con protocolos que permitan una máxima resolución para la valoración de las diferentes estructuras.

El empleo de la TC irá encaminado a descartar patología en el ámbito de los espacios aéreos y huesos corticales. La RM nos aporta mayor información en la valoración de los nervios craneales y permite mejor visualización de los elementos del oído interno. Estas diferencias se deben a que la RM es más sensible a los efectos del gadolinio, que la TC a los medios de contraste yodados. Por lo que estas técnicas en muchas ocasiones son complementarias.

La RM también se puede emplear para obtener información angiográfica con excelentes resultados, aunque la técnica de elección, en casos de patología vascular compleja, sigue siendo el cateterismo angiográfico (CHAKERES y SPIEGEL, 1984; BAGGER-SJOBACK y cols., 1990; GREEN y cols., 1990; JACKLER y DILLON, 1998; FATTERPEKAR y cols., 2006).

3.3.1 RADIOGRAFÍA SIMPLE

El empleo de radiografía simple en el hueso temporal es muy limitada. La radiografía con la proyección de Stenvers se suele emplear para verificar la colocación de un implante coclear. La cabeza del paciente se oblicua 45 grados de manera contralateral al implante y por otro lado se oblicua 15 grados el haz de rayos X.

Esta proyección tiene especial importancia cuando el paciente está en el quirófano y se quiere comprobar la localización del implante intraoperatoriamente (SWARTZ y LOEVNER, 2009).

3.3.2 TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

Desde que W.C. Roentgen descubrió los rayos X en 1895, la radiología convencional ha proporcionado imágenes del cuerpo humano. Sin embargo, una de las mayores limitaciones de esta técnica es la superposición de estructuras con tejidos diferentes en la radiografía (dos dimensiones), de forma que se produce la superposición de una información tridimensional.

Los trabajos del matemático J.H. Radon, en 1917, acerca de la reconstrucción de imágenes transversales a partir de medidas de transmisión y de A.M. Cormack, sobre el análisis matemático de las condiciones suficientes de adquisición de datos de un sistema biológico, unidos a la aparición de los ordenadores, permitieron a G.N. Hounsfield el desarrollo de la TC en 1972. La primera TC de cuerpo entero se consiguió en 1974 y en 1979, Hounsfield y Cormack recibieron el Premio Nobel de Medicina.

Esta técnica permite obtener secciones axiales del cuerpo humano con la visualización de muchas estructuras anatómicas incluidas en una sección, desde la superficie al interior, sin superposición de estas, con gran detalle y buena discriminación entre las diferentes densidades físicas.

La obtención de la imagen mediante TC está fundamentada en la medición de la atenuación de los rayos X que atraviesan diferentes secciones del cuerpo humano en un gran número de direcciones angulares y que se expresa mediante esta ecuación:

$$I_x = I_0 \times e^{-\mu x}$$

Todo esto se consigue mediante un conjunto compuesto por el tubo emisor de rayos X y una serie de detectores enfrentados al tubo, que rotan de forma solidaria alrededor del paciente.

En los equipos de TC actuales, el haz de rayos X tiene forma de abanico en el plano axial y la detección de la intensidad del haz que atraviesa al paciente se efectúa mediante hileras que contienen cientos de elementos detectores.

Un sistema de TC moderno adquiere aproximadamente 1.400 proyecciones en 360°. Cada una de éstas comprende los datos obtenidos a partir de miles de detectores, por tanto se generan miles de ecuaciones que se deben resolver de manera espontánea, lo que hace necesario el uso de computadoras con gran capacidad de cálculo, de ahí el término de computarizada. Para reconstruir las imágenes de las secciones transversales del paciente a partir de las medidas de transmisión del haz se utiliza la técnica de retroproyección filtrada, que resuelve el conjunto de ecuaciones generadas en el estudio. El método consiste en obtener las proyecciones irradiando el plano que se va a representar desde múltiples direcciones. Cada proyección se somete a una función matemática de filtrado que realza los bordes eliminando las distorsiones de la imagen (elimina la falta de definición). Después, las proyecciones filtradas se vuelven a proyectar en la misma dirección (retroproyección).

Los valores de píxel en las imágenes reconstruidas son proporcionales al coeficiente de atenuación lineal del tejido (μ_{tejido}) en la sección transversal correspondiente del cuerpo, debida a los procesos de absorción y dispersión de los fotones del tejido.

Los valores de densidad se normalizaron respecto a un material de referencia, el agua, y se representaron dentro de una escala de grises en la que el blanco correspondía al valor de máxima densidad y el negro al valor de mínima densidad. En esta escala se estableció como unidad de absorción el Hounsfield,

unidades Hounsfield (UH), de manera que el valor en UH que corresponde a un tejido concreto será:

$$UH = ((\mu_{\text{tejido}} - \mu_{\text{agua}}) / \mu_{\text{agua}}) \times 1000$$

Los valores tipo del número TC o unidades Hounsfield para diferentes materiales o tejidos son:

- Aire : del orden de -1.000 UH
- Agua: de 0 UH
- Tejidos grasos: de -80 a -100
- Pulmón: entre -600 y -950 UH
- Tejidos blandos: entre 20 y 70 UH
- Hueso compacto: del orden de 800-900 UH

Las imágenes de TC se representan en una escala máxima de 256 niveles de gris, lo que se consigue mediante una conversión lineal de los valores de UH a valores relativos de gris, por ello hay que fijar dos parámetros para visualizar lo que nos interese en cada momento:

- Anchura de ventana: fija los valores máximo y mínimo, en UH, que se representan en la escala de grises (blanco el valor máximo y negro el mínimo)
- Nivel de ventana: define el valor central, en UH, de la ventana seleccionada.

Así, si el valor de la anchura de la ventana fuera 1.000 UH y el del nivel, 100 UH, en la imagen aparecerían en blanco todos los píxeles con valor igual o mayor que 600 UH y en negro aquellos con valor igual o menor que -400 UH, entre ambos extremos se visualizaría una gama de grises proporcional.

La introducción, en 1989, de la TC helicoidal o espiral representa un salto cuantitativo muy importante en el desarrollo de esta tecnología. En un equipo

helicoidal, la adquisición o medida de los valores de la intensidad de rayos X emergente se realiza combinando la rotación continua del tubo emisor de rayos X con un desplazamiento lineal de la mesa del paciente a través del túnel de la carcasa (gantry). Esto permite adquirir los datos de medida de un volumen de interés relativamente amplio en una suspensión respiratoria.

Diez años después se introdujeron los equipos multicorte, a los que se fueron añadiendo hileras de detectores que permitían adquirir y medir simultáneamente grandes cantidades de perfiles de transmisión de los rayos X.

Los detectores, hechos de materiales centelleadores, muy eficientes han ido disminuyendo su tamaño para mejorar la colimación así como también ha ido aumentando la velocidad del tubo, lo que aumenta la rapidez en la realización de estudios.

Por tanto, con los equipos más modernos de TC multicorte es posible explorar prácticamente todo el cuerpo de un adulto en el transcurso de una única suspensión respiratoria, con espesores de corte submilimétricos.

Otro desarrollo tecnológico novedoso en la TC ha sido la fuente dual de rayos X que emplea dos tubos de rayos X, que trabajan con un voltaje diferente, con sus respectivos detectores, lo que permite una mejora de la resolución temporal.

3.3.2.1 Angio TC

Es una técnica no invasiva que permite estudiar la vascularización cerebral y valorar alteraciones morfológicas como las estenosis y aneurismas, sobre todo.

Hay que tener en cuenta los parámetros adecuados para la obtención de la imagen así como saber cuando vamos a obtener el máximo realce arterial tras la introducción del contraste.

Se suele emplear contraste yodado no iónico a alto flujo, unos 4 ml/s suele ser lo habitual, seguido de una inyección de suero salino, este último disminuye los artefactos de endurecimiento del haz que origina el yodo.

En la actualidad es necesario disponer de estaciones de trabajo de gran capacidad que permitan el manejo de toda la información que nos aportan estos estudios, obteniendo imágenes que van a ser complementarias para llegar a un diagnóstico correcto.

El principal inconveniente de esta prueba es el empleo de radiaciones ionizantes y las derivadas del contraste tales como las alergias y la limitación en los pacientes con insuficiencia renal (ZARAGOZA, 1992; CABRERO 2002; GROSMANN y YOUSEM, 2007; DEL CURA y cols., 2009).

3.3.3 RESONANCIA MAGNÉTICA

Los primeros experimentos de Resonancia Magnética se realizaron en 1945 en la Universidad de Stanford (Félix Bloch). En 1946 se hicieron las primeras pruebas con objetos sólidos en la Universidad de Harvard (Edward Purcell). Ambos investigadores, Bloch y Purcell, compartieron premio Nobel de física en 1952 por este descubrimiento.

En 1967, Jasper Jackson comenzó a aplicar los descubrimientos logrados hasta entonces en organismos vivos.

En 1973 Paul Laterbury publicó las primeras imágenes de resonancia magnética que realizó a dos tubos llenos de agua. En 1979 se obtuvieron las primeras imágenes de una cabeza humana. En 1981 se instala en Londres el primer prototipo de tomógrafo por resonancia magnética. En 1983 el American College of Radiology considera a la tomografía por RM como técnica estándar en el

campo del diagnóstico médico, y en Diciembre de 1983 se obtiene en España la primera tomografía en un centro médico de Barcelona.

La RM se basa en la interacción con la materia de campos magnéticos y ondas de radiofrecuencia; el fenómeno del magnetismo tiene su origen en el movimiento de partículas cargadas eléctricamente. La magnetización se refiere al fenómeno producido por la orientación no aleatoria del campo magnético de los electrones (átomos).

Los núcleos atómicos poseen un pequeño momento o campo magnético que es el que se utiliza para la obtención de las imágenes de RM. Este magnetismo nuclear tiene su origen en el spin nuclear y el momento angular asociado a él y se encuentra relacionado con el número atómico y con el número másico del átomo.

El hidrógeno es un buen elemento para obtener imágenes de RM ya que es el núcleo más abundante en el cuerpo, tiene un momento magnético muy grande, y se prestará bien a emitir una señal de radiofrecuencia cuando sea sometido a un campo magnético y estimulado por una señal de radiofrecuencia.

Al someter al paciente al campo magnético del imán, el momento magnético de los núcleos de hidrogeno se orientará en la dirección del campo. Posteriormente, se aplica un pulso de radiofrecuencia, cuya frecuencia es la misma que la frecuencia de resonancia de los núcleos de hidrogeno, orientando el momento magnético de estos átomos en otro sentido, de esa manera los átomos de hidrogeno absorben energía del haz de radiofrecuencia y empiezan a girar acompañados (fenómeno de resonancia). Cuando cesa el pulso de radiofrecuencia se produce una liberación de energía, en forma de onda de radiofrecuencia debido a la vuelta del momento magnético de los núcleos a su orientación inicial (relajación), esa onda de radiofrecuencia es portadora de gran cantidad de información. En el fenómeno de relajación existen dos fenómenos que se representan mediante dos curvas, existe una relajación longitudinal o T1, que es

el tiempo que tarda la magnetización longitudinal en recuperar el 63% de su estado de equilibrio y una relajación transversal o T2 que es el tiempo que tarda la magnetización transversal inducida en descender en un 63% de su fuerza máxima, estas curvas nos aportarán información para la formación de la imagen. Las diferencias de densidad nuclear (del hidrógeno) en los tejidos y los tiempos de relajación distintos, determinan la intensidad de la señal.

Para obtener la señal de cada volumen estudiado, vóxel, se emplean los gradientes de campo magnético, que son variaciones lineales de intensidad del campo magnético global en función del espacio, que se añaden transitoriamente al campo principal para poder localizar las señales que corresponden individualmente a cada vóxel y determinar que áreas (planos) van a entrar en resonancia. Suelen ser del orden de un Gauss por cm. Estos gradientes provocan atracciones y repulsiones entre las bobinas, que se traducen en una vibración y, por tanto, en un sonido, de manera que cada combinación de gradientes presenta un ruido característico.

Existen unos parámetros extrínsecos que sirven para potenciar las diferencias de composición de los tejidos que van a determinar diferencias en los T1 y T2 de los mismos. Son seleccionados por el operador y son el tiempo de repetición (TR), que es el tiempo entre un pulso de radiofrecuencia y el siguiente, y el tiempo de eco (TE), que es el tiempo que transcurre entre un pulso de radiofrecuencia y la obtención de un eco.

Las secuencias son series de pulsos de radiofrecuencia y gradientes que se aplican bajo el control de un ordenador para la formación de las imágenes. Básicamente determinan la inclinación del vector de magnetización, el tiempo que tiene que transcurrir entre cada pulso de excitación (TR) y el tiempo de adquisición de la señal del eco (TE), las principales son:

1. Secuencia spin eco (SE): es la más utilizada. En ella se emplean dos pulsos de radiofrecuencia, uno a 90 grados para hacer bascular el vector de magnetización longitudinal al plano transversal, y el otro de 180 grados, para refocalizar los espines desfasados y recuperar de nuevo la magnetización longitudinal.
2. Secuencia Eco Gradiente (EG): se diferencia de la anterior en que en lugar de un pulso de 90 grados, utiliza un ángulo de basculación menor de 90 grados y en lugar de un pulso de 180 grados, se emplea un gradiente bipolar, que son dos gradientes de igual magnitud pero de signos opuestos.
3. Secuencia en turbo spin eco (TSE) o spin eco rápida: utiliza por cada TR un pulso de 90 grados seguido de varios pulsos de 180 grados. Así se obtienen varios ecos por cada aplicación de un TR. Se utiliza para sustituir la secuencia spin eco T2 clásica que es muy larga. Tiene la ventaja de que da menos inhomogeneidades, pero mantiene la grasa con alta señal, brillante en T2.
4. Secuencia de supresión grasa: secuencias STIR (short time inversion recovery) y secuencias FAT SAT (fat saturation). En la secuencia STIR se suprime la grasa mediante la aplicación de un pulso inversor de 180 grados, que invierte la magnetización longitudinal antes de que actúe el pulso de 90 grados y de 180 grados. El pulso inversor es de 120 a 150 mseg y anula o satura la grasa. La técnica FAT SAT o SPIR (spectral presaturation with inversion recovery) se usa con cualquier tipo de secuencia (SE, Eco gradiente o secuencia SE rápida ponderada en T1 o T2) y consiste en la aplicación de un pulso previo de inversión, pero de banda estrecha, que sólo suprime la grasa, quedando el agua sin alterarse. Tienen el inconveniente de que las imágenes son de peor calidad que las secuencias SE convencionales. La secuencia STIR tiene peor calidad que la SPIR, y la secuencia FAT SAT

puede mejorar adicionalmente la calidad de la imagen señal-ruido, mediante el uso de gadolinio.

Por último hay que reseñar una serie de contraindicaciones para el uso de la RM como son los marcapasos cardíacos, cables de marcapasos epicárdicos, desfibriladores de cardioversión, neuroestimuladores, implantes cocleares, estimuladores del crecimiento óseo, bombas de irrigación interna y cualquier otro sistema biomecánico implantado y controlado o activado eléctrica, magnética o mecánicamente. También está contraindicada en algunos pacientes con grapas de aneurisma intracraneal o cuerpos extraños en el ojo.

3.3.3.1 Angio RM

Esta técnica permite de una manera no invasiva el estudio de los vasos cerebrales con una sensibilidad y especificidad próxima al 90% sin necesidad de emplear radiaciones ionizantes ni contraste yodado.

La angiografía por RM representa la imagen del flujo sanguíneo en los vasos. Para una correcta interpretación debemos conocer los mecanismos de contraste empleados y los artefactos que podemos encontrar.

La angiografía por RM se puede clasificar en imágenes de sangre blanca e imágenes de sangre negra.

Las imágenes de sangre negra permiten el estudio de la morfología del vaso y su relación con estructuras adyacentes. Se emplean secuencias de inversión recuperación, de manera que hay que emitir dos pulsos: primero uno de 90° y luego otro de 180°; al estar los protones en movimiento, el pulso de 180 no lo van a recibir, porque los protones ya han salido del corte, de manera que se va a originar un vacío de señal por ausencia de eco, por eso veremos la sangre negra.

En las imágenes de sangre blanca la sangre aparecerá más brillante y tenemos tres técnicas:

- TOF (Time of Flight): en este caso se satura el tejido estacionario para que de poca señal, la sangre recibe un pulso de excitación, dando así mayor señal que el tejido estacionario. Se puede diferenciar entre 2D TOF, que se emplea en zonas de flujo lento, tales como miembros inferiores, y 3D TOF, que se emplea en zonas con flujo alto y en regiones donde no existe movimiento del tejido estacionario. Se pueden emplear técnicas de postprocesado como las proyecciones de máxima intensidad (MIP), donde se visualizaran los píxeles de máxima intensidad.
- Contraste de fase: se aplican gradientes bipolares de desfase pero de sentido contrario. Existe un desfase proporcional a la velocidad a la que se mueven a lo largo del gradiente. En estos estudios se muestra una imagen módulo de flujo en la que se representan los vasos en blanco y otra imagen de flujo de fase en la que únicamente se visualiza la dirección del flujo: en blanco a favor del gradiente y en negro en contra. Es la única técnica que permite hacer cuantificación del flujo, sin embargo tiene tiempos de exploración mayores que el TOF y no permite distinguir entre flujo venoso y arterial.
- Angiografía 3D con gadolinio: esta técnica esta desplazando a las anteriores. Se emplea un contraste que acorta el T1 de la sangre, creando un gran contraste. Se emplean secuencias dinámicas precontraste, fase arterial y después para estudiar fase venosa y de equilibrio (ZARAGOZA, 1992; HENDRICK, 1994, CABRERO 2002; POOLEY, 2005; GROSMANN y YOUSEM, 2007; DEL CURA y cols., 2009).

3.3.3.2 Tensor de difusión

El tensor de difusión es una técnica reciente, realizada mediante RM, que permite evaluar la integridad de las fibras nerviosas de la sustancia blanca. Esta técnica tiene su origen en la secuencia tradicional de difusión, empleada sobre todo en los infartos isquémicos (YANG y cols., 2011).

La secuencia de difusión está basada en el movimiento "browniano", aleatorio, constante y normal, de las moléculas de agua dentro de un tejido o sustancia. Es importante recordar que en los tejidos biológicos no existe una difusión libre o igual en todas direcciones (isotrópica), ya que las estructuras constituyentes (membranas, etc.) y las interacciones químicas se presentan como límites a ese movimiento. Por lo tanto, esto determina una difusión anisotrópica. Una de las representaciones gráficas de la difusión es el mapa de ADC (Coeficiente de Difusión Aparente) donde las zonas oscuras representadas en esta secuencia traducen restricción de la difusión (MORI y cols., 1999; ROMERO y cols., 2007; LECLERQ y cols., 2010).

Con la aplicación del tensor de difusión se pone de manifiesto la difusión anisotrópica, que asume que las moléculas de agua, durante un tiempo limitado, estarán contenidas en un volumen (volumen elipsoide) cuyo eje mayor tiene la orientación de las fibras. El modelo del tensor de difusión es una matriz diagonal y simétrica 3 x 3, que necesita como mínimo 6 direcciones de codificación espacial. Los valores de difusión se representan mediante eigenvalues ($\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$) según los tres ejes ortogonales del espacio. El mayor de los tres eigenvalues corresponde al eigenvector que describe la principal dirección de las fibras en un punto determinado. A partir de estos vectores se calculan unos parámetros: el volumen ratio (VR), ratio anisotropy (RA) y fractional anisotropy (FA), este último es el más usado y más sensible a valores bajos de anisotropía. Es una variable numérica cuyos valores oscilan entre 0 (máxima isotropía), tal como la observada en espacios subaracnoideos y ventrículos normales, donde el agua se

moviliza libremente y, 1 (máxima anisotropía) por restricción en el movimiento del agua tisular (MELI y cols., 2005; HANGMANN y cols., 2006; NEWTON y cols., 2006; RECIO y cols., 2013).

La representación de los valores obtenidos mediante los parámetros descritos previamente, se realiza con los mapas de anisotropía codificados por color, donde se adjudican diferentes colores a los vóxeles en función de la dirección de difusión, es decir el eigenvector de cada uno de ellos (azul para la dirección superior-inferior, verde para anterior-posterior y rojo para izquierda-derecha), aunque hay que decir que esta técnica no distingue entre los dos sentidos de una misma dirección, es decir el haz corticoespinal no puede diferenciarse del somatosensorial, aunque si pueden diferenciarse en la tractografía. Uniendo los vóxeles, se crean los mapas de orientación de fibras en color, que nos permiten detectar los diferentes haces de la sustancia blanca. La magnitud de anisotropía se representa como grado de iluminación de la imagen en color (SCHAEFER y cols., 2000; WIEGELL y cols., 2000; JELLISON y cols., 2004; QIU y cols., 2012).

La tractografía es la representación en 3D de la imagen por tensor de difusión y se puede representar mediante un mapa de color obtenido a partir de la direccionalidad del desplazamiento de las moléculas del agua a lo largo de los tractos de la sustancia blanca, y en los tres ejes del espacio : “x” derecha-izquierda, “y” antero-posterior y “z” rostro-caudal, de manera que la tractografía se reconstruye determinando la dirección del movimiento en cada vóxel. A partir de los mapas en color 2D, un software intenta trazar las fibras que conectan 2 regiones de interés (ROIs) trazados por el usuario. En cada vóxel el programa asume que la dirección de máxima difusividad coincide con la orientación de los haces de la sustancia blanca. Esta técnica puede causar problemas en las áreas de cruce de fibras, al no entender bien estas regiones (MUKHERJEE y cols., 2008; MUKHERJEE y cols., 2008; RASCOVSKY y cols., 2008).

La principal aplicación del tensor de difusión junto con la RM funcional está centrada en aportar información en la planificación prequirúrgica de tumores cerebrales y puede integrarse en un sistema estándar de neuronavegación.

Otras aplicaciones son: el estudio del infarto cerebral ya que presenta valor pronóstico por su capacidad de valorar la integridad de los tractos de la sustancia blanca adyacentes al área isquémica y por su capacidad de evaluar la degeneración walleriana secundaria al infarto. También se emplea en la valoración de traumatismos craneoencefálicos, en el estudio de la esclerosis múltiple, en la valoración de las vías frontales en la esquizofrenia y se puede aplicar para el estudio de la epilepsia.

La aplicación del tensor de difusión es la técnica no invasiva que permite la visualización de los tractos de la sustancia blanca y, la correlación con los datos clínicos y anatomopatológicos están permitiendo su consolidación como método diagnóstico neuroradiológico (ERIKSSON y cols., 2001; FILIPPI y cols., 2001).

3.3.3.3 Resonancia magnética funcional (RMf)

En la actualidad el empleo de esta técnica tiene su principal papel en la localización prequirúrgica de la función encefálica para identificar la corteza elocuente y reducir las complicaciones postoperatorias, principalmente en tumores cerebrales. Hasta ahora se empleaban la tomografía por emisión de positrones, la electroencefalografía y la magnetoencefalografía, sin embargo las limitaciones de estas técnicas no permitían una adecuada localización del funcionamiento encefálico.

Los recientes desarrollos de la RM basados en la posibilidad de detectar cambios de oxigenación de la sangre y en la adquisición de imágenes rápidas, han dado lugar a técnicas que permiten medir en todo el encéfalo y de forma no invasiva

los procesos fisiológicos que se creen relacionados con la actividad neuronal, es lo que conocemos como Resonancia Magnética Funcional (RMf).

Como ya se ha comentado, los cambios en la oxigenación de la sangre constituyen la base de esta técnica. La deoxihemoglobina es paramagnética porque los electrones desapareados tienen un momento magnético muy alto, por el contrario cuando el oxígeno se une a la molécula de Hb (oxihemoglobina), uno de los electrones desapareados se transfiere a la molécula de oxígeno, eliminando el momento magnético y el carácter paramagnético de la Hb. La sangre desoxigenada produce variaciones locales del campo magnético, de igual modo que los medios de contraste paramagnéticos exógenos aumentan el desfase de espín a espín de la señal de RM, y podría considerarse como un agente de contraste interno cuando se utilizan secuencias sensibles a las inhomogeneidades del campo magnético (MENENDEZ-COLINO y cols., 2004).

Thulborn en 1982, demostró que el porcentaje de señal de deoxihemoglobina decaía más rápidamente que el de la oxihemoglobina (THULBORN y cols., 1982). Este descubrimiento junto con los trabajos de Kwong y Ogawa (KWONG y cols., 1992; OGAWA y cols., 1992), demostraron que los cambios en deoxihemoglobina en el córtex visual de los humanos, cuando el sujeto es estimulado por la luz de una linterna, eran suficientes para medir cambios en las imágenes de eco de gradiente mediante resonancia magnética de cortes de la fisura calcarina. Esta técnica se denominó Contraste Dependiente del nivel de oxigenación en sangre (BOLD= Blood Oxigenation Level Dependent Contrast) (TURNER y cols., 1998; DAGLI y cols., 1999).

La técnica BOLD permite el estudio de la activación cerebral sin el uso de agentes de contraste externos ni de sustancias radioactivas y con la resolución espacial de la RM. La señal observada indica un descenso relativo de la concentración de deoxihemoglobina.

Durante la estimulación de una región cortical determinada existe, de la misma manera, un aumento de la perfusión que excede el consumo de oxígeno (TURNER, 1994; MALONEK y GRINVALD, 1996) de forma que gran parte de la sangre oxigenada pasa al retorno venoso.

La presencia de oxihemoglobina (diamagnética, sin efecto sobre el campo magnético) en las venas amortigua las inhomogeneidades del campo, con lo que el desfase de los espines (disminución de la señal T2) no se produce y se recoge una señal mayor en el área activada que la que se produciría en reposo.

Por tanto, hay que señalar que el contraste BOLD ocurre, no porque la hemoglobina oxigenada aumenta sino, porque la hemoglobina desoxigenada suprime la intensidad de la señal de RM, y al ser desplazada por el flujo de sangre con mayor concentración de hemoglobina oxigenada, permite la obtención de una mayor señal de RM (CAICEDO y ALDANA, 2010).

Para evaluar la actividad cerebral, se compara la señal recogida en reposo y en activación, recogiendo un gran número de imágenes cerebrales de manera consecutiva. Se emplean las imágenes en ausencia de estímulo como control, que serán comparadas con las imágenes tras el estímulo (OGAWA y cols., 1998; SUNAERT y cols., 1998).

Para la realización de esta técnica es necesario obtener los datos de manera rápida por lo que hay que evitar exploraciones que duren varias horas; por otro lado, existen tareas perceptivas o cognitivas que pueden llevarse a cabo solo unos pocos minutos sin que se produzca habituación, fatiga o aburrimiento. También es necesario una inmovilización de la cabeza para evitar artefactos por movimiento. La técnica que permite adquirir datos a gran velocidad con resolución espacial razonable es el empleo de secuencia EPI (Echo Planar Imaging) (STEHLING y cols., 1991).

El empleo de la RMf, actualmente, no está muy extendido. En la práctica clínica habitual se ha empleado para el estudio de la adaptación funcional a la pérdida de capacidad auditiva secundaria a procesos traumáticos, como en la cirugía del schwannoma del VIII nervio craneal, y así estudiar la nueva organización cortical en la vía auditiva.

La RMf se ha mostrado útil en el estudio del tinnitus, patología, fundamentalmente, de afección coclear, aunque existen muchas otras causas; una de las cuales es la actividad neural anormal en algún punto de la vía auditiva, que puede valorarse mediante esta técnica; por lo que es en el estudio del tinnitus donde esta técnica es más prometedora. Por último, la RMf se está empleando en la valoración de los candidatos a implante coclear, ya que permite valorar la actividad cortical a los estímulos auditivos y así conocer si el implante coclear va a ser realmente útil (SCHEFFLER y cols., 1998; CACACE y cols., 1999; SCHMIDT y cols., 2001).

3.4 ASPECTOS PATOLÓGICOS DE LA VÍA AUDITIVA

Las estructuras que engloban la vía auditiva, principalmente el hueso temporal y regiones adyacentes, son afectados por diferentes procesos patológicos, algunos benignos y otros con gran potencial maligno, por ello es de gran importancia el conocimiento de la anatomía normal. Cualquier alteración de la anatomía puede ser sinónimo de patología.

En este apartado vamos a describir los procesos patológicos más representativos que afectan a la vía auditiva, sin llegar a profundizar en sus detalles ya que superaría el objetivo de nuestro estudio.

Anomalías congénitas

Las anomalías congénitas son alteraciones en el desarrollo normal de la anatomía, no hay que confundirlas con las variantes anatómicas, éstas últimas no producen alteraciones funcionales.

Las anomalías congénitas pueden ser secundarias a fármacos (talidomida), infecciones congénitas (citomegalovirus o rubeola) o debidas a trastornos genéticos, éstas últimas suelen ir asociadas a un epónimo.

La afectación en las diferentes malformaciones va a depender del momento embriológico en el que se produce la agresión. La afectación del oído interno y medio no suele asociarse con afectación del oído externo ya que su origen embriológico es diferente.

Podemos clasificar las malformaciones del oído interno en dos tipos:

- Categoría A (aplasia coclear o malformación), donde incluimos la aplasia de Michel (aplasia laberíntica), aplasia coclear, vestibular y de canales semicirculares, hipoplasia coclear, cóclea incompleta y cavidad común.
- Categoría B (cóclea normal), donde incluimos la displasia vestibular y del canal semicircular lateral, y el acueducto vestibular dilatado (SOM y CURTIN, 2004; GROSSMAN y YOUSEM, 2007; KROMBACH y cols., 2008; DEL CURA y cols., 2009; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

Patología inflamatoria

En este apartado tenemos que diferenciar principalmente entre otitis media y el colesteatoma. Se trata de entidades relacionadas y a veces difíciles de diferenciar entre ellas, aunque existen una serie de hallazgos radiológicos que nos pueden orientar hacia una u otra.

La otitis media es la inflamación aguda de tipo viral o bacteriano de la mucosa del oído medio mientras que el colesteatoma es una invasión, por parte del

epitelio del conducto auditivo externo, hacia la caja timpánica, dicha invasión se produce por una perforación de la membrana timpánica, que suele ser a nivel de la parte flácida.

En el caso de la otitis media las imágenes de la TC muestran ocupación de oído medio por una masa de partes blandas que puede llegar a abombar la membrana timpánica, también puede existir ocupación de las celdillas mastoideas. Si se deja evolucionar el cuadro de otitis media, se pueden producir erosiones que afecten a las estructuras del oído medio e interno.

El colesteatoma presenta una semiología característica en la TC, suele visualizarse una masa de partes blandas que ocupa la porción superior del oído medio, se extiende a través del espacio de Prussak y, generalmente, erosiona el *scutum* y la cadena de huesecillos, estas características lo diferencian de la otitis media. Aunque el colesteatoma puede ocupar toda la caja timpánica y complicar el diagnóstico diferencial entre colesteatoma y otitis media. La RM permite diferenciar entre colesteatoma y otitis media ya que el empleo de difusión single-shot turbo spin-echo (distinta de la difusión eco-planar) muestra alta señal en el colesteatoma.

A veces es necesario valorar complicaciones en ambas patologías, como parálisis facial, laberintitis, trombosis de senos venosos, abscesos extradurales, subdurales y cerebrales, así como meningitis y petrositis (SOM y CURTIN, 2004; GROSSMAN y YOUSEM, 2007; DEL CURA y cols., 2009)

Patología traumática

Las fracturas del hueso temporal suelen ser secundarias a traumatismos craneoencefálicos de alta energía y suelen afectar al oído medio y al oído interno.

La TC es la exploración de elección para este tipo de patología, empleando algoritmos de reconstrucción ósea sin contraste intravenoso, siendo necesaria la realización de reconstrucciones multiplanares.

Las fracturas de peñasco clásicamente se han dividido en longitudinales y transversales, aunque en realidad, en la práctica médica solemos encontrarnos con fracturas oblicuas/complejas con trazos en varias direcciones.

Las fracturas longitudinales son aquellas que siguen el eje mayor de la pirámide petrosa, son las más frecuentes (85%). Este tipo de fracturas comprometen el oído medio, produciendo otorragia y sordera de conducción ya que es frecuente la luxación o fractura de la cadena osicular, sobre todo a nivel de la articulación incudoestapedial. En un 20% de casos puede existir parálisis facial por laceración o compresión.

Las fracturas transversales son aquellas que presentan un trazo perpendicular al eje mayor de la pirámide petrosa, son aproximadamente el 15% de todas las fracturas del peñasco. En este tipo de fracturas es frecuente encontrar parálisis facial inmediata y de mal pronóstico. La afectación del oído interno es prácticamente constante, provocando una sordera de tipo neurosensorial y vértigo por compromiso de las ramas coclear y vestibular del VIII nervio craneal.

Las complicaciones de las fracturas de cráneo incluyen lesiones vasculares (desgarros arteriales, fistulas o aneurismas traumáticos), lesiones de nervios craneales (vestibulococlear y facial), fistulas de líquido cefalorraquídeo y neumoencéfalo (LAINE y cols., 1990; SOM y CURTIN, 2004; GROSSMAN y YOUSEM, 2007; DEL CURA y cols., 2009).

Patología neoplásica

Podemos encontrar procesos neoplásicos benignos y malignos que afectan a la vía auditiva. Vamos a describir fundamentalmente los tumores en el ángulo

pontocerebeloso y el carcinoma epidermoide, por ser el tumor maligno más frecuente que afecta al hueso temporal.

Las lesiones del ángulo pontocerebeloso son frecuentes y representan entre el 6 y el 10% de los tumores intracraneales. Los más frecuentes son los neurinomas acústicos y meningiomas, que suman el 90% de las lesiones del ángulo pontocerebeloso, el resto lo engloban un gran número de lesiones que numeraremos más adelante.

El ángulo pontocerebeloso está delimitado por las meninges de la cisterna pontocerebelosa, dicho espacio contiene nervios, arterias y remanentes embriológicos. Las lesiones del ángulo pontocerebeloso son extraaxiales y desplazan las estructuras adyacentes y, no suelen producir edema del tronco del encéfalo.

Los meningiomas son tumores benignos no encapsulados de crecimiento lento, con predominio en el sexo femenino. Se originan en las células aracnoideas meningoteliales de la duramadre. En la TC se aprecian algo más densos que el parénquima nervioso y pueden presentar calcificaciones. En la RM se muestran iso o hipointensos en secuencia potenciada en T1, en ambas técnicas el empleo de contraste pone de manifiesto una intensa captación y podemos observar el signo de la cola dural. En ocasiones estos tumores pueden mostrar áreas quísticas, que se visualizan como hipodensas en la TC e hiperintensas en secuencia potenciada en T2, en la RM.

Los neurinomas son tumores benignos que se originan en las células de Schwan de los nervios periféricos. Los más frecuentes son los del VIII nervio craneal, generalmente de la rama vestibular. Puede presentar un comportamiento agresivo con un gran crecimiento. Mediante TC se puede apreciar un aumento de calibre del conducto auditivo interno y, si se extiende hacia el ángulo pontocerebeloso, podemos evidenciar una masa hipodensa que capta contraste tras la

administración del mismo. La técnica de elección en el diagnóstico es la RM, apreciándose iso o hipointensos en T1 y con intenso realce tras la administración de gadolinio, mejorando la sensibilidad para detectar lesiones milimétricas. En secuencia potenciada en T2 se suelen visualizar hiperintensos.

Otros tumores menos frecuentes pero no por ello menos importantes son:

- Los tumores epidermoides que son lesiones congénitas que contienen inclusiones epidérmicas y afectan por igual a hombres y mujeres. Son lesiones con márgenes irregulares con comportamiento similar al líquido cefalorraquídeo y lo más significativo de estas lesiones es su comportamiento hiperintenso en secuencia de difusión, lo que permite diferenciarlos de los quistes aracnoideos. Tras la administración de contraste no presentan captación.
- Los quistes aracnoideos son masas intraracnoideas de origen incierto, rellenos de líquido cefalorraquídeo; estas lesiones presentan bordes lisos y bien delimitados, desplazan las estructuras adyacentes y pueden erosionar las estructuras óseas.
- Los lipomas, que se producen como alteración en el desarrollo de la meninx primitiva; son lesiones encapsuladas y que producen una gran adherencia con las estructuras adyacentes, aunque no suelen presentar clínica, tienen un comportamiento como la grasa, hiperintensos en T1 y sin realce tras administrar contraste.

Otros tumores del ángulo pontocerebeloso son: el granuloma de colesterol, el condroma, el cordoma, el tumor del saco endolinfático, el adenoma pituitario y la petrositis apical. También existen tumores intraaxiales o intraventriculares que invaden el ángulo pontocerebeloso como: el glioma, el papiloma de plexos coroideos, el linfoma, el hemangioblastoma, el ependimoma y el meduloblastoma.

El carcinoma escamoso es el tumor primario maligno más frecuente del hueso temporal. Se origina en la mucosa epitelial de conducto auditivo externo, oído medio y celdillas mastoideas. En las pruebas de imagen lo visualizaremos como una masa de partes blandas que capta contraste y produce invasión, distorsión y destrucción de las estructuras adyacentes, incluso de las estructuras óseas (BONNEVILLE y cols., 2001; SOM y CURTIN, 2004; GROSSMAN y YOUSEM, 2007; DE FOER y cols.; 2010).

Lesiones vasculares

Los paragangliomas yugulares se originan en los corpúsculos glómicos, localizados en la capa externa del glomus de la vena yugular interna a nivel del agujero rasgado posterior. Son tumores benignos de lento crecimiento, muy vascularizados, pero con comportamiento agresivo. El paraganglioma timpánico es una lesión de pequeño tamaño que se origina a lo largo del nervio de Jacobson, provoca hipoacusia de transmisión y se aprecia como una tumoración azul. Para la evaluación del comportamiento de los paragangliomas yugulares se emplea la RM y en el caso de los paragangliomas timpánicos es preferible la TC, debido al pequeño tamaño de dichas tumoraciones y porque permite una mejor evaluación de las estructuras óseas del oído medio.

Otras alteraciones vasculares que pueden producir clínica auditiva, fundamentalmente tinnitus pulsátil, son los cruces neurovasculares que son elongaciones de los vasos sanguíneos que pueden englobar y rodear estructuras nerviosas en el ángulo pontocerebeloso. También es importante reseñar otras lesiones como la existencia de un bulbo yugular alto, los cavernomas y angiomas venosos, que pueden ir asociados en determinados síndromes, y la trombosis del seno venoso (GROSSMAN y YOUSEM, 2007; DE FOER y cols.; 2010).

PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

4. PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO

El sentido de la audición es esencial para el ser humano en su relación con el entorno y es el resultado de la actividad secuencial de una serie de estructuras anatómicas complejas, pudiendo presentar gran variedad de anomalías anatómicas y funcionales aisladas o asociadas a lesiones de otros órganos, que condicionan una pérdida de la capacidad auditiva (CHADWELL y cols., 2004; SOM y CURTIN, 2004; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

El hueso temporal muestra una compleja anatomía caracterizada por comprender múltiples estructuras de pequeño tamaño dentro de un área relativamente compacta; además de esto, estas estructuras muestran una orientación multiespacial compleja y una intrincada relación de las mismas. Todo ello condiciona una evaluación muy dificultosa de esta región.

Dentro de esta anatomía tan compleja existen múltiples orificios que establecen una importante interrelación entre las estructuras adyacentes, como la caja del tímpano, el conducto auditivo interno y el conducto auditivo externo.

Dichos orificios permiten el paso de estructuras nerviosas y vasculares, que pueden servir para que se diseminen diversos procesos, tanto inflamatorios como neoplásicos, hacia estructuras adyacentes como la fosa craneal media; de ahí la importancia de que todas las estructuras del peñasco se encuentren íntegras. El correcto conocimiento de todos los pequeños detalles anatómicos que pueden ser alterados por un incipiente proceso patológico, nos va a permitir un adecuado diagnóstico radiológico (LAINE y cols., 1990; LUSTRIN y cols., 1994; DAVIDSON, 2002; SOM y CURTIN, 2004; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

La patología de esta región produce síndromes clínicos que nos hacen sospechar la afectación de diversas estructuras, como en el caso de los nervios craneales cuya patología es diagnosticada por su recorrido típico. La clínica que vamos a

encontrarnos en los procesos patológicos de la región anatómica que pretendemos estudiar incluyen, sobre todo, la existencia de hipoacusia, ya sea de transmisión, por alteración en las estructuras del oído externo o medio, o neurosensorial, por alteración en el oído interno o en el nervio vestibulococlear. Otros síntomas, no menos importantes, son la existencia de vértigo central, debido a procesos patológicos en el SNC, o periférico. Si la patología se encuentra centrada en las estructuras del oído interno, también es necesario considerar la existencia de inestabilidad o mareo (VALVASSORI, 1993; SOM y CURTIN, 2004; CONNOR y cols., 2008; MOSER y cols., 2008; LEMMERLING y cols., 2009; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

Los procesos patológicos derivan de las estructuras propias del hueso temporal. Podemos encontrarnos anomalías congénitas, donde observaremos alteraciones morfológicas de las diferentes estructuras que conforman el oído externo, medio e interno, dando lugar a aplasias, hipoplasias, displasias, así como estenosis de conductos o persistencia de estructuras fetales (HERMAN y cols., 1996; MAYER y cols., 1997; BOOTH y cols., 2000; FATTERPEKAR y cols., 2000; ZEIFER y cols., 2000; YUEN y cols., 2003; SOM y CURTIN, 2004; KROMBACH y cols., 2008; SWARTZ y LOEVNER, 2009) .

Es necesario considerar a la patología inflamatoria, alterándose los tejidos localizados en cada una de las regiones que conforman el oído y que condicionan el tipo de infección que las afecta, de manera que la mayor cantidad de afecciones de este tipo están concentradas en el oído medio, siendo la más representativa la otitis media y el colesteatoma con sus respectivas complicaciones. Por otro lado está la patología que afecta al vértice del peñasco y al oído interno, siendo, en este último, la laberintitis la patología más representativa.

Es importante reseñar que la mayor parte de las cirugías sobre el hueso temporal las concentran los procesos infecciosos (ROBERT y cols., 1995; CROVETTO y

cols., 1996; SOM y CURTIN, 2004; LEMMERLING y cols., 2009; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

La patología tumoral hace referencia a los tumores del ángulo pontocerebeloso con una clínica que se caracteriza por hipoacusia neurosensorial, acúfenos, desequilibrio y disfunción periférica del nervio facial. Los procesos tumorales a este nivel incluyen los schwannomas, tumoraciones del tronco del encéfalo, tumores de la base craneal, meningiomas, lipomas, quistes dermoides y quistes aracnoideos, que serán descritos con detalle en un apartado de este trabajo (FRIEDMAN y RAO, 1991; BONNEVILLE y cols., 2001; SOM y CURTIN, 2004; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

Actualmente los avances en neurocirugía permiten que gran parte de las lesiones tumorales que se consideraban inoperables, en la actualidad puedan ser intervenidas, gracias al trabajo multidisciplinar con neurorradiólogos, otorrinolaringólogos y cirujanos plásticos (CROVETTO y cols., 1996; ALGABA y cols., 1998; CROVETTO DE LA TORRE y cols., 2002; SOM y CURTIN, 2004; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

Por último, hay que hacer referencia a los traumatismos del hueso temporal, debidos a traumatismos craneales. Las fracturas suelen seguir las líneas de menor resistencia. Encontramos dos tipos de fracturas: las longitudinales, que siguen el eje del peñasco y donde se suele afectar el oído medio, y las transversales, con un trazo perpendicular al hueso peñasco y que provocan afectación del oído interno y, en algún caso, del conducto de Falopio por donde discurre el nervio facial (BRODIE y THOMPSON, 1997; ISHMAN y FRIEDLAND, 2004; SOM y CURTIN, 2004; CORTES y cols., 2005; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

La evolución de las técnicas de neuroimagen ha permitido profundizar en el estudio de la vía auditiva, lo que ha logrado prolongar la vida de los pacientes y disminuir la morbilidad debido a la evolución diagnóstica y selección de las

estrategias terapéuticas. Por lo que la radiología constituye una herramienta valiosa junto con la historia clínica y la exploración física (BORRAS, 2006).

La valoración de esta región ha ido mejorando de acuerdo con la evolución de las técnicas radiológicas. Desde el uso de la radiología convencional con las proyecciones de Schuller, Stenvers o transorbitaria, entre otras, cuyas limitaciones resultan obvias, pasando por la TC convencional, hasta la actualidad con el uso de la RM y de la TC multidetector (SOM y CURTIN, 2004; CHUANG y cols., 2006; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

En el campo de la neurorradiología el desarrollo más importante se produce en el campo de la resonancia magnética, con sus secuencias en continuo desarrollo, así como en la tomografía computarizada.

La RM permite el estudio anatómico de las estructuras del oído, debido a su alta resolución espacial, de manera no invasiva. Esta técnica permite obtener imágenes que serán postprocesadas para la evaluación detallada de la vía auditiva. Por otro lado, también son claves las imágenes de las modernas TC multidetector para un estudio detallado del peñasco, importante estructura que contiene diversos elementos del oído medio necesarios para la audición como son la cadena de huesecillos, entre otros, y que no se pueden estudiar con RM debido a sus limitaciones (SOM y CURTIN, 2004; SAREMI y cols., 2005; DE FOER y cols., 2006; GROSMANN y YOUSEM, 2007; DE FOER y cols., 2008; DEL CURA y cols., 2009; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

En la actualidad existen múltiples herramientas en las estaciones de trabajo que permiten realizar reconstrucciones en 3D a partir de los datos obtenidos mediante una exploración en dos dimensiones y así obtener imágenes volumétricas que pueden ser rotadas en el espacio. Además, el reformateo de imágenes permite aportar información complementaria para el estudio de malformaciones congénitas, anomalías vasculares, procesos inflamatorios y neoplásicos.

Para un completo estudio de la vía auditiva, es necesario combinar las dos técnicas, RM y TC, en función de la región de interés, lo que nos permitirá la mayor aproximación a la patología que pretendemos estudiar (HOWARD y cols., 1990; CALHOUN y cols., 1999; RODT y cols., 2002; SOM y CURTIN, 2004; FATTERPEKAR y cols., 2006; LANE y cols., 2006; SWARTZ y LOEVNER, 2009; PHILLIPS y cols., 2012).

Actualmente estamos asistiendo a una disminución en el empleo de técnicas invasivas, tales como la arteriografía, que en el caso de la patología vascular cerebral, tanto diagnóstica como terapéutica tiene su papel. En el caso de la región que vamos a estudiar no tiene un papel importante, y suele ser suficiente con el empleo de angio TC o angio RM para el estudio de patología vascular, tanto malformaciones arteriovenosas como patología neoplásica de naturaleza vascular. Dichas técnicas permiten la reducción de radiación ionizante, sobre todo la RM que emplea técnicas como 3D TOF que nos aporta una información de los espines en movimiento y anula el tejido estacionario, o el empleo directo de contraste intravenoso, como el gadolinio. Todo ello ha permitido restringir las indicaciones de los procedimientos intervencionistas, cuestión importante, ya que una de las funciones del radiólogo consiste en optimizar el empleo de las radiaciones ionizantes para llegar a un correcto diagnóstico. (DAVIDSON y cols., 1997; JACKLER y DILLON, 1998; MAROLDI y cols., 2001).

También estamos experimentando una gran evolución de las aplicaciones informáticas relacionadas con el postprocesado de las diferentes pruebas neurorradiológicas que nos permiten reconstrucciones en 3D para obtener estudios anatómo-radiológicos de gran calidad diagnóstica. (CHAKERES y SPIEGEL, 1984; ALI y cols., 1993; YAMADA y cols., 1999; TOMANDL y cols., 2000; FATTERPEKAR y cols., 2006; LANE y cols., 2006; PHILLIPS y cols., 2012).

Por todo ello, los profesionales dedicados la medicina y, en concreto, a la patología auditiva, tanto otorrinolaringólogos, neurocirujanos, cirujanos plásticos y neurorradiólogos deben esforzarse para conservar el necesario nivel de competencia, lo que hace que la necesidad de reciclarse sea permanente y, para ello es necesario el conocimiento anatómico de los diferentes órganos que conforman el oído para poder llegar a comprender la patología de una forma más sencilla (CROVETTO y cols., 1996; ALGABA y cols., 1998; SOM y CURTIN, 2004; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

Por tanto, ante estas consideraciones previas, planteamos este trabajo de Tesis Doctoral con el título: **“VALORACIÓN ANATOMORRADIOLÓGICA DE LA VÍA AUDITIVA CON DIVERSAS TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN”**, que nos permita optar al grado de Doctor por la Universidad de Salamanca. El estudio planteado como Tesis Doctoral, tiene por objeto un análisis exhaustivo de las estructuras que conforman la vía auditiva, mediante el empleo de técnicas de neuroimagen de última generación.

Tras realizar una detallada revisión de la bibliografía médica (Medline, PubMed, Radiology, Radiographics, AJNR (American Journal of Neuroradiology), BJR (British Journal of Radiology) , así como los libros de radiología más actuales) sobre el tema propuesto como Tesis Doctoral, desde el punto de vista anatomorradiológico no hemos encontrado bibliografía que estudie, de manera integrada, todos los componentes que forman parte de la vía auditiva. La mayoría de artículos relacionados versan sobre determinados aspectos de una manera particular, centrándose en la descripción patológica, tanto tumoral, infecciosa y traumática que afectan al peñasco. Las publicaciones encontradas que tratan sobre los aspectos anatomorradiológicos normales, solo se centran en la descripción mediante TC o RM, pero ninguna integra ambas técnicas y son escasas las que emplean programas de reconstrucción para el postprocesado de las diversas estructuras del oído y así mostrarnos una visión más actualizada de la vía auditiva.

Por lo tanto, debido a la escasez de trabajos descriptivos sobre la vía auditiva con el empleo de nuevas técnicas radiológicas, nuestro propósito es profundizar en el conocimiento anatomorradiológico, tanto normal como patológico, de las estructuras que conforman la vía auditiva. Por eso esta tesis pretende realizar una base de datos iconográfica, que ilustre anatomorradiológicamente la vía auditiva, empleando nuevas técnicas de RM y TCMD.

Además de la morfología, realizaremos un estudio morfométrico de diferentes estructuras de la vía auditiva, que por su gran escasez en la bibliografía actual (encontramos ocho artículos relacionados, siete en inglés MUKHERJI y cols., 1998; YOUNG y cols., 2006; MORIYAMA y cols., 2007; VIJAYASEKARAN y cols., 2007; OZGEN y cols., 2008; CONNOR y cols., 2009; MARU y cols., 2010 y otro en castellano, BOEMO y cols., 2007) tiene su importancia, sobre todo en el ámbito de la cirugía.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto, planteamos los siguientes objetivos:

1. Analizar morfológicamente la vía auditiva, fundamentalmente con imágenes de TCMD y RM, así como sus relaciones con estructuras anatómicas, que nos permitan una visión amplia y actualizada.
2. Realizar un estudio morfométrico de diversas estructuras relacionadas con la vía auditiva.
3. Valorar la utilidad de las técnicas radiológicas de última generación en el reconocimiento de estructuras normales y patológicas de la vía auditiva, para así ser un complemento docente de la radiología en diferentes ámbitos.

4. Describir e ilustrar la patología más relevante que afecta a la vía auditiva, mediante diferentes técnicas de neuroimagen.

El análisis de los resultados obtenidos en nuestro estudio se realizará mediante la descripción de las estructuras normales que conforman las diversas partes de la vía auditiva desde el oído externo hasta la corteza cerebral, con una amplia descripción anatomorradiológica del peñasco como componente óseo integrador de las diferentes partes del oído externo, oído medio y oído interno. Se describirán todos los elementos vasculares y nerviosos y sus relaciones con las estructuras adyacentes.

Ilustraremos nuestro trabajo con abundantes imágenes de TCMD y RM, con reconstrucciones volumétricas y en 3D, empleando varios algoritmos que nos permitan visualizar, en cada momento de la manera más óptima, la estructura que estemos describiendo.

Finalmente, aportaremos, mediante las técnicas descritas, la patología más frecuente que afecta a la vía auditiva.

Con este trabajo, pretendemos aportar una visión exhaustiva, completa y actualizada de la vía auditiva, poniendo a disposición la iconografía más amplia.

MATERIAL Y MÉTODOS

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un análisis retrospectivo de 849 pacientes, en el Hospital Virgen de la Concha de Zamora (437 varones y 412 mujeres), distribuidos en: 254 RM y 595 TC. Dichos pacientes fueron derivados por los servicios de urgencias, medicina interna, neurología y otorrinolaringología, con una edad de 52 +/- 25 años, en el periodo comprendido desde enero de 2010 hasta diciembre de 2012.

Tomamos en cuenta los diferentes parámetros para una correcta visualización de las diferentes estructuras, tanto óseas como de partes blandas, que conforman el oído, así como la patología tumoral, infecciosa, traumática y vascular que afecta a la vía auditiva, tanto de manera directa como por contigüidad.

La TCMD utilizada para la realización de los estudios fue una Brilliance TC 40 de 40 detectores (Philips Medical System) del Hospital Virgen de la Concha de Zamora (fig. 23) siguiendo un protocolo con obtención de cortes axiales y coronales centrados en el peñasco, con el paciente en decúbito supino y cabeza hacia el gantry.

Los parámetros del protocolo incluyen:

- Voltaje: 120 kV
- Miliamperaje: 380 mAs
- Grosor de corte: 0.5 mm
- Pitch (desplazamiento): 0.75
- Tiempo de rotación: 0.75 s
- Velocidad de la mesa: 1mm/seg.
- Tiempo de exploración: 40 s. aprox.
- Matriz de la imagen: 768 x 768

Los estudios realizados inicialmente se obtuvieron sin la administración de contraste intravenoso, se valoraron las imágenes obtenidas y, en los casos necesarios, se procedió a la inyección del mismo para valorar patología subyacente.

Para la realización del estudio vascular mediante angio TC se aplicaron en una vena del miembro superior (vena mediana cubital) 100 cc de contraste yodado intravenoso, seguido de 40 cc de solución fisiológica, mediante bomba de inyección programada (fig.24), con un caudal de 4 cc por segundo, con un retraso de 20 segundos. En los estudios no angiográficos el caudal fue de 2 cc por segundo y un retraso de 60 segundos.

El contraste empleado en nuestro estudio fue Omnipaque 300, contraste yodado que contiene 647 mg de Iohexol por ml (equivalente a 300 mg de yodo por ml).

Previo a la realización del estudio entregamos al paciente un consentimiento informado, explicando en que consistía la exploración y sus posibles efectos adversos. Preguntamos sobre sus antecedentes alérgicos a los compuestos yodados, patología tiroidea, insuficiencia renal y/o hepática, asma bronquial durante los últimos 8 días, insuficiencia cardíaca grave, feocromocitoma, miastenia gravis o posible embarazo, ya que todas estas entidades podrían contraindicar la exploración y se valoraría riesgo-beneficio. Además nos cercioramos de que el paciente estuviera como mínimo 4-6 horas en ayuno y no tuviera objetos metálicos internos o externos que pudieran provocar artefactos en los estudios seleccionados.

El análisis de las imágenes con reconstrucciones volumétricas, en los diferentes planos del espacio y en 3D, las realizamos en una estación de trabajo Brilliance Workspace Portal (Philips Medical System) (figs. 25 y 26), utilizando diferentes protocolos según el interés de la estructura a estudiar, reconstrucción ósea para el hueso, de partes blandas para elementos vasculo-nerviosos, MIP (Maximun

Intensity projection) y VR (Volume Rendering). En esta estación realizamos el análisis morfométrico y aislamiento de las diferentes estructuras del oído interno, ya que cuenta con las herramientas necesarias.

Los estudios de resonancia magnética se realizaron con una máquina marca General Electric (fig. 27) empleando antena de cráneo para la realización de los estudios de base de cráneo (fig. 28), Signa Excite de 1.5 Teslas con un protocolo, que incluye las secuencias siguientes:

- T2 FLAIR axial con TR 8000 TE: 142 TI (tiempo de inversión): 1993 FOV (Field Of View): 24 x 24 1 NEX
- FIESTA con TR: 5.3 TE: 1.5 FOV: 18 x 18 2 NEX Matriz: 320 x 256
- T1 axial con TR: 620 TE: 9 FOV: 18 x 18 4 NEX Matriz: 256 x 224
- T1 coronal con TR: 500 TE: 9 FOV: 18 x 18 4 NEX Matriz: 256 x 192
- T2 axial con TR: 3460 TE: 85 FOV: 18 x 18 4 NEX Matriz: 256 x 256
- T2 coronal con TR: 4920 TE: 122 FOV: 18 x 18 4 NEX Matriz: 320 x 256

Al protocolo descrito anteriormente se añadieron secuencias potenciadas en T1 en los planos axial y coronal, para caracterizar algunos tipos de lesiones, para ello se emplearon los siguientes medios de contraste:

- Gadovist, cada ml de solución inyectable contiene 604.72 mg de gadobutrol, equivalente a 1 mmol de gadobutrol. La dosis recomendada y empleada en nuestro caso fue de 0.1 mmol por kg de peso.
- Dotarem, cada ml de solución inyectable contiene 279.32 mg de ácido gadotérico (en forma de sal de meglumina), equivalente a 0.5 mmol. Se administró a una dosis de 0.1 mmol/kg de peso corporal (0.2 ml/kg de peso)

Durante este periodo no se describió ningún tipo de reacción adversa derivada del uso de estos contrastes.

Posteriormente se emplearon las herramientas de postprocesado de la estación de trabajo, General Electric, para la reconstrucción de las diferentes estructuras obtenidas en los estudios de RM (fig. 29).

El estudio de tractografía se realizó a partir de imágenes de difusión, en estudios de RM cerebral, con los siguientes parámetros: TR 6200, TE: 87.6, matriz: 128 x 128, espesor 3 mm., sin separación entre cortes y valor B de 1000 s/mm², con 6 direcciones de codificación espacial. El postprocesado lo realizamos con el programa 3D Slicer 4.2.2 (fig. 30), versión para Apple, que permite a partir de imágenes DICOM realizar reconstrucciones en 3D de diferentes estructuras. Este programa está organizado en módulos que contienen diferentes herramientas que nos van a permitir realizar determinadas acciones, en este caso obtener imágenes de tractografía.

Lo primero que tenemos que realizar es cargar las imágenes obtenidas en nuestros estudios y convertirlas al formato del programa (nrrd), ello lo realizamos mediante el módulo de conversión (DICOM to NRRD Converter). Una vez cargadas las imágenes de difusión hay que calcular el tensor. Antes de la estimación conviene realizar un proceso de mascarización de forma que solo se calcule el tensor en el cerebro obviando el cráneo, para ello debemos emplear el módulo difusión (Diffusion/Diffusion Weighed Images/Diffusion Weighed Volume Masking).

Para calcular el tensor, propiamente dicho, hay que emplear la herramienta DWI to DTI *Estimation* del módulo difusión donde debemos rellenar diferentes campos y así obtuvimos el mapa de color con la dirección de las fibras. Finalmente, para obtener las imágenes de tractografía empleamos la herramienta DWI to *Full Brain Tractography* dentro del módulo difusión.

Para mejorar la presentación de la tractografía, cargamos simultáneamente el estudio de tractografía obtenido y el estudio de cráneo del mismo paciente, y así representar los haces de sustancia blanca en una RM convencional.

Por otro lado hemos llevado a cabo reconstrucciones tridimensionales de los núcleos del tronco del encéfalo postmortem. Para ello se empleo una RM de 7.0 Teslas, General Electric, la cual nos proporcionó capacidades de escaneo ultra altas para nuestro trabajo de tesis doctoral. Las imágenes corresponden a una secuencia que mezcla la clásica secuencia T1 y la secuencia FLAIR (Fluid Attenuation Inversion Recovery), cuya adquisición se realizó con los siguientes parámetros; TR: 4000, TE: 3.5, TI: 1100, FOV: 38.4 x 38.4 x 67.2, matriz: 256 x 256 x 112. El tiempo de adquisición fue de 2 horas.

Esta RM permite obtener más señal de los tejidos u órganos que se quieren estudiar, además de acelerar la adquisición de los parámetros de imagen.

Para el procesamiento y reconstrucción tridimensional de la vía auditiva a partir de los núcleos troncoencefálicos empleamos el programa 3D Slicer, utilizado en la reconstrucción de imágenes de tractografía.

Como ya comentamos este programa se encuentra dividido en módulos y para la reconstrucción en 3D se empleó la combinación de varios de ellos.

El módulo editor (editor) que podemos encontrar en el menú segmentación (segmentation), permite una segmentación manual de volúmenes. Algunas de las herramientas son similares a las que podemos encontrar en programas como photoshop, pero en nuestro caso trabajan con vóxeles, matrices que contienen datos contiguos como las imágenes de TC o RM, en lugar de imágenes en 2D como las fotografías.

Este módulo permite a los usuarios definir estructuras de manera precisa a partir del marcaje de determinadas estructuras que queremos aislar (label map volumes). Para ello se siguió el siguiente protocolo de actuación:

- 1- Tras iniciar el programa cargamos nuestras imágenes de RM de 7 Teslas. Para trabajar con mayor comodidad las transformamos al formato del programa nativo, de manera que fueron convertidas al formato nrrd.
- 2- Una vez obtuvimos los diferentes cortes del tronco del encéfalo en el formato adecuado, entramos en el módulo editor (editor), que nos obliga a elegir los colores a emplear para la edición. Tras ello, y con las herramientas del editor, vamos a realizar el marcaje de las estructuras. Para ello se identificaron y delimitaron las estructuras basándonos en las diferencias de contraste entre los elementos troncoencefálicos, dichas diferencias de contraste están basadas en la señal de las diferentes estructuras representadas en escala de grises, de manera que, manualmente, las marcamos mediante determinadas herramientas de dibujo (paint y draw). Para seguir delimitando las estructuras en cortes sucesivos se empleó la herramienta trazado de niveles (level tracing), que permite agrupar zonas con la misma escala de grises en cortes sucesivos y así ir uniando en cada corte la imagen que nos interesa, en este caso los diferentes núcleos de la vía auditiva. Finalmente fue necesario agrupar todas y cada una de las estructuras marcadas previamente y para ello la herramienta empleada fue identificación de islas (identify islands), obteniendo una única imagen en el mapa de marcado (label map).
- 3- Se realizó un renderizado del volumen de los datos obtenidos en el paso anterior, para ello se empleó el módulo de modelado (modelmaker), que permitió a partir del mapa de marcado (label map) la reconstrucción en 3D de la vía auditiva.

- 4- Finalmente, cargamos simultáneamente la reconstrucción en 3D de la vía auditiva, obtenida en el paso anterior, y las imágenes de la RM de 7 Teslas originales, de manera que obtuvimos una superposición de ambas imágenes que nos permite visualizar la vía auditiva a nivel troncoencefálico.

El proceso de segmentación fue muy laborioso y exigente en cuanto a consumo de tiempo ya que fue necesario un estudio de las herramientas más significativas de este programa.

Otro programa que empleamos para el tratamiento y postprocesado de las imágenes tanto de la TCMD como de la RM fue el programa Osirix (Pixmeo Sarl). Dicho programa, mediante el empleo de imágenes DICOM, nos permitió el estudio de imágenes de TC y de RM así como reconstrucciones en 3D de diferentes estructuras de interés para nuestro trabajo (fig. 31).

El estudio morfométrico de las diferentes estructuras fue realizado por el mismo observador y llevado a cabo mediante dos programas. Por un lado empleamos las herramientas de la estación de trabajo Brilliance Workspace Portal (Philips Medical System) (fig. 26), que contiene todos los estudios realizados en la TCMD; por otro lado empleamos el programa Osirix (Pixmeo Sarl) (fig. 31) el cual nos permitió trabajar con imágenes importadas en formato DICOM. Ambos programas contienen las herramientas necesarias para el postprocesado de imágenes radiológicas, fundamentalmente la herramienta que se empleó fue la medición lineal o en línea recta en los planos donde nos permitieron una adecuada visualización de la estructura. En nuestro caso realizamos las mediciones en:

- Nervio facial: medimos los diferentes diámetros empleando planos axiales en la primera y segunda porción y, plano sagital en la tercera porción.

- Distancia coclear: se realizaron reconstrucciones dobles oblicuas y la medición se realizó desde la ventana oval hasta la pared opuesta de la espira basal, pasando por el modiolo.
- Intervalo carótido coclear: su medición se realizó en el plano sagital y se midió la menor distancia entre la espira basal de la cóclea y la pared superior del canal carotídeo.
- Acueducto vestibular: se realizaron reconstrucciones dobles oblicuas y se procedió a la medición del diámetro en su tercio medio.
- Acueducto coclear: la medición se llevo a cabo en planos axiales y se midió su diámetro en el tercio medio y en el tercio proximal.
- Conducto auditivo interno: se utilizaron planos axiales y se realizó la medición de su diámetro en la región proximal.

Estas mediciones fueron llevadas a cabo en imágenes de TCMD con protocolo de hueso, que fue donde mejor apreciamos dichas estructuras.

Finalmente, realizamos la medición del diámetro de los nervios craneales VII y VIII en su porción cisternal, para ello empleamos la RM, mediante la secuencia FIESTA, ya que nos permite visualizar los nervios aprovechando su contraste con el líquido cefalorraquídeo a ese nivel. Ambos diámetros fueron medidos en el plano axial.



Fig. 23. TC Philips Brilliance de 40 coronas. Hospital Virgen de la Concha de Zamora



Fig. 24. Bomba automática de inyección de contraste intravenoso.



Fig. 25. Estación de trabajo Brilliance Workspace Portal donde se diseñaron y reconstruyeron las imágenes obtenidas en los estudios de TCMD. Hospital Virgen de la Concha de Zamora.

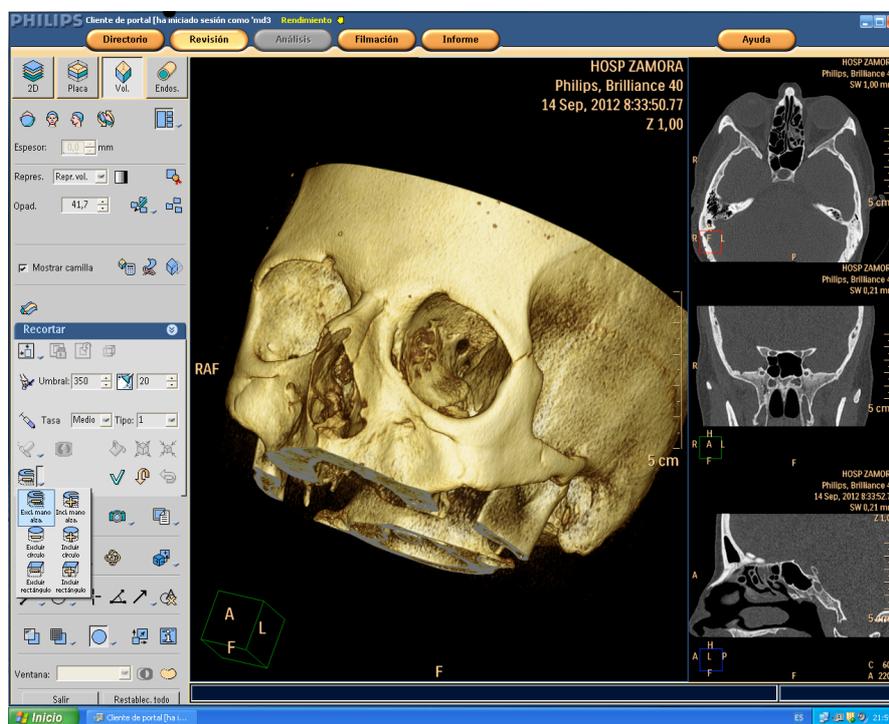


Fig. 26. Detalle de la interface de usuario de la estación de trabajo Brilliance Workspace Portal donde se diseñaron y reconstruyeron las imágenes obtenidas en los estudios de TCMD. Hospital Virgen de la Concha de Zamora.



Fig. 27. RM General Electric Signa Excite de 1.5 Teslas del Hospital Virgen de la Concha de Zamora.

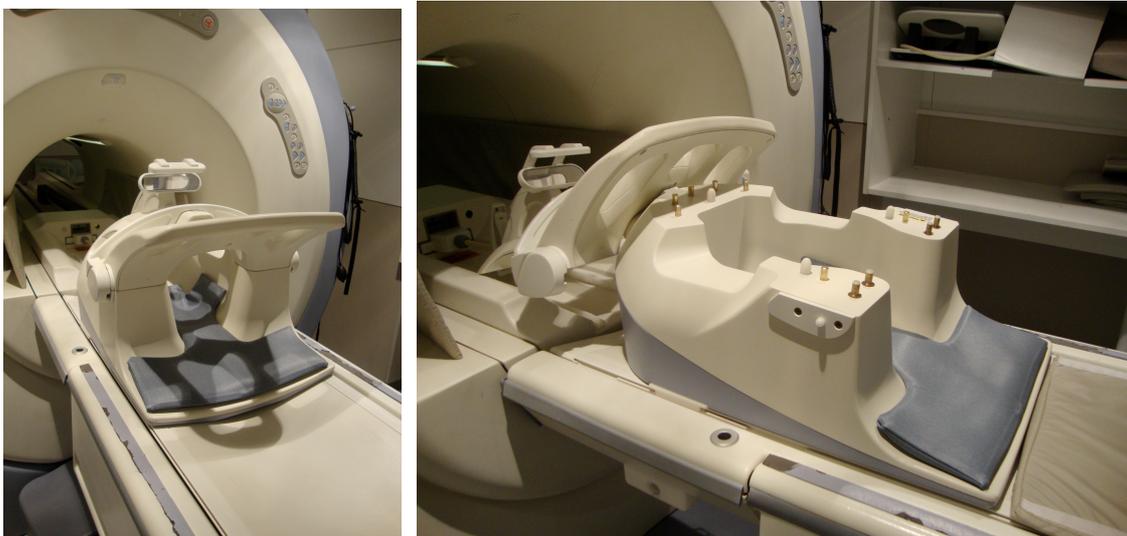


Fig. 28. Antena de cráneo de RM empleada para la realización de los estudios de base de cráneo.



Fig. 29. Estación de trabajo de General Electric donde se reconstruyeron las imágenes obtenidas en los estudios de RM.

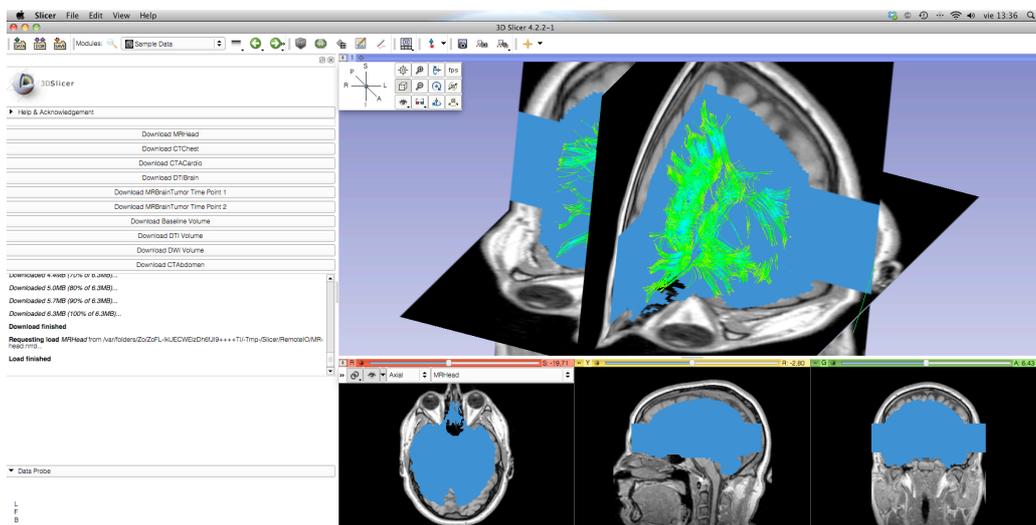


Fig. 30. Detalle de la interface del programa 3D Slicer, que nos permitió el postprocesado de imágenes radiológicas en formato DICOM.



Fig. 31. Detalle de la interface del programa Osirix (Pixmeo Sarl), que nos permitió el postprocesado de imágenes radiológicas en formato DICOM.

RESULTADOS

6. RESULTADOS

Para facilitar la interpretación de nuestros resultados los sistematizaremos de la siguiente forma: primero realizaremos una descripción del hueso temporal, como elemento óseo integrador de todas las partes que forman el oído externo, oído medio y oído interno. Posteriormente, describiremos el recorrido que realiza una onda sonora desde que es captada en el pabellón auditivo hasta que se hace consciente en la corteza auditiva, mostrando desde el punto de vista anatomorradiológico y con el mayor detalle posible, todas las estructuras que se implican en el proceso de la audición. Finalmente, terminaremos con una descripción de la patología que más frecuentemente afecta a la vía auditiva.

Describiremos los detalles anatómicos con técnicas de neuroimagen de última generación e ilustraremos dichos hallazgos con imágenes en los planos axiales, coronales y sagitales, reconstrucciones volumétricas e imágenes en 3D, con el empleo de la ventana adecuada en función de la estructura descrita. Utilizaremos TCMD, principalmente para la descripción de elementos óseos, y RM para las estructuras del oído interno.

No hemos usado imágenes de radiografías simples, ya que aunque conservan su indicación, principalmente en la esfera quirúrgica, el aporte de las mismas para nuestro enfoque radiológico y anatómico está prácticamente en desuso.

6.1 HUESO TEMPORAL

El hueso temporal está situado en la porción inferior y lateral a ambos lados de la base del cráneo, posterior al hueso esfenoides, anterior y lateral al hueso occipital e inferior al hueso parietal.

El hueso temporal se constituye, antes del nacimiento, a partir de tres porciones distintas: la porción escamosa, el hueso timpánico y la porción petrosa (fig. 32). Con el desarrollo, estas porciones óseas crecen y se sueldan unas con otras, quedando restos de estas soldaduras en forma de fisuras.

Los estudios de neuroimagen utilizados en este trabajo, sobre todo la TCMD con los planos axiales, sagitales y coronales, utilizando el protocolo de ventana ósea, permiten una adecuada visualización de este hueso (figs. 33 – 37).

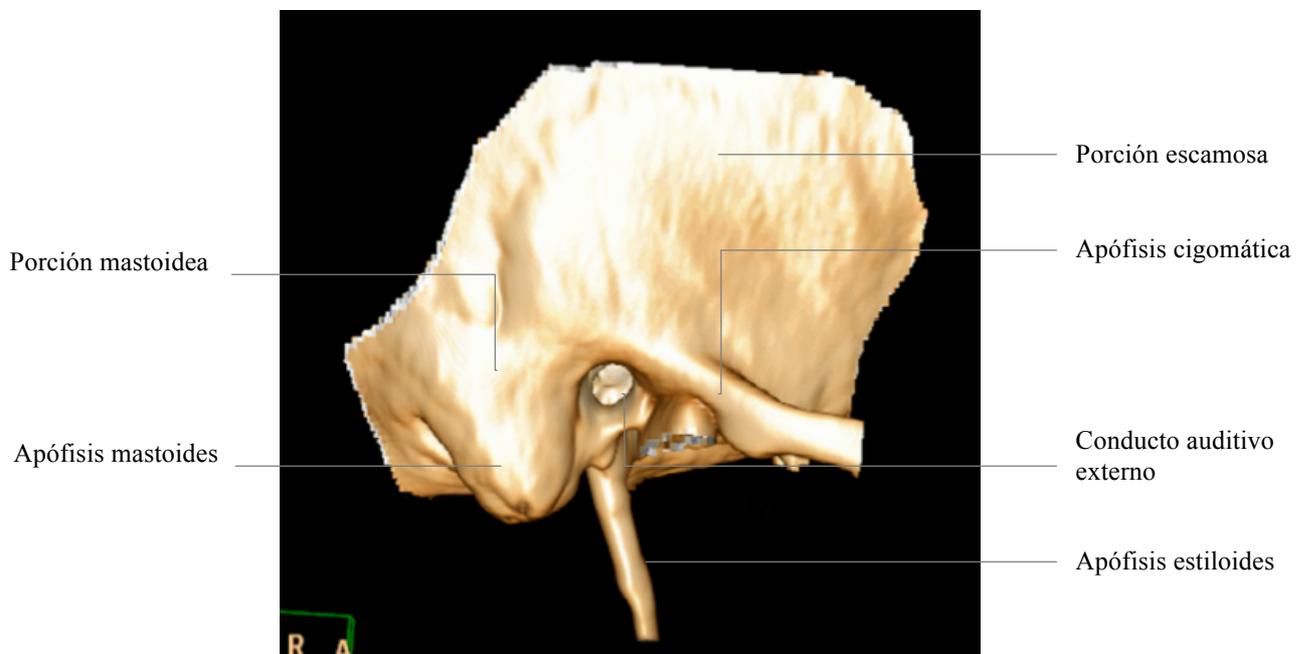
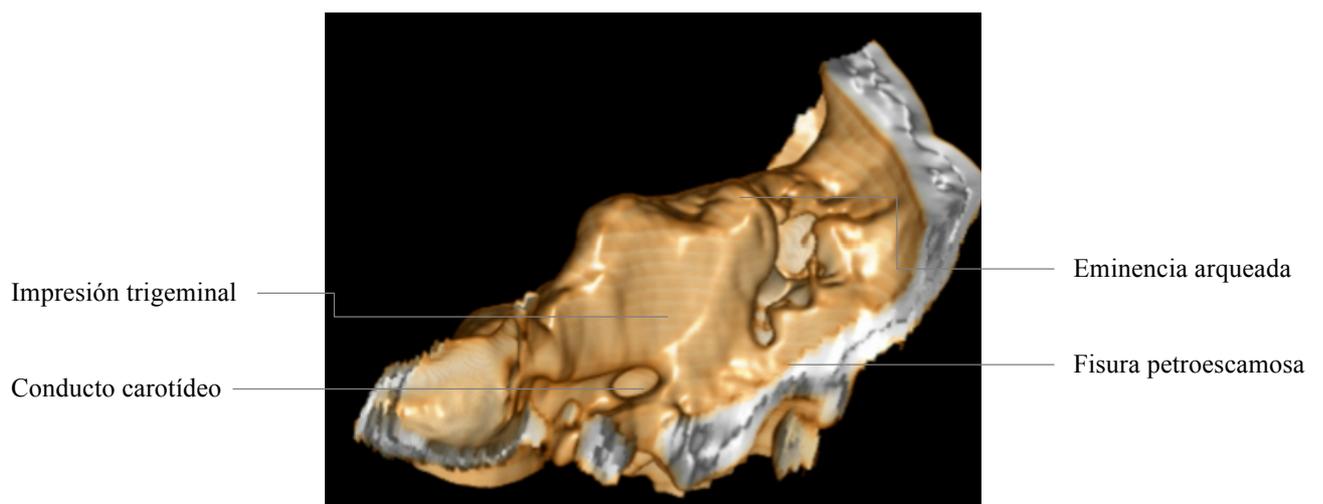
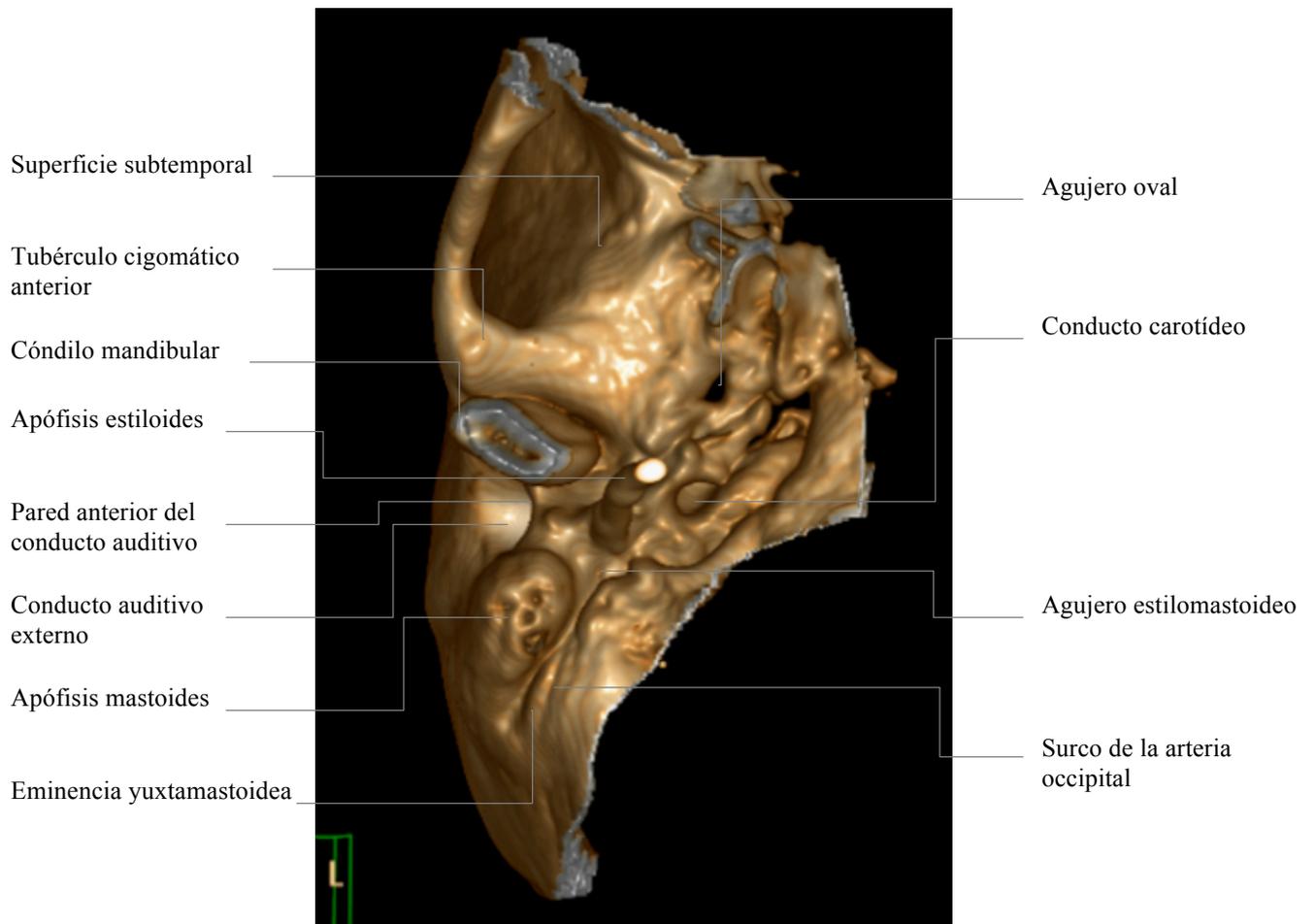
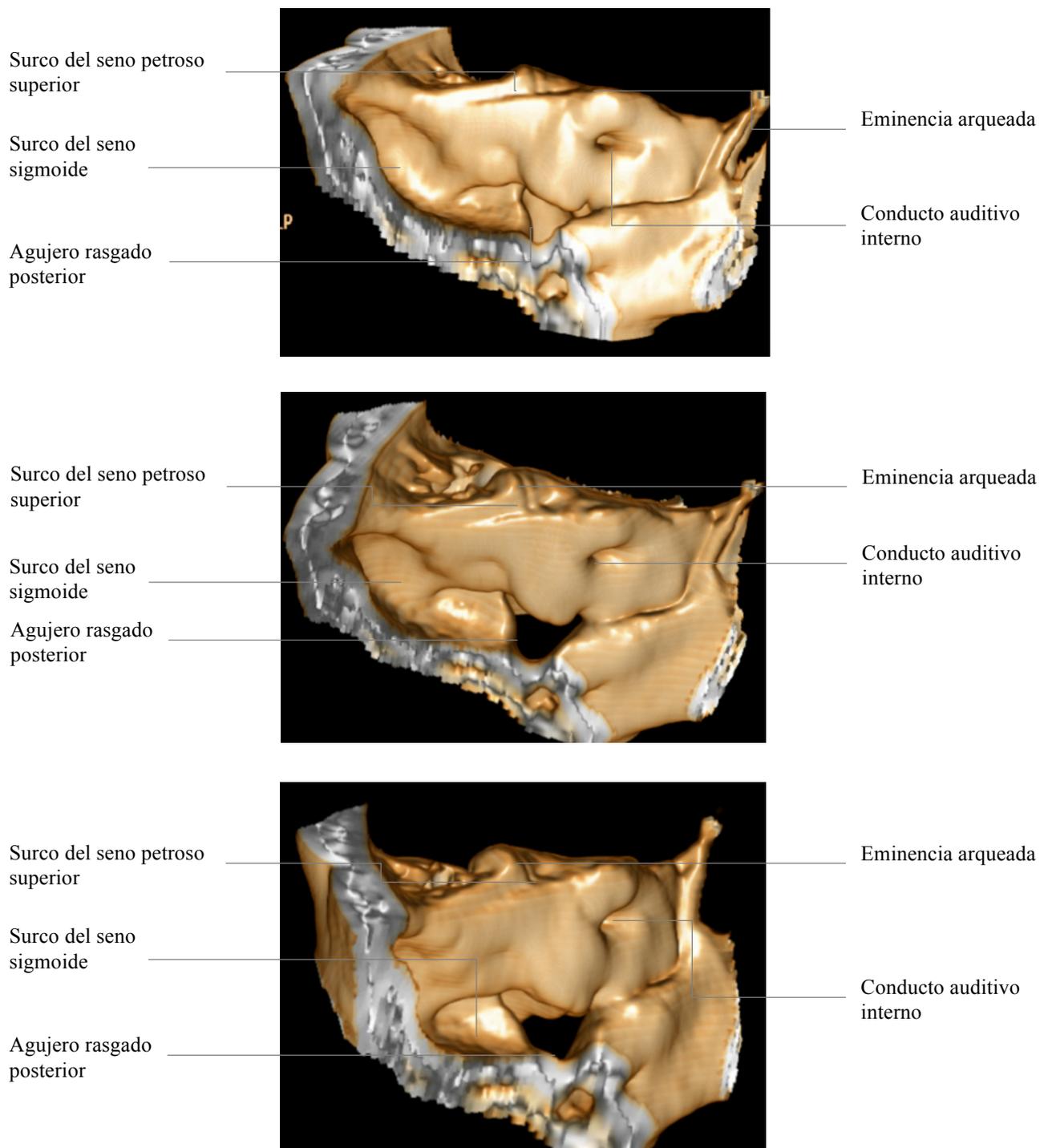


Fig. 32. Imagen de TCMD, reconstrucción en 3D, donde podemos observar la cara exocraneal del hueso temporal con sus componentes más importantes.

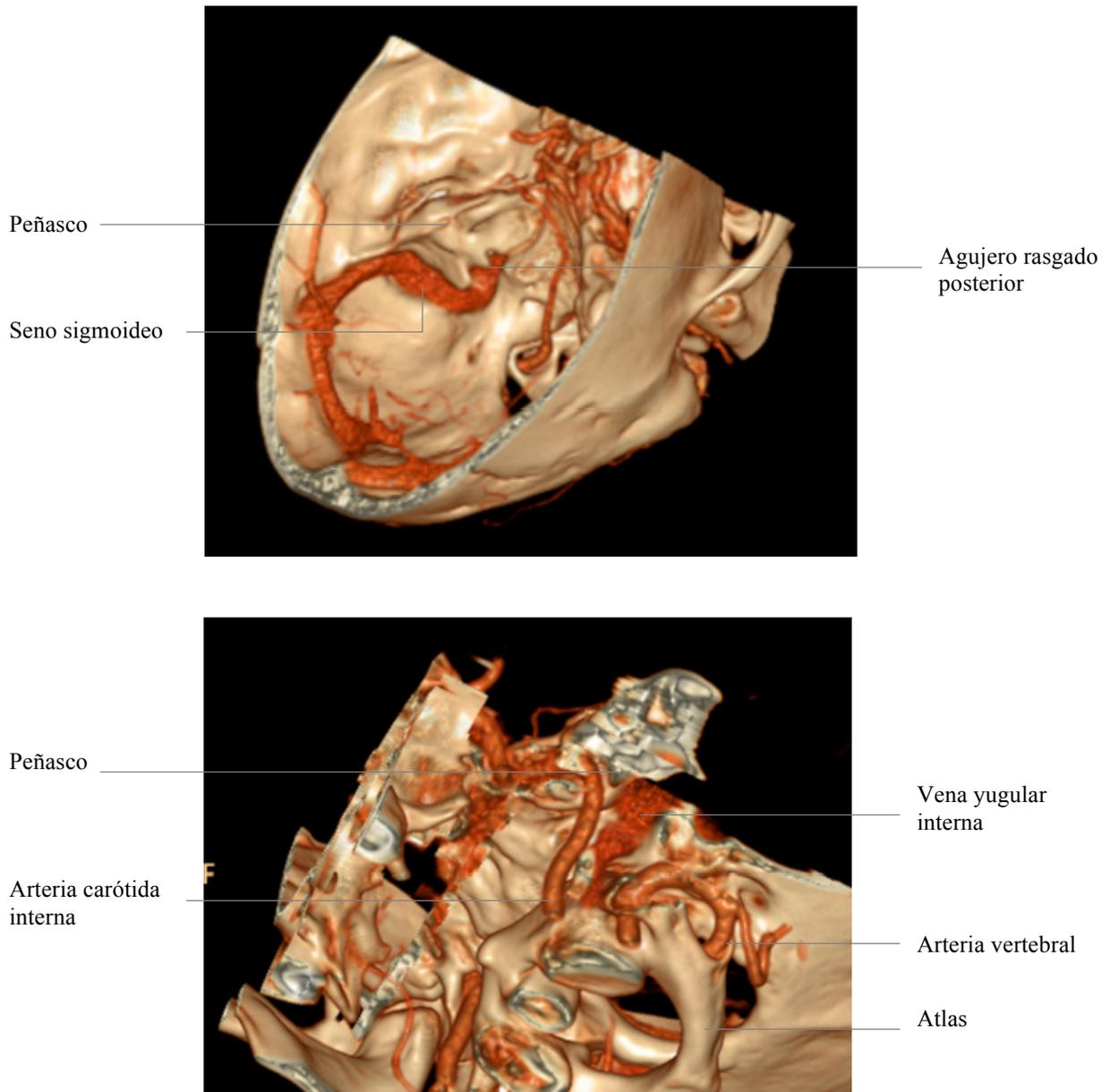


Figs. 33 y 34. Reconstrucciones en 3D de TCMD del peñasco, cara inferior (superior) y cara anterior (inferior). Mediante reconstrucciones en 3D podemos apreciar los detalles de cada una de las caras del peñasco.



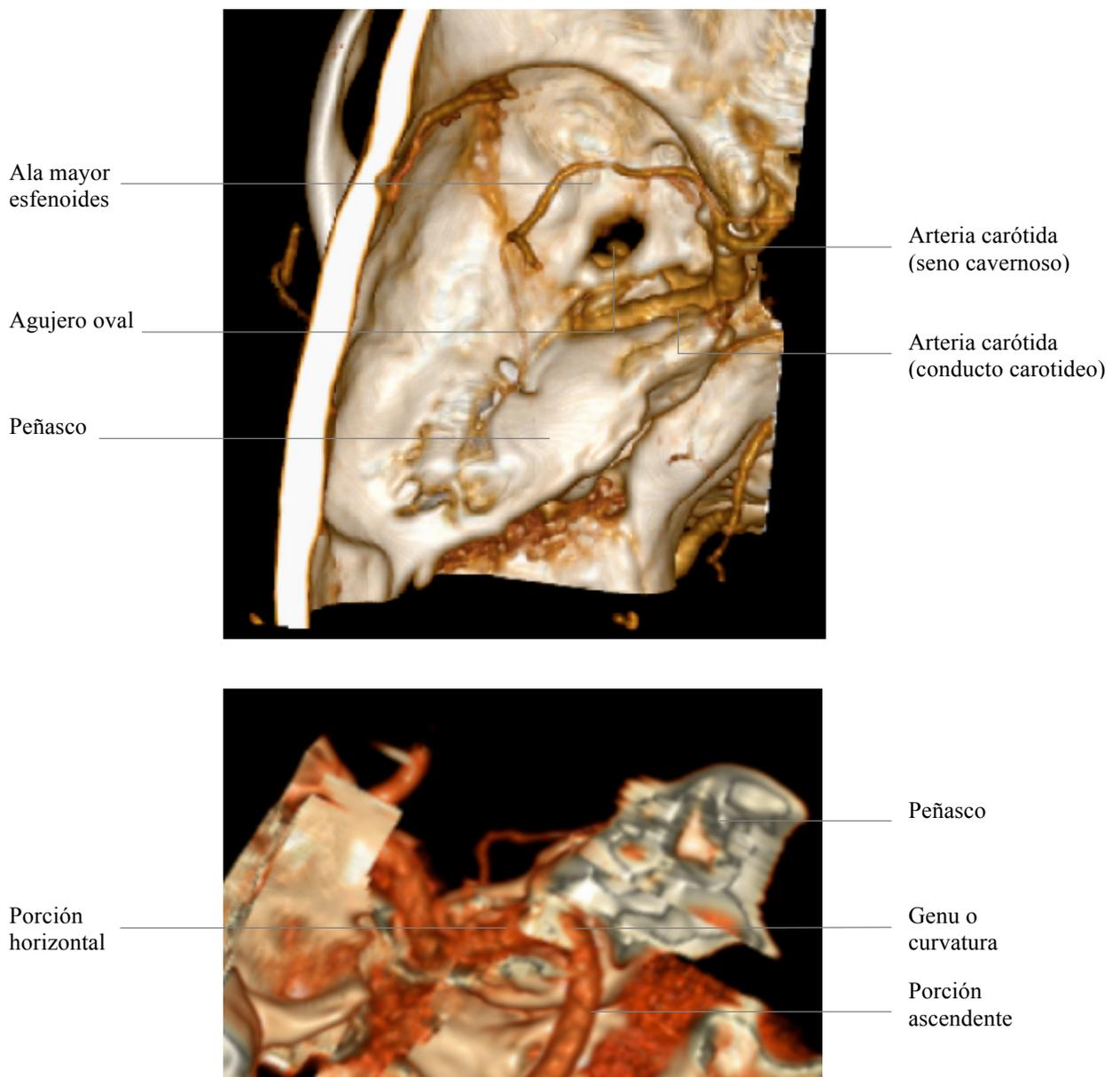
Figs. 35, 36 y 37. Reconstrucciones en 3D de TCMD, cara posterior del peñasco. Mediante reconstrucciones en 3D podemos apreciar los detalles de cada una de las caras del peñasco.

El empleo de angio TC mediante TCMD permite el estudio de las diferentes estructuras vasculares con alta resolución, posibilitando la visualización de ramas colaterales y terminales de los principales vasos. En el estudio que nos ocupa, las estructuras vasculares que más nos interesan son la arteria carótida interna y la vena yugular interna, que se relacionan con el hueso peñasco (figs. 38 y 39).



Figs. 38 y 39. Imágenes de TCMD con reconstrucciones vasculares en 3D donde podemos observar las estructuras vasculares que se relacionan con el peñasco.

En el conducto carotídeo, la arteria carótida está rodeada por un plexo venoso y un plexo simpático. La arteria está casi en contacto con la pared ósea, por eso a este nivel pierde la mayor parte de elementos elásticos. Al salir del conducto, la arteria se dirige anterosuperiormente para penetrar en el seno cavernoso. La porción petrosa tiene tres secciones: la ascendente, la rodilla y la porción horizontal (figs. 40 – 43).



Figs. 40 y 41. Imágenes de TCMD con reconstrucciones vasculares en 3D donde podemos observar la arteria carótida interna en su segmento petroso (C2) con sus diferentes porciones.



Figs. 42 y 43. Imágenes de TCMD con reconstrucciones vasculares en 3D donde podemos observar la entrada de la carótida interna en la base del cráneo. En la imagen inferior, con amputación (circulo verde) de parte del suelo del conducto carotídeo para visualizar mejor la porción petrosa de la arteria carótida interna.

6.2 VIA AUDITIVA

6.2.1 OÍDO EXTERNO

El oído externo empieza en el pabellón auricular, que es el encargado de la recepción de la onda sonora y permite determinar la dirección de las ondas sonoras así como variar el contenido espectral de la señal debido a la morfología del pabellón y al conducto auditivo externo. En esta primera parte recorreremos el trayecto desde el pabellón auricular hasta la membrana timpánica que es la puerta al oído medio.

Pabellón auricular

Es una lámina cartilaginosa plegada sobre si misma y con forma ovalada, mediante RM y en secuencias potenciadas en T2 será visualizada como una estructura de baja señal debido al contenido cartilaginoso y zonas de alta señal por la existencia de la grasa cutánea, se sitúa en las partes laterales de la cabeza, posterior a la articulación temporomandibular y a la región parotídea, anterior a la región mastoidea e inferior a la región temporal (figs. 44 – 46).

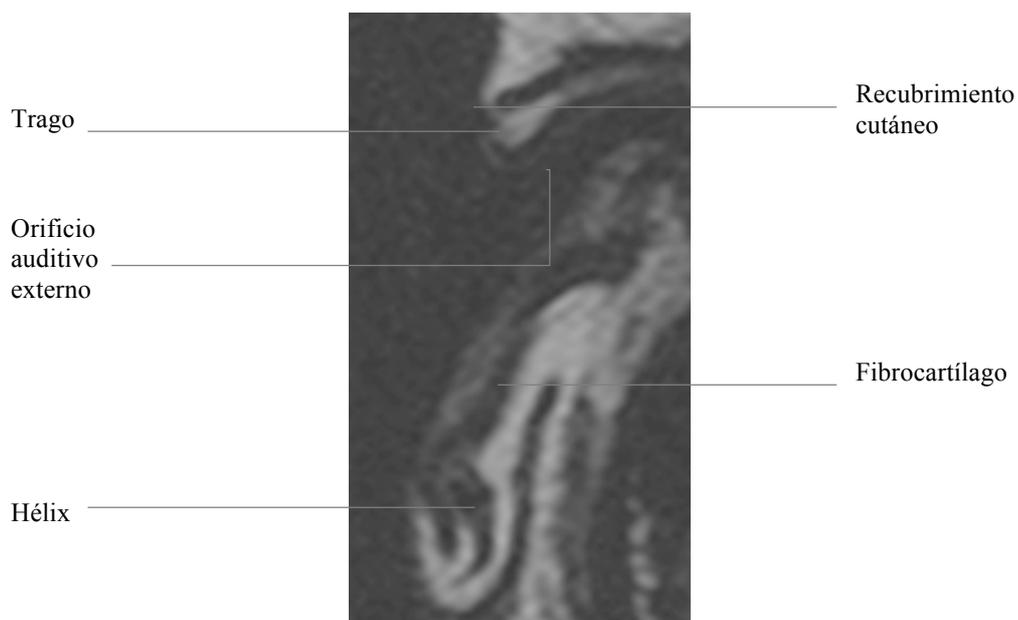
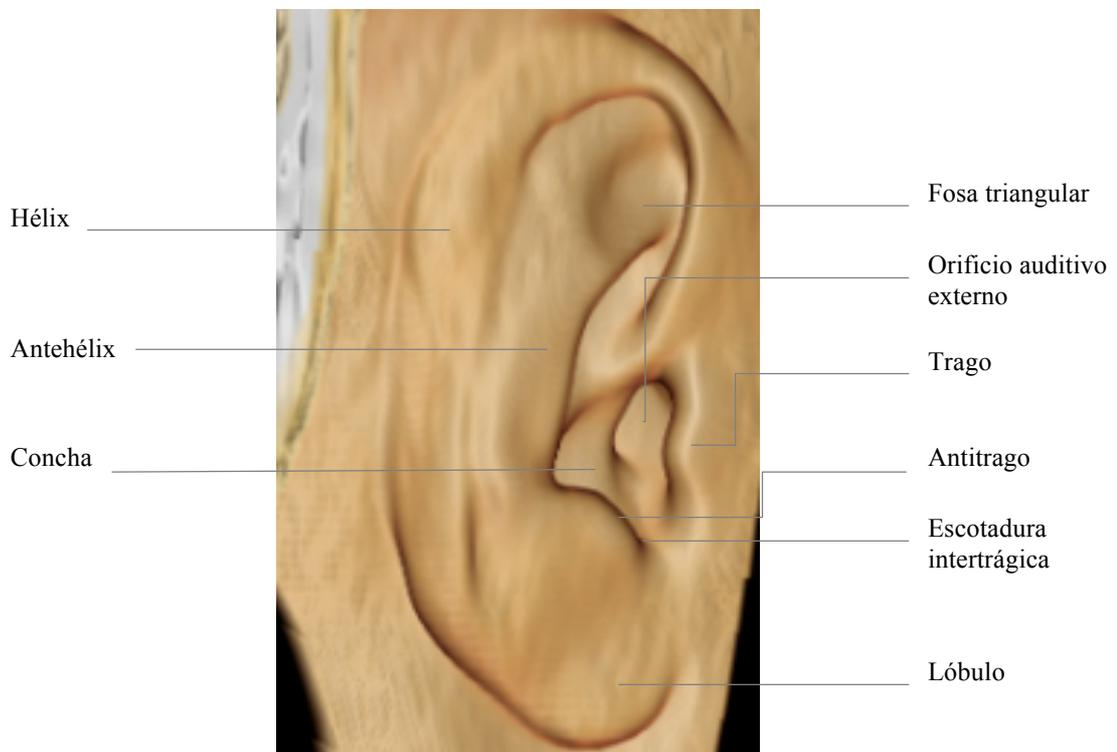
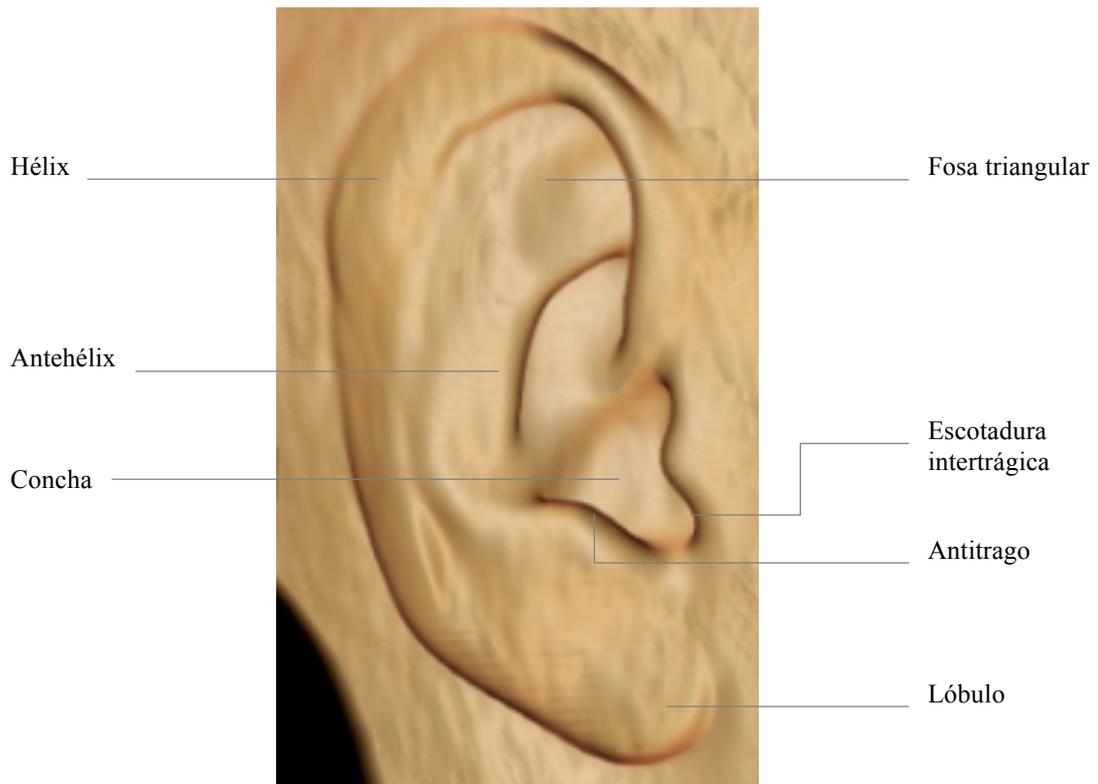


Fig. 44. RM potenciada en secuencia FIESTA, en incidencia axial, donde visualizamos el pabellón auricular con diversas partes.



Figs. 45 y 46. Reconstrucciones en 3D de TCMD donde se aprecia el detalle de las estructuras del pabellón auditivo.

Conducto auditivo externo

El conducto auditivo externo se extiende desde la concha de la oreja hasta la membrana timpánica. Presenta una longitud media de 25 mm. con una morfología cilíndrica en “S” itálica y dirección oblicua de posterior a medial.

El conducto auditivo consta de una porción fibrocartilaginosa y una porción ósea, mejor visualizadas con TC, apreciándolas como densidad de partes blandas y densidad hueso, respectivamente (figs. 47 – 51). Presenta varias paredes: la pared anterior, que se relaciona con la articulación temporomandibular; la pared posterior, que se relaciona con la porción mastoidea del temporal y en su porción más profunda se relaciona con el nervio facial; la pared superior, se relaciona con la fosa craneal media; y la pared inferior, se relaciona con la parótida (figs. 52 – 57).

En la actualidad, con la TCMD podemos realizar técnicas como la endoscopia virtual, que nos permite viajar a través de diferentes conductos, en este caso la hemos empleado para desplazarnos por el conducto auditivo externo (figs. 58 y 59).

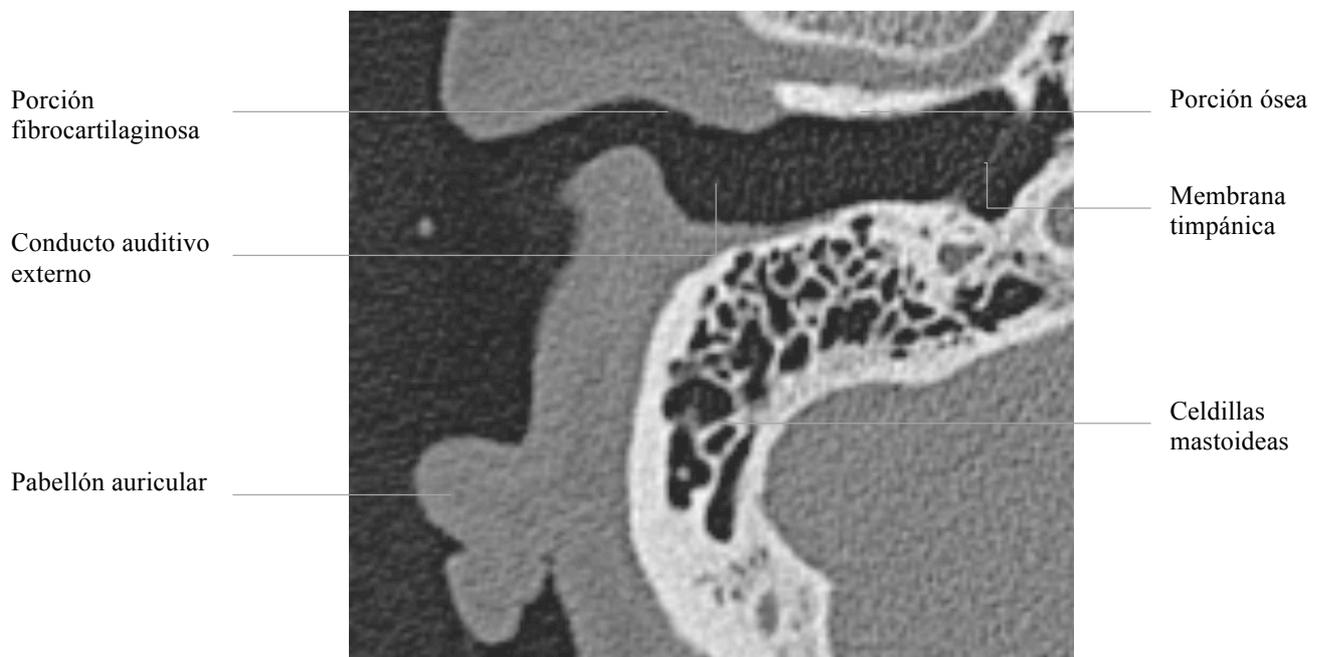
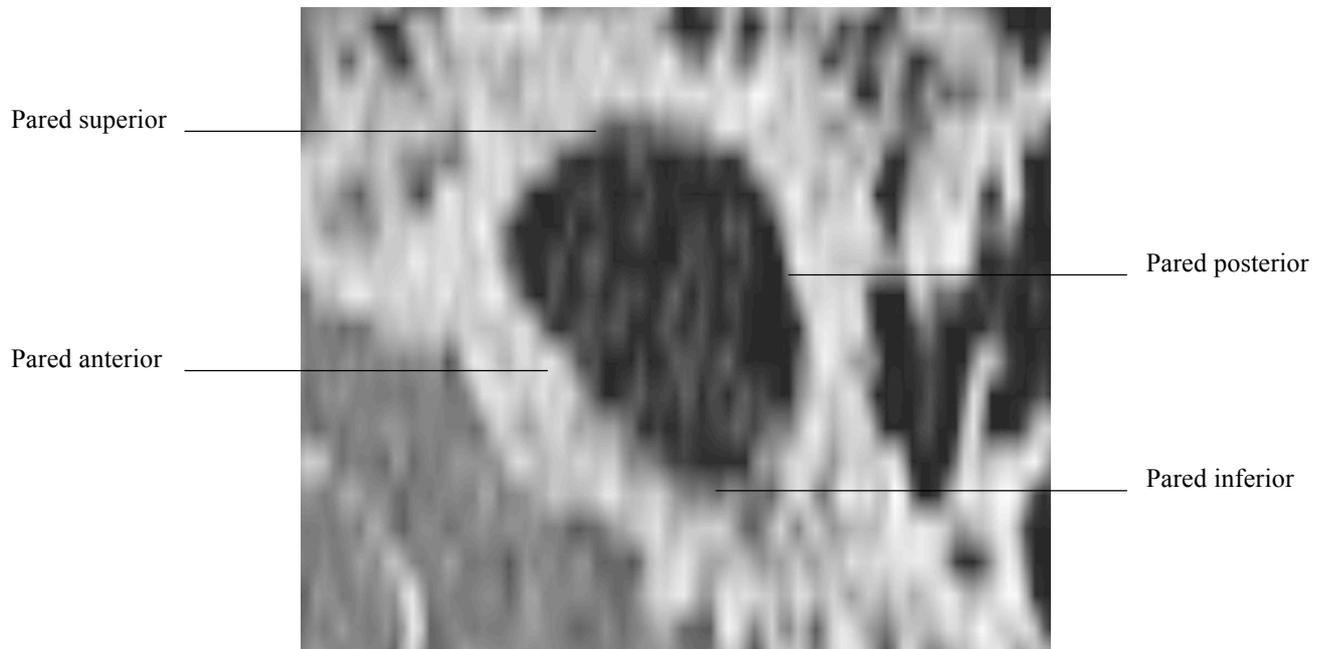
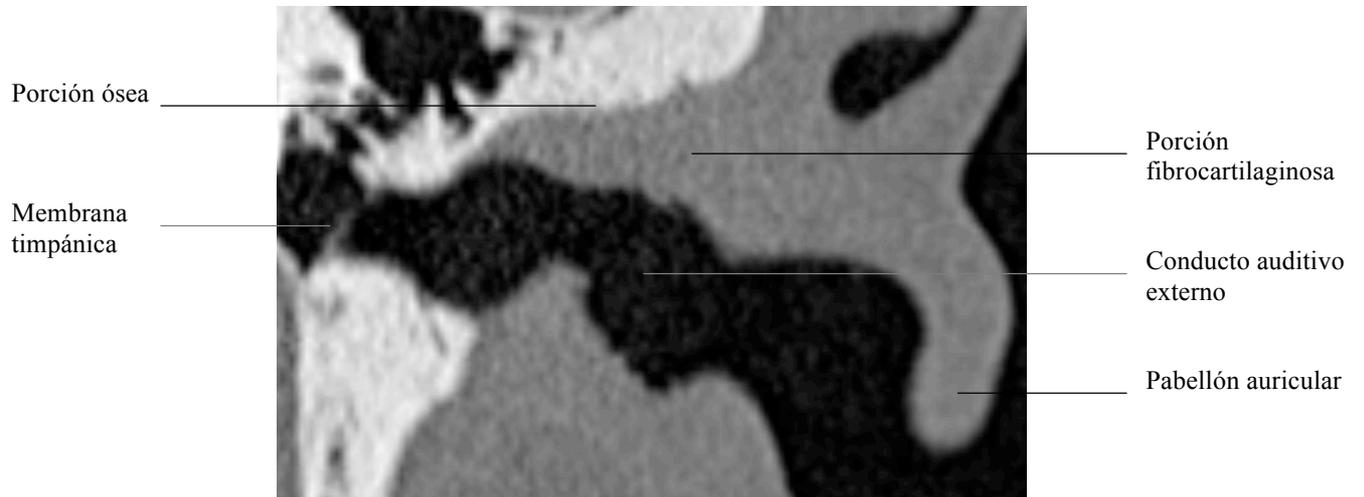
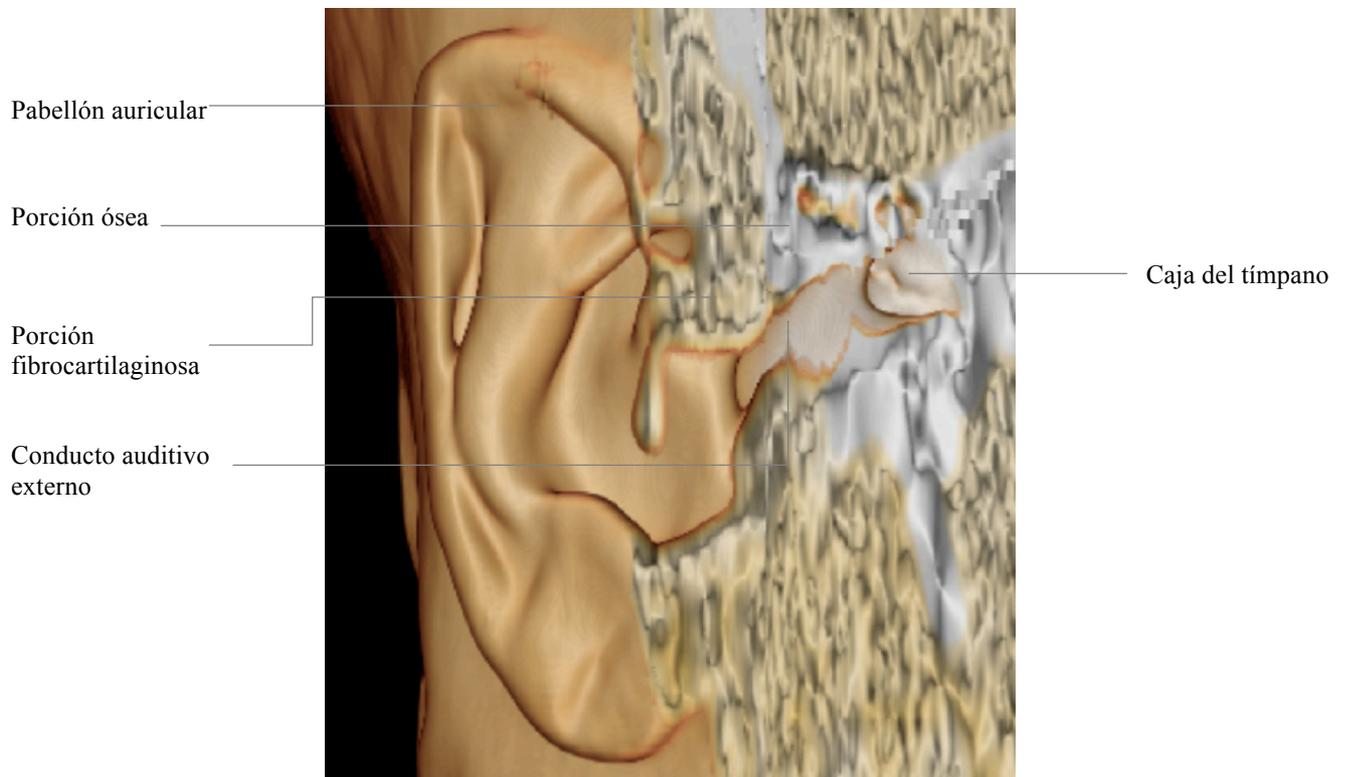
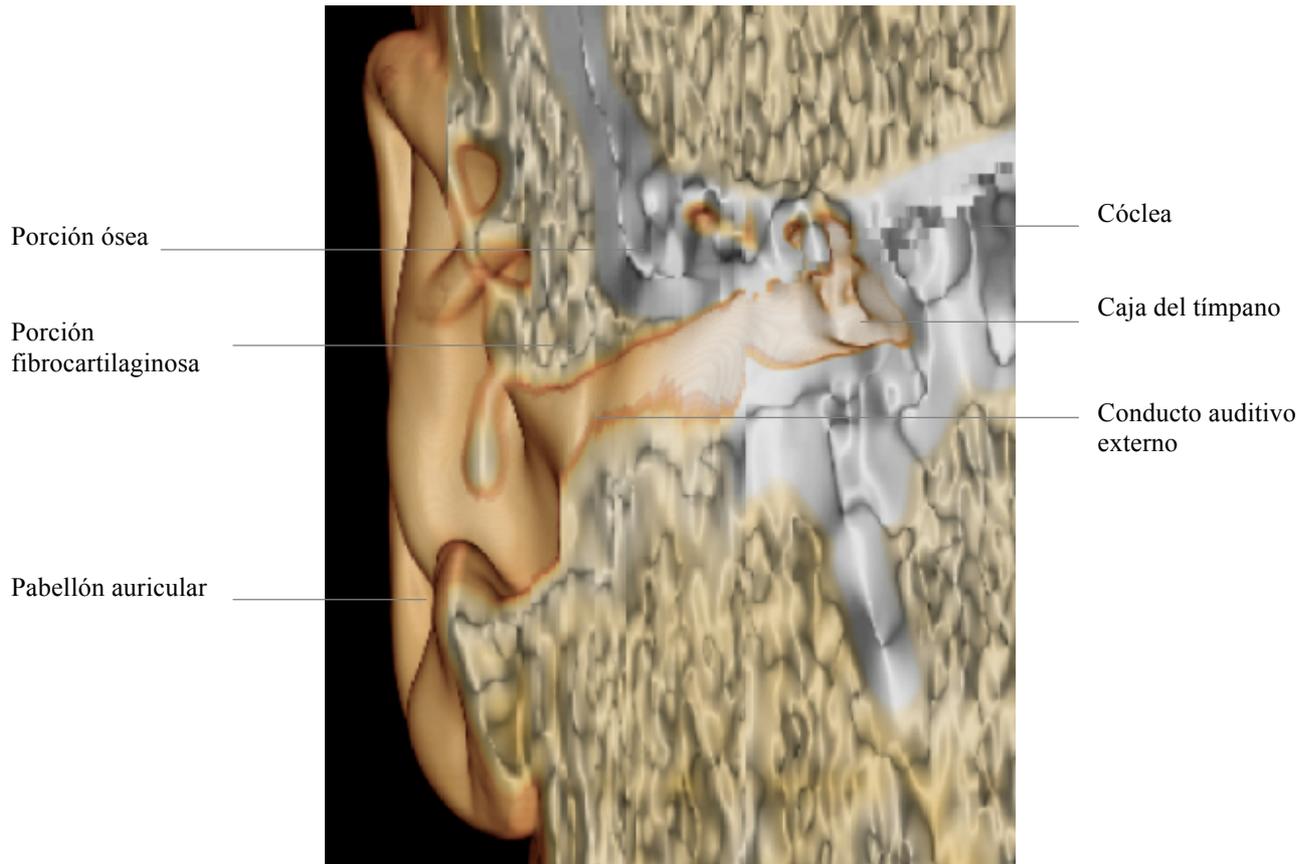


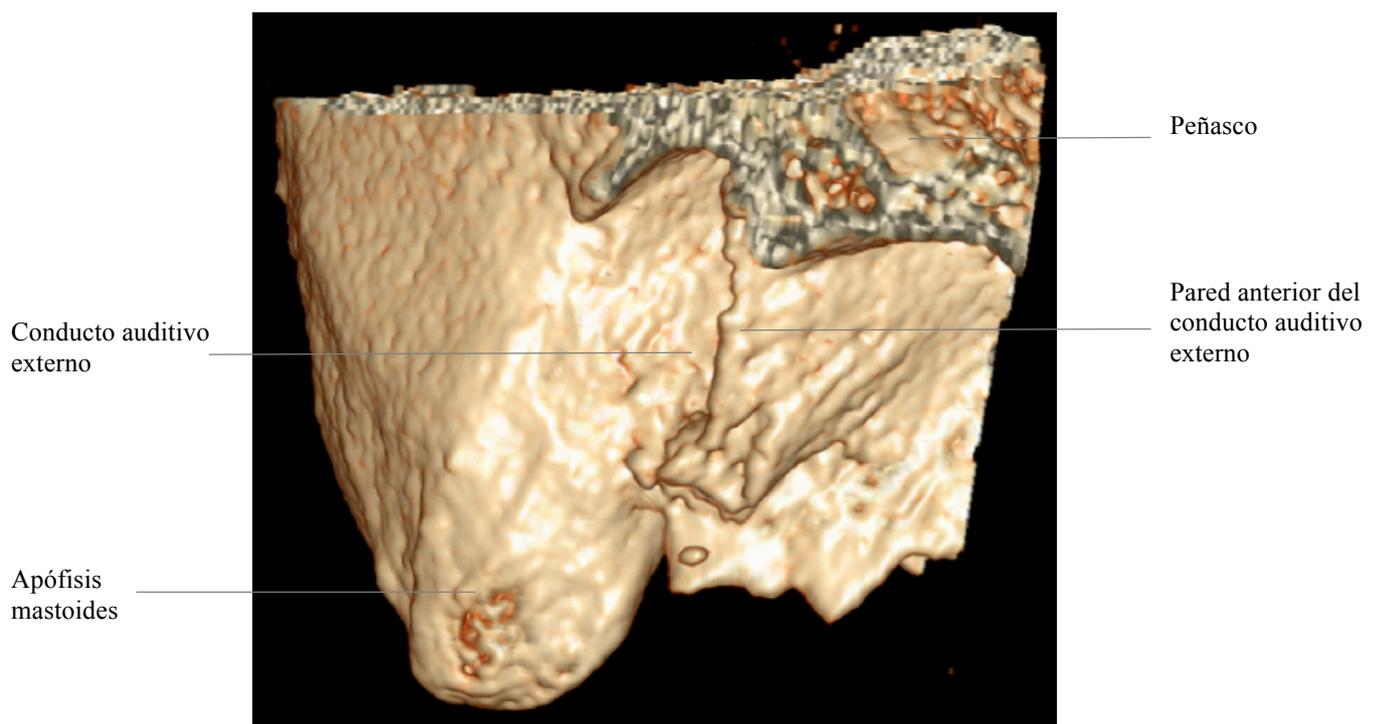
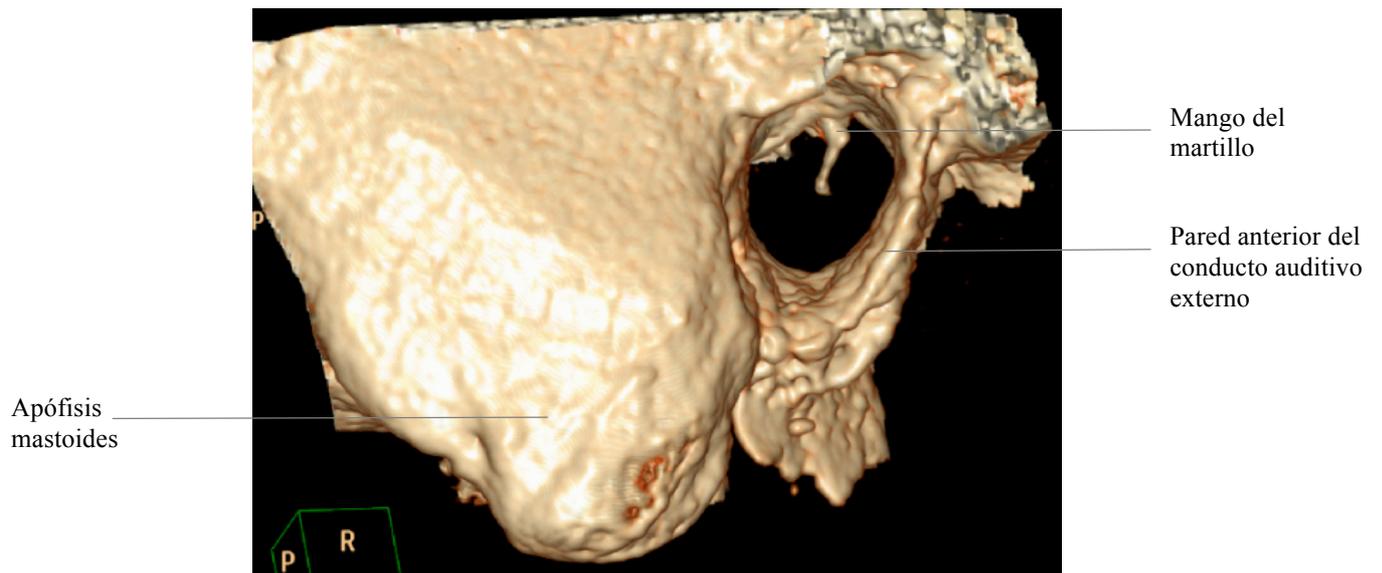
Fig. 47. Imagen de TCMD, incidencia axial, con ventana ósea donde se aprecia la configuración del conducto auditivo externo con sus porciones.



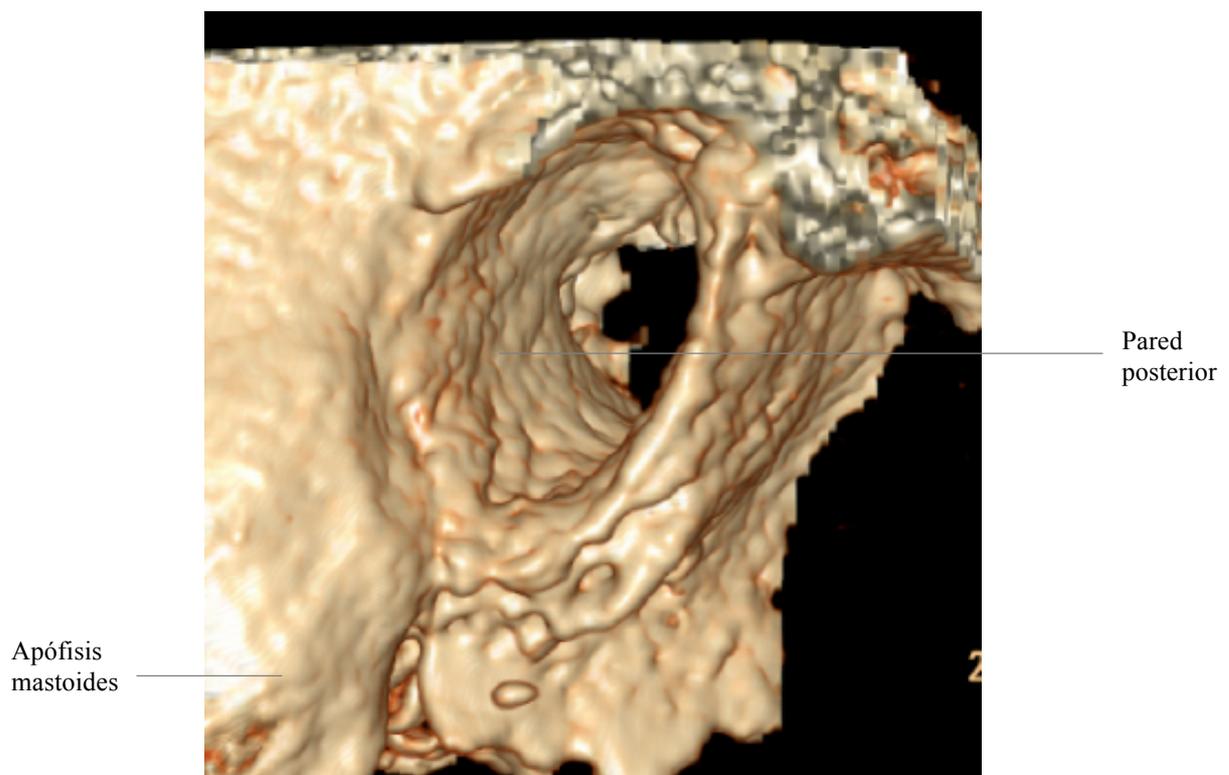
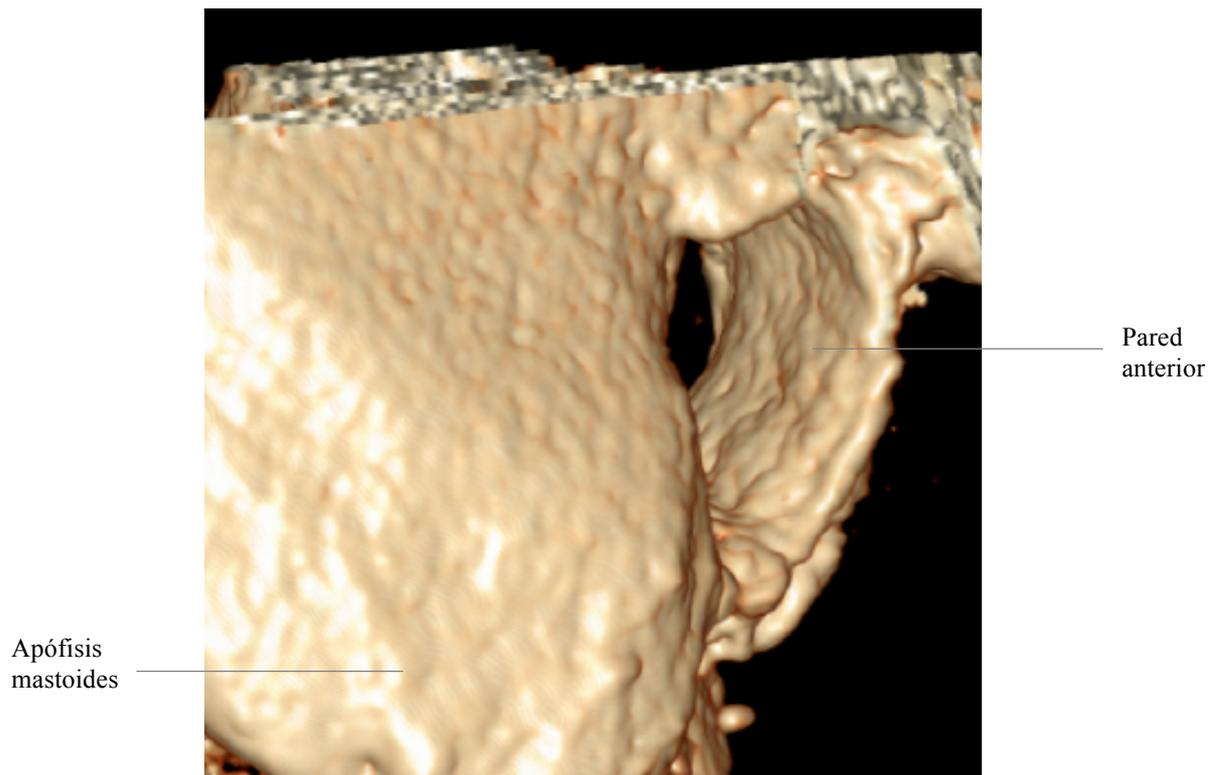
Figs. 48 y 49. Imagen de TCMD, reconstrucción coronal (superior) y sagital (inferior), con ventana ósea donde se aprecia la configuración del conducto auditivo externo mostrando sus porciones y paredes.



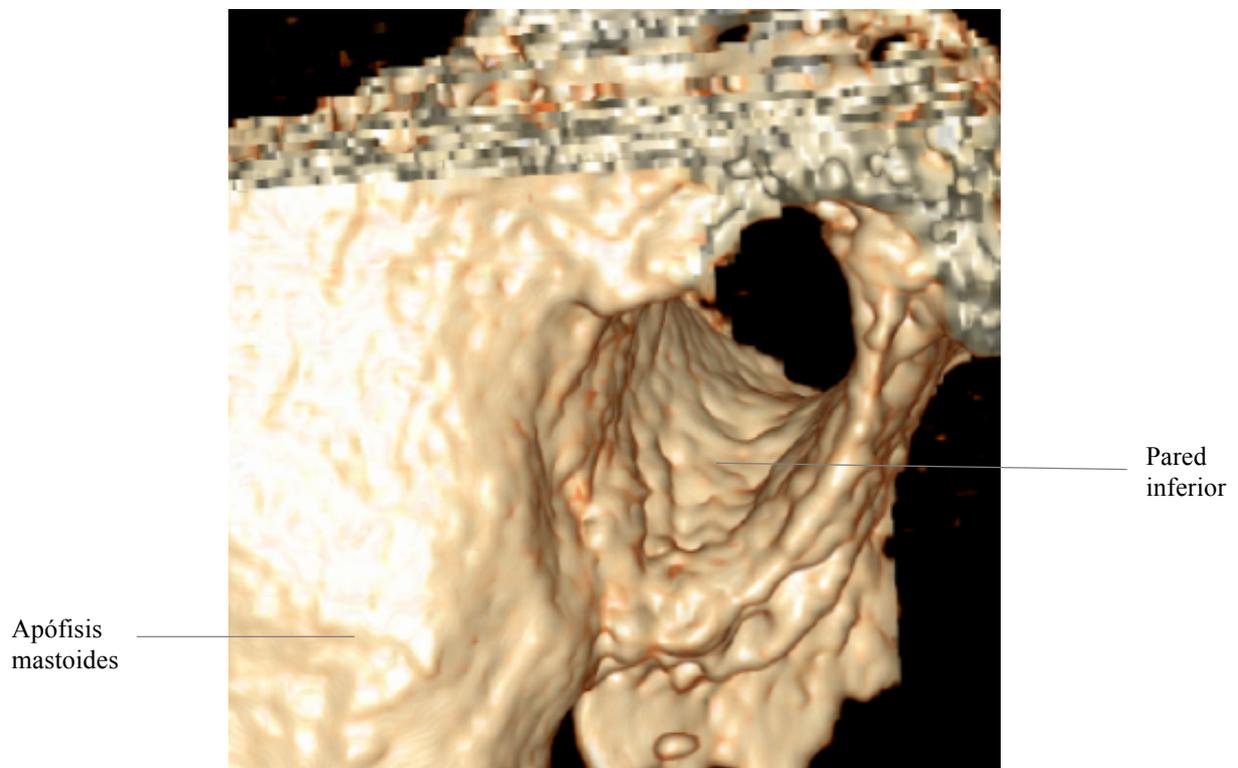
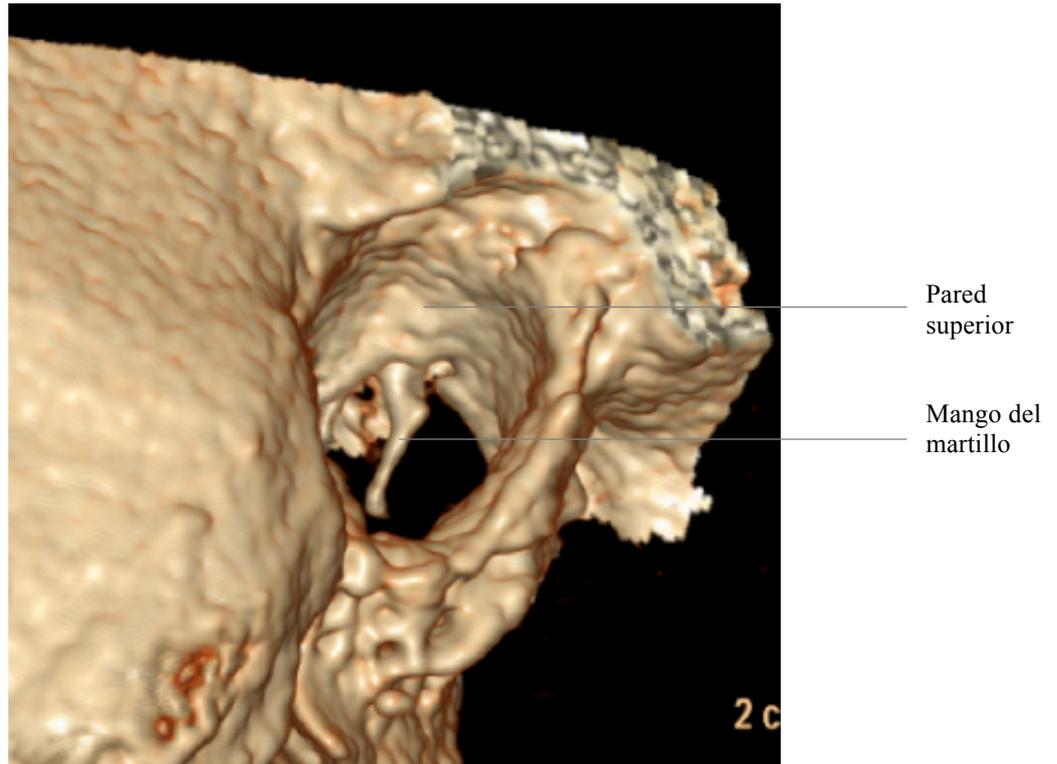
Figs. 50 y 51. Reconstrucciones en 3D de TCMD donde se aprecia el conducto auditivo externo y su relación con estructuras adyacentes.



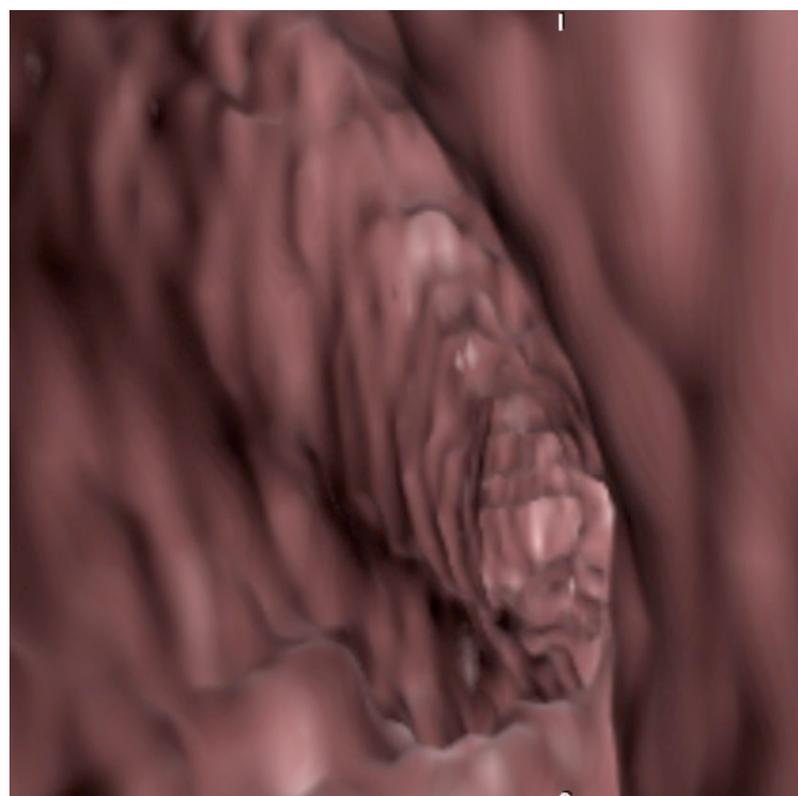
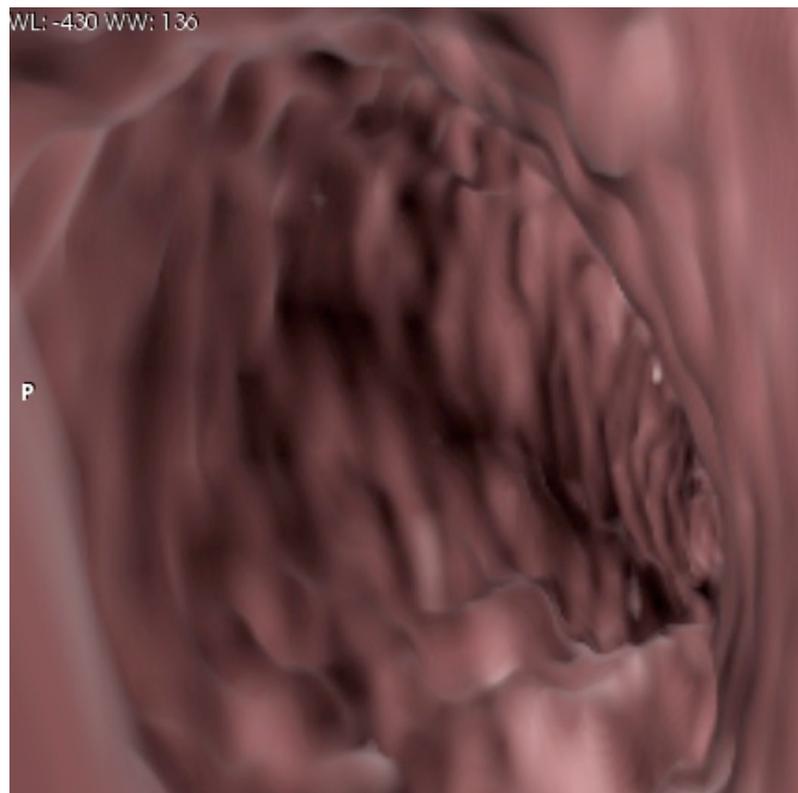
Figs. 52 y 53. Reconstrucciones en 3D de TCMD con protocolo de hueso donde se visualizan los elementos óseos que constituyen el conducto auditivo externo, apreciando, en la imagen superior, el mango del martillo al fondo del conducto auditivo externo.



Figs. 54 y 55. Reconstrucciones en 3D de TCMD con protocolo de hueso donde se visualiza la pared anterior (imagen superior) y pared posterior (imagen inferior) del conducto auditivo externo.



Figs. 56 y 57. Reconstrucciones en 3D de TCMD con protocolo de hueso donde se visualiza la pared superior (imagen superior) y pared inferior (imagen inferior) del conducto auditivo externo.



Figs. 58 y 59. Visión endoscópica del conducto auditivo externo, mediante técnica de endoscopia virtual permitida por las TCMD actuales.

6.2.2 OÍDO MEDIO

Las ondas sonoras, después de recorrer el oído externo, impactan contra el tímpano y hacen que éste vibre siguiendo las oscilaciones de dicha señal. Las vibraciones del tímpano se transmiten a lo largo de la cadena de huesecillos, la cual opera como un sistema de palancas de primer orden, de forma tal, que la base del estribo vibra en la ventana oval. El estribo se encuentra en contacto con uno de los fluidos contenidos en el oído interno (la perilinfa); por lo tanto, el tímpano y la cadena de huesecillos actúan como un mecanismo para transformar las vibraciones del aire en vibraciones del fluido.

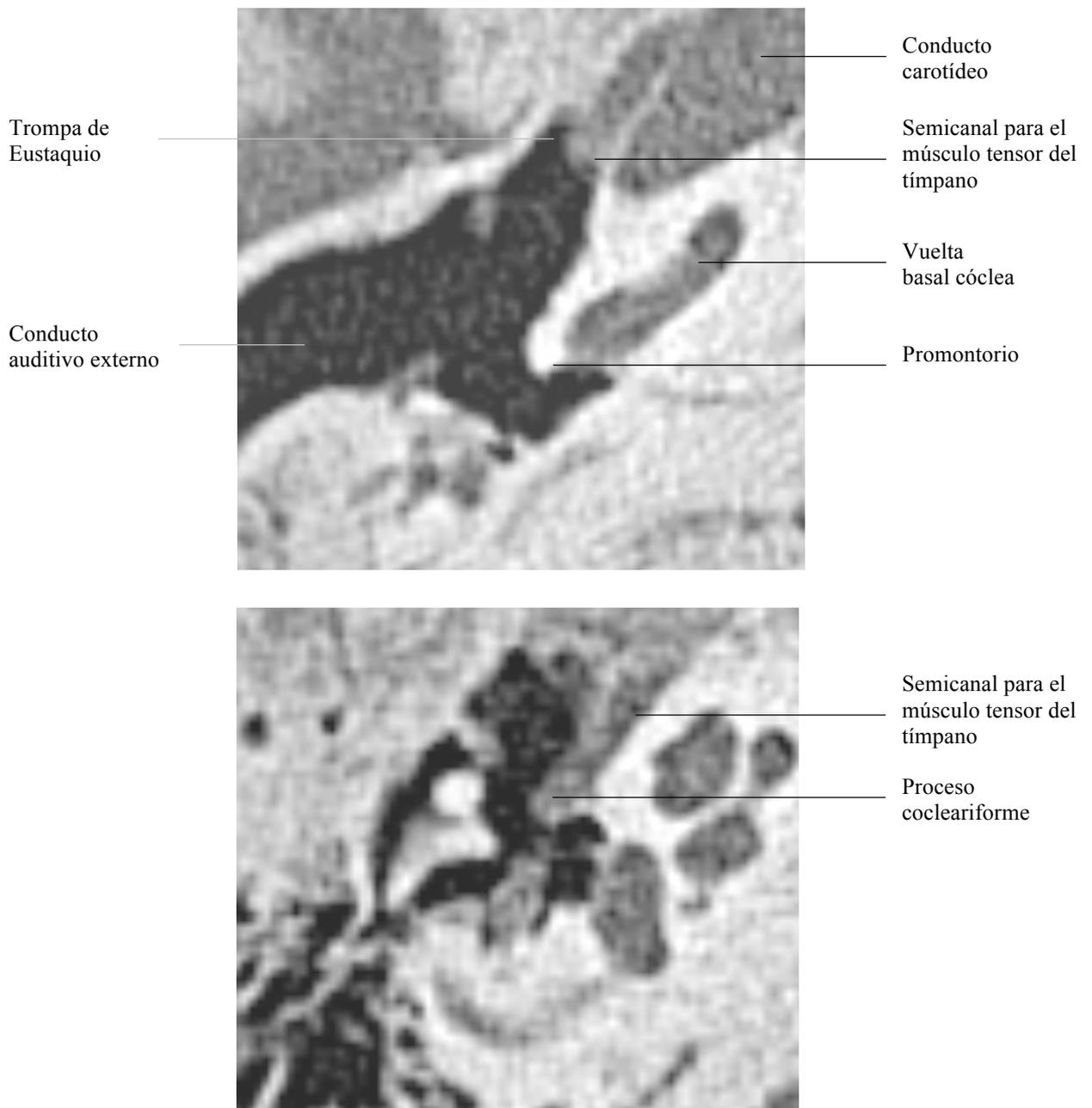
El oído medio es una cavidad muy pequeña alojada en el hueso temporal y recubierta por mucosa, en la cual se aloja la cadena de huesecillos, que es el elemento fundamental del oído medio. Esta cadena de huesecillos está unida a la cavidad por una serie de ligamentos y músculos, comunicándose dicha cavidad con la laringe a través de la trompa de Eustaquio con el objeto de igualar la presión con el aire exterior, además de permitir una adecuada ventilación del oído medio para evitar los procesos infecciosos a dicho nivel. En este apartado vamos a describir los diferentes elementos del oído medio.

La entrada al oído medio se realiza a través de la membrana timpánica, radiológicamente la visualizamos mejor en TC, como una fina lámina con densidad de partes blandas (figs. 47 y 48).

Caja del tímpano

La caja del tímpano tiene forma de lente bicóncava y presenta: a) una pared lateral y una pared medial y b) una circunferencia que, a su vez, se compone de cuatro paredes: superior, inferior, anterior y posterior. La TC nos permite valorar adecuadamente la caja del tímpano debido a la naturaleza ósea de sus componentes, por lo tanto la TC es la técnica de elección para su estudio.

La pared anterior llamada también carotídea, por relacionarse con el canal carotídeo, posee dos aberturas, el orificio de la trompa auditiva y el semicanal de músculo tensor del tímpano, separadas por un septo óseo. La trompa auditiva está normalmente rellena de aire en sus primeros 2-3 centímetros, por lo que muestra densidad aire en imágenes de la TC. El semicanal del músculo tensor del tímpano se extiende posteromedialmente a la trompa de Eustaquio pasando debajo de la rodilla del facial y terminando ligeramente por delante de la ventana oval, al tratarse de un músculo, en la TC, lo visualizaremos como densidad de partes blandas. El músculo tensor del tímpano se inserta en el cuello del martillo alojándose en el proceso cocleariforme (figs. 60 y 61).

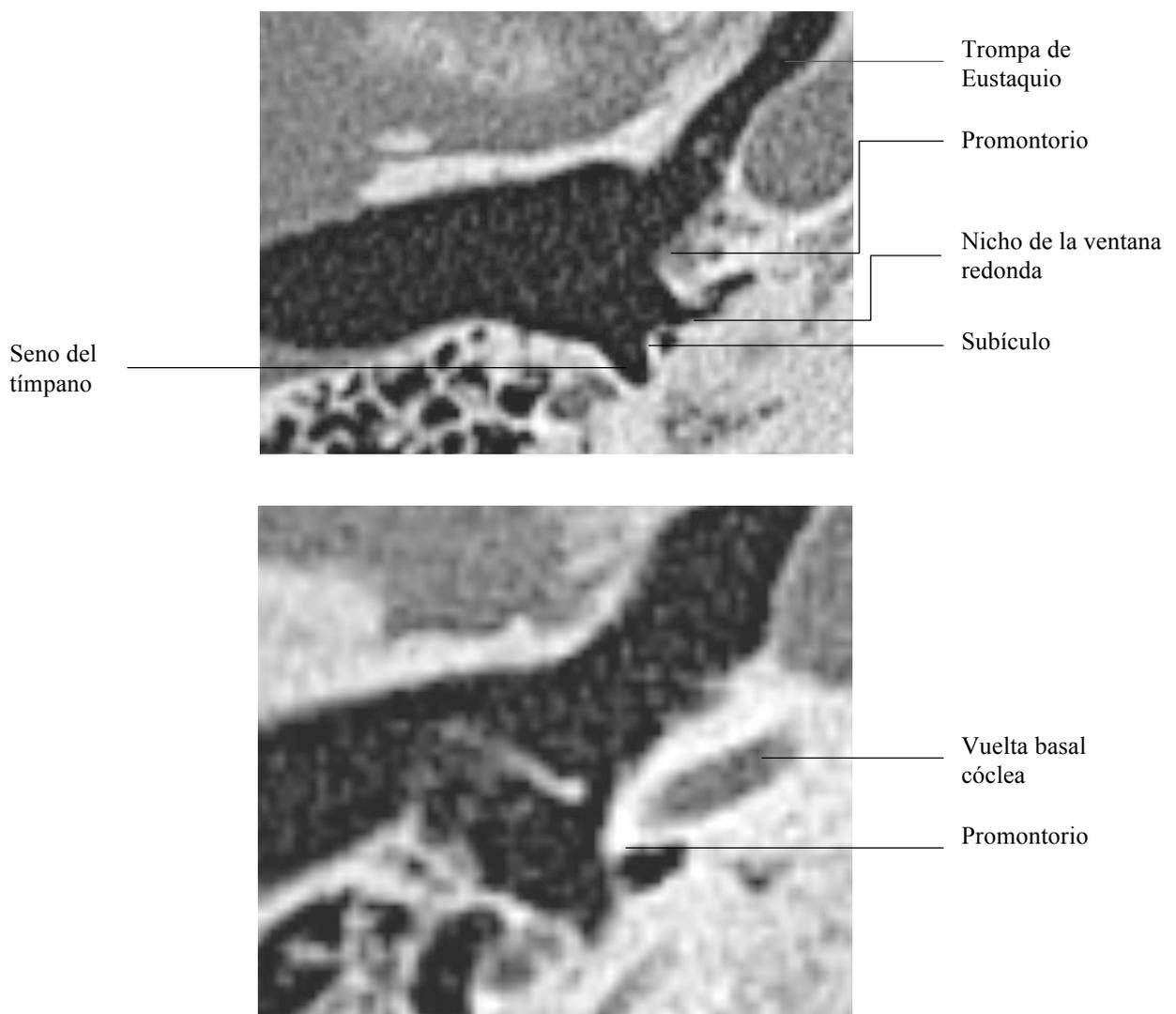


Figs. 60 y 61. Imágenes de TCMD, incidencias axiales, con ventana de hueso que ilustran los elementos principales que conforman la pared anterior de la caja timpánica.

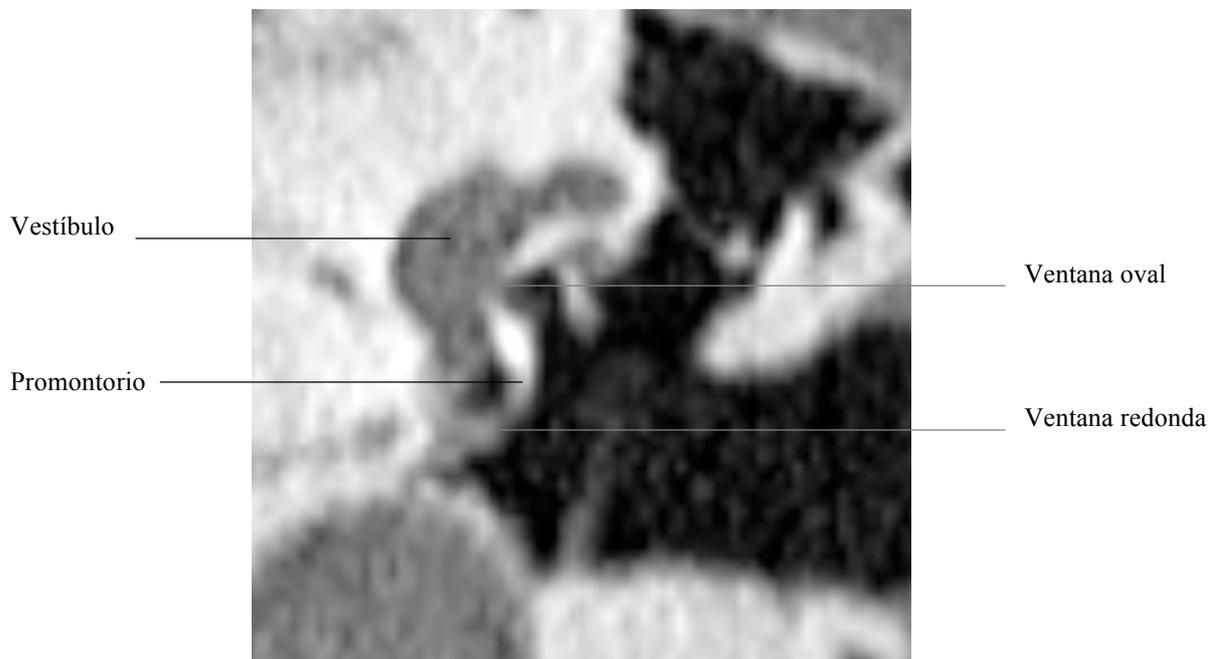
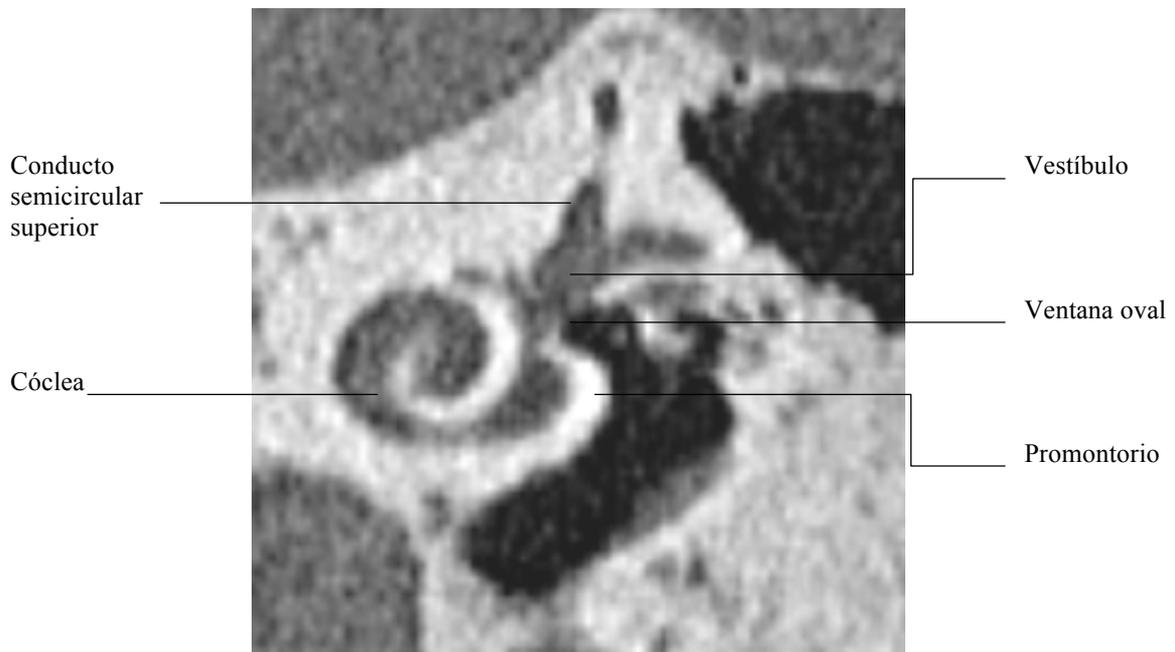
La pared medial separa el oído interno del oído medio y corresponde a la pared laberíntica. La estructura más representativa a este nivel es el promontorio, una eminencia redondeada que corresponde a la vuelta basal de la cóclea. El resto de estructuras se disponen alrededor del mismo. La ventana oval se sitúa superior al

promontorio, la ventana redonda es inferior al promontorio, y entre las dos ventanas se puede apreciar una depresión conocida como seno del tímpano.

Sobre la ventana redonda se ubica la segunda porción del facial. Finalmente, en localización anterosuperior a la ventana oval, discurre el semicanal para el músculo tensor del tímpano que se dobla lateralmente configurando el proceso cocleariforme (figs. 62 – 65).

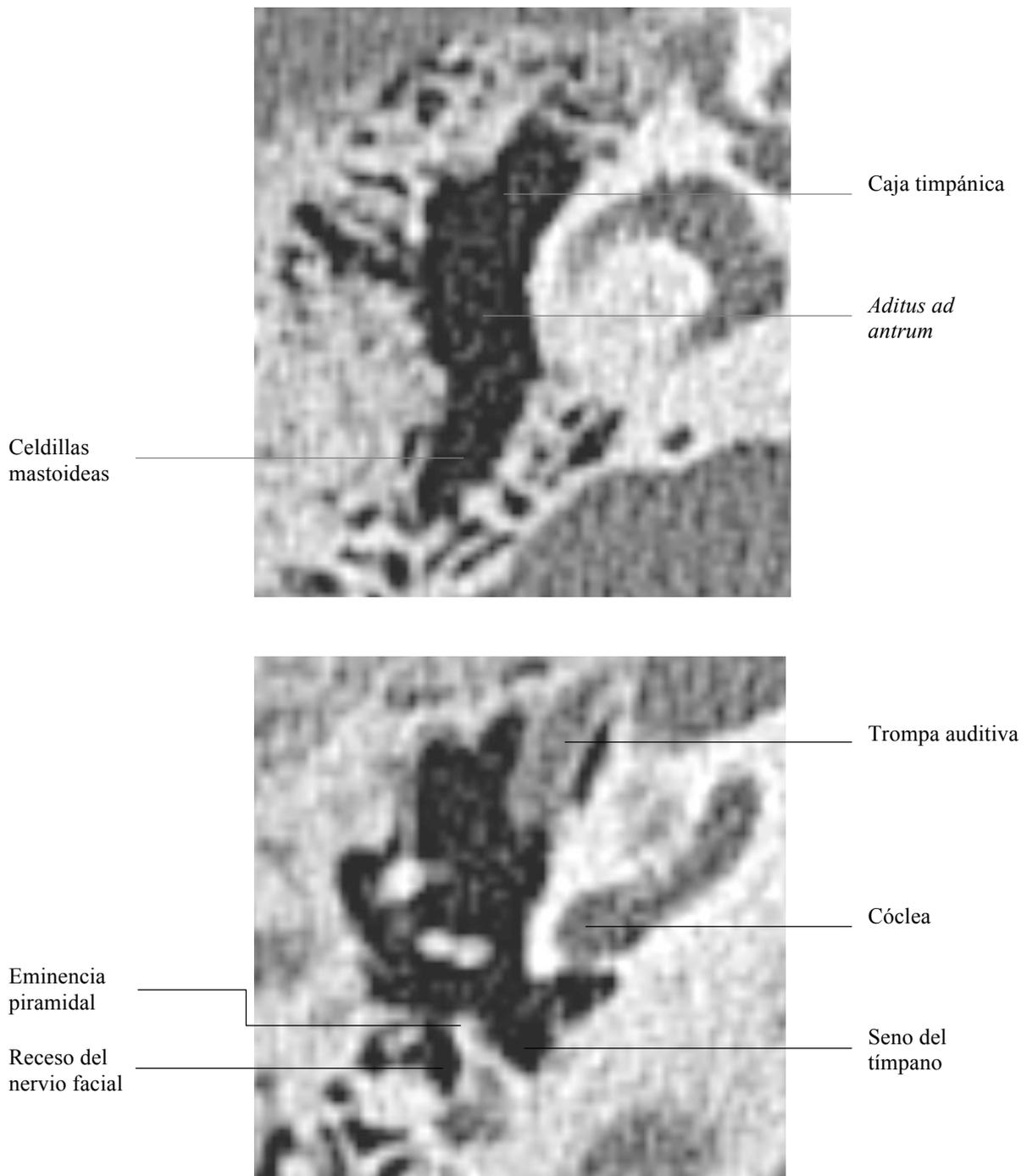


Figs. 62 y 63. Imágenes de TCMD, incidencias axiales, con ventana de hueso que ilustran los elementos principales que conforman la pared medial de la caja timpánica.

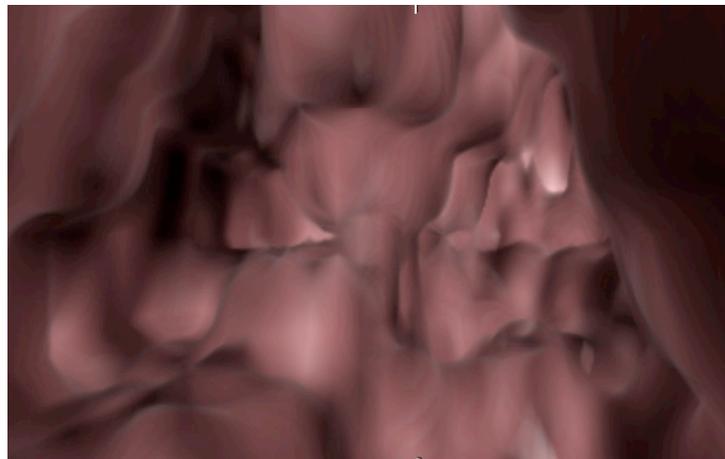


Figs. 64 y 65. Imágenes de TCMD, reconstrucción sagital (superior) y coronal (inferior), con ventana de hueso donde se aprecian la ventana oval y la ventana redonda y su relación con el vestíbulo.

La pared posterior, llamada también pared mastoidea por su comunicación con el antro mastoideo a través del *aditus ad antrum*, el cual se sitúa en la prolongación del receso epitimpánico. En esta pared se puede apreciar la eminencia piramidal y el receso del facial (figs. 66 – 69).

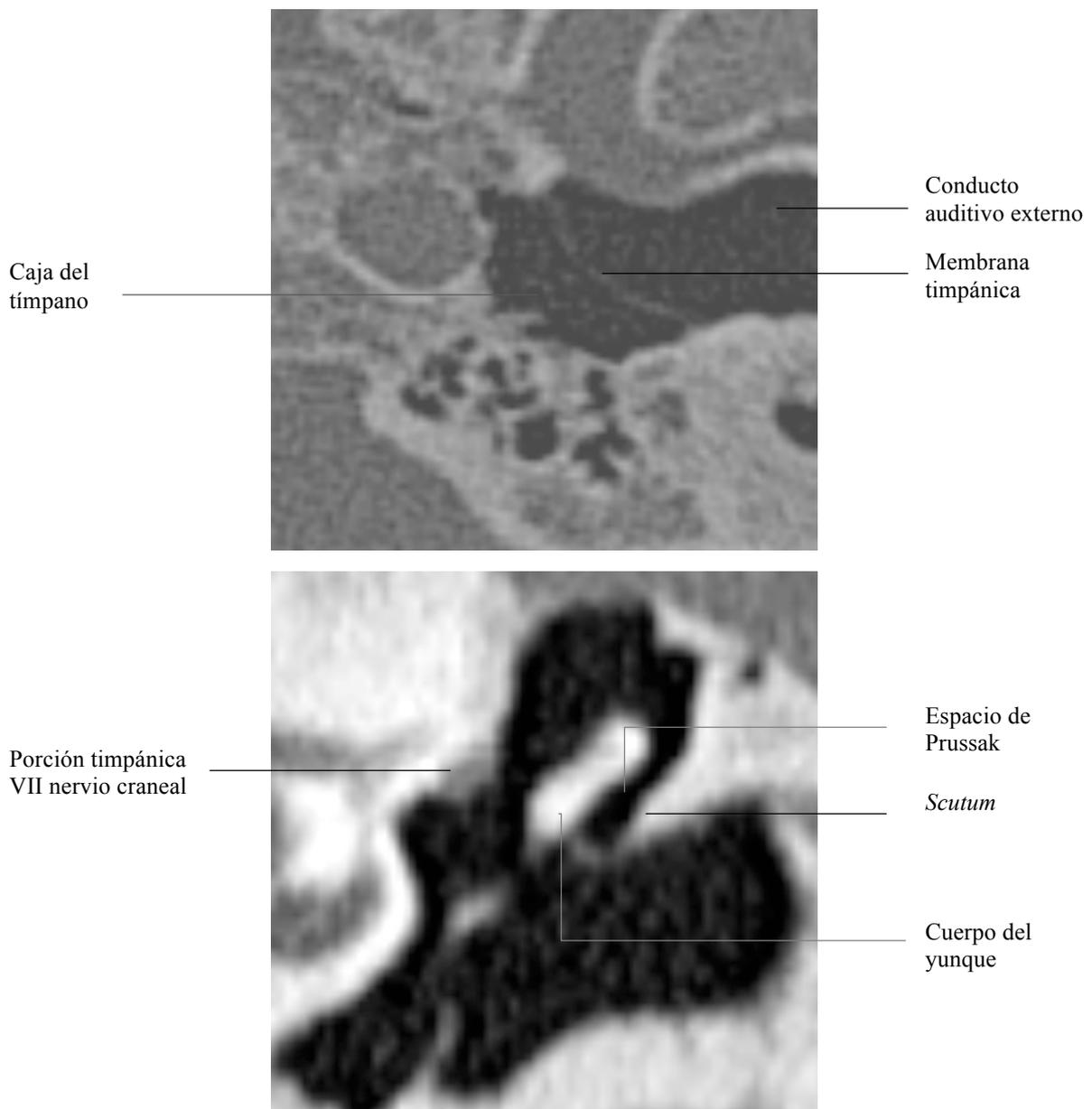


Figs. 66 y 67. Imágenes de TCMD, incidencias axiales, con ventana de hueso que ilustran el detalle del *aditus ad antrum* y las estructuras de la pared posterior.



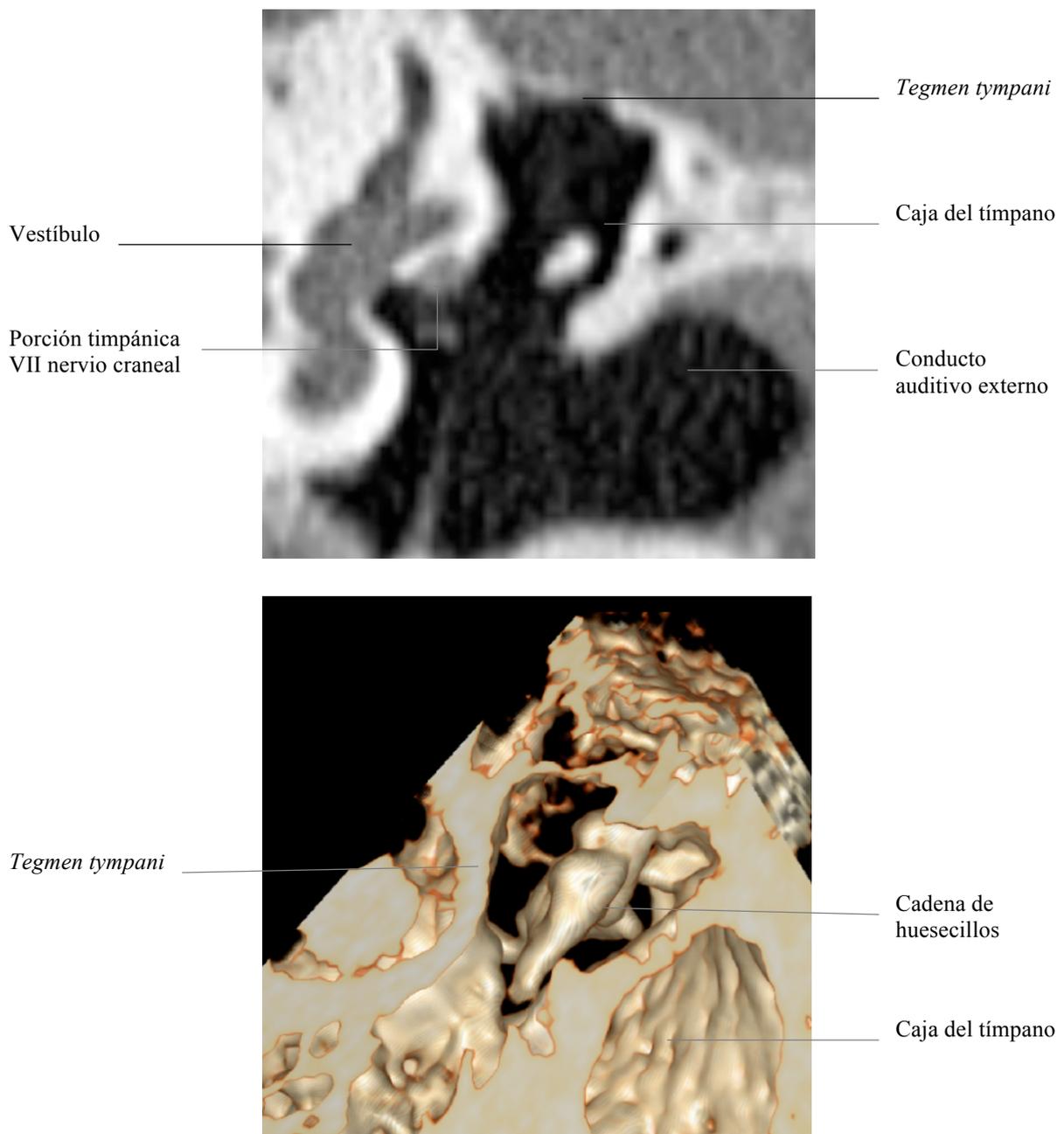
Figs. 68 y 69. Imágenes de TCMD, sagital (superior), con ventana de hueso que ilustra el detalle del *aditus ad antrum* y celdillas mastoideas. Endoscopia virtual (inferior) donde apreciamos las celdillas mastoideas desde el *aditus ad antrum*.

La pared lateral está prácticamente cubierta en su totalidad por la membrana timpánica, que es una estructura semitransparente de base oval y que en condiciones normales en la TC se aprecia como una fina lámina de partes blandas. Otras estructuras importantes a este nivel son, el *scutum*, que es un espolón óseo donde se inserta la porción superior de la membrana timpánica, y el espacio de Prussak, este último limitado por la membrana timpánica, por el *scutum*, por el proceso corto del martillo y por el cuello del martillo. Este espacio posee una gran importancia en el diagnóstico del colesteatoma (fig. 70 y 71).



Figs. 70 y 71. Imágenes de TCMD, incidencia axial, con ventana de hueso (superior) y ventana de partes blandas (inferior) que ilustra el detalle de las estructuras de la pared lateral.

La pared superior, también llamada *tegmen tympani*, esta formada por una fina lámina ósea que separa la cavidad timpánica de la fosa craneal media. Es común apreciar comunicaciones a través de la cavidad timpánica y de la fosa craneal media por medio de conductillos vasculares (figs. 72 y 73).



Figs. 72 y 73. Imagen de TCMD, reconstrucción coronal (superior), con ventana de hueso que ilustra el techo de la cavidad timpánica. Reconstrucción en 3D (inferior), donde apreciamos el epitímpano, con la cadena de huesecillos y el techo de la cavidad timpánica.

Finalmente, la pared inferior o pared yugular se encuentra en relación con la fosa yugular y el bulbo yugular; es un punto de debilidad del oído medio por lo que es frecuente encontrar fracturas a este nivel y en el techo de la cavidad timpánica, tras traumatismos.

En la práctica clínica el oído medio se divide en tres partes en el plano cráneo-caudal: 1) epitímpano, es la porción más superior donde encontramos gran parte de la cadena osicular, 2) mesotímpano, es la porción en contacto con la membrana timpánica y el 3) hipotímpano que es la división más pequeña y que únicamente contiene aire (fig. 74).

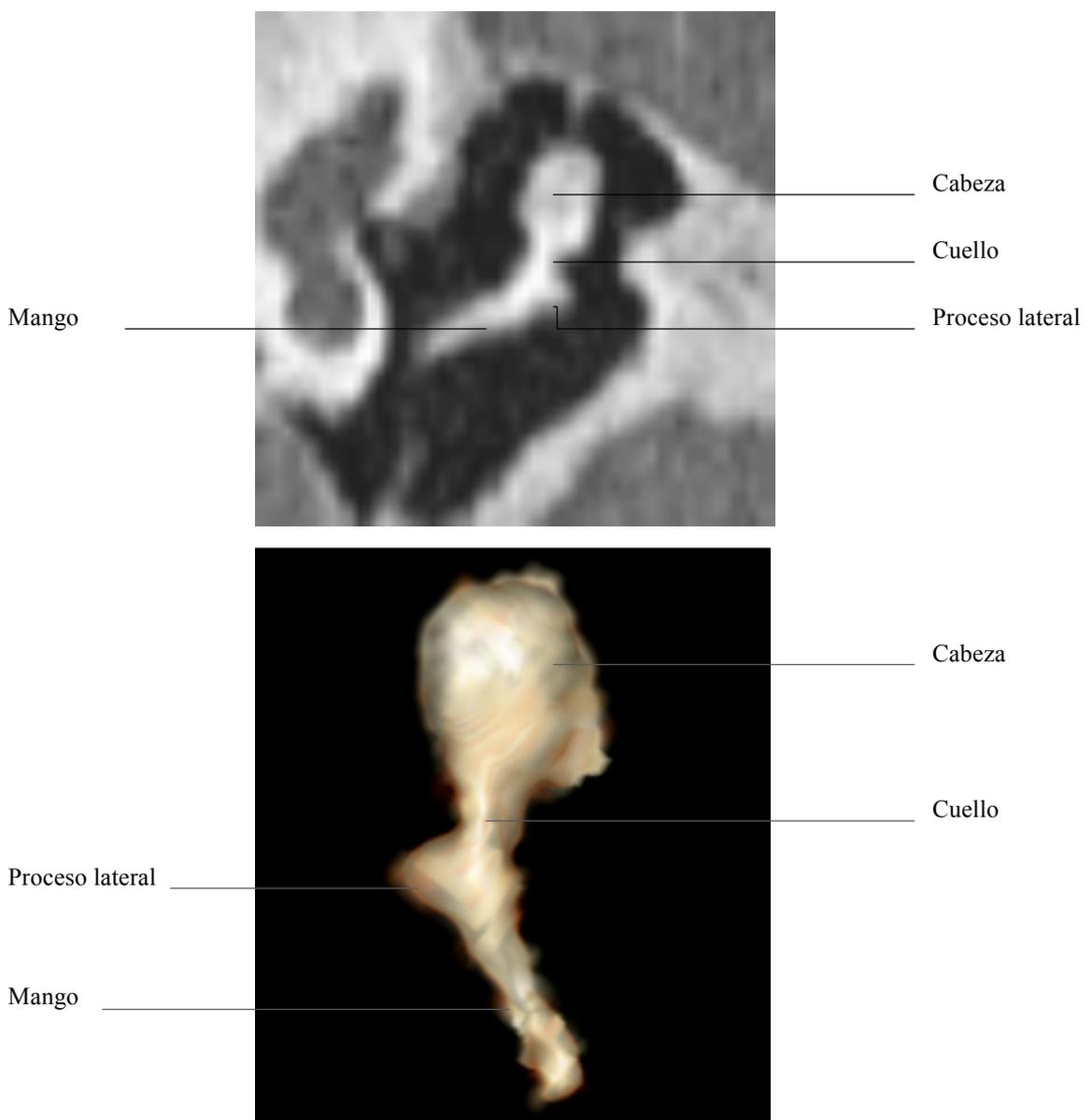


Figs. 74. Imagen de TCMD, reconstrucción coronal, con ventana ósea donde vemos las tres divisiones del oído medio.

Cadena de huesecillos

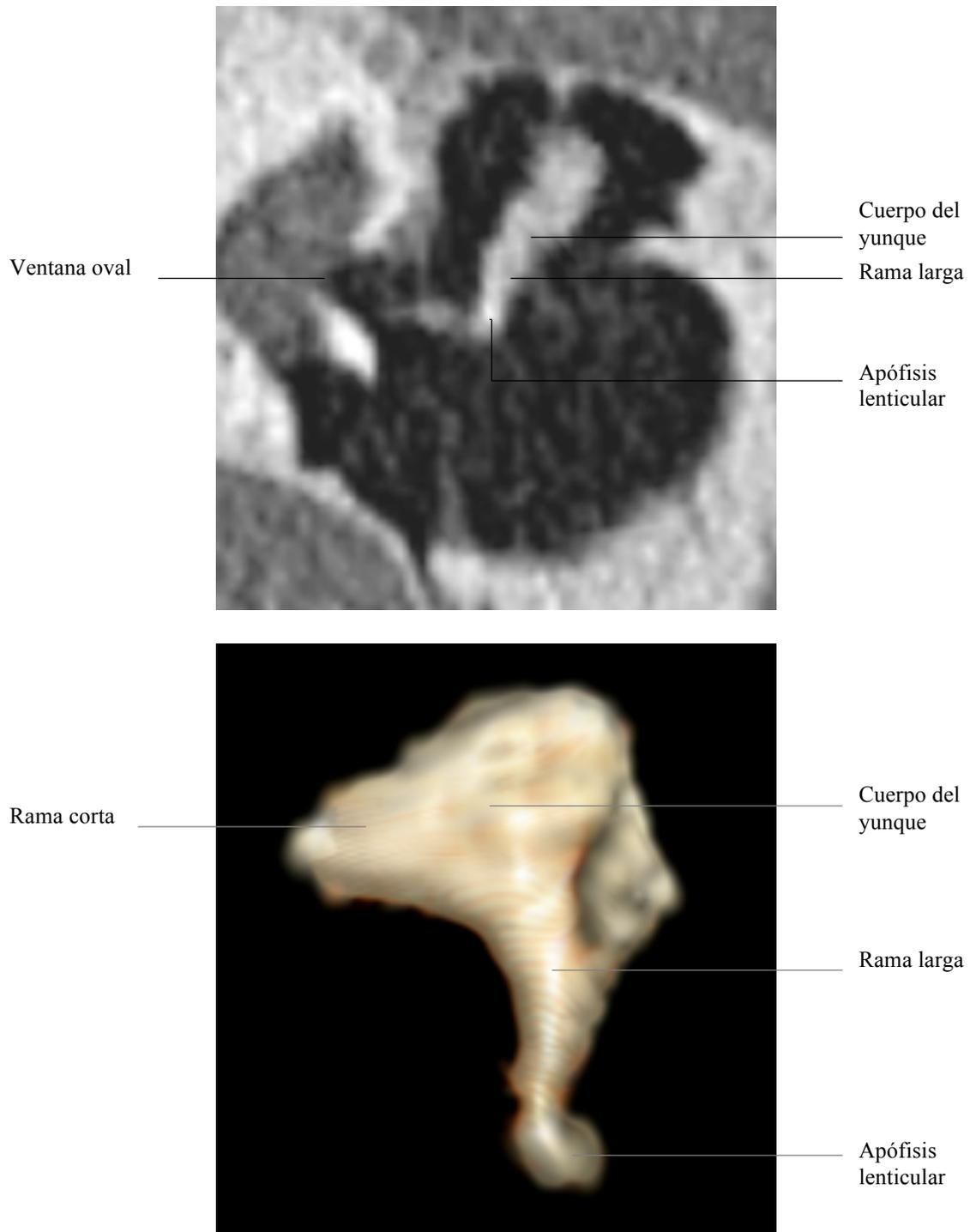
La cadena de huesecillos atraviesa la cavidad timpánica y transfiere la energía y frecuencia de la vibración de la membrana timpánica al vestíbulo. Al tratarse de estructuras óseas la TC con ventana de hueso será la técnica de elección para su estudio.

El martillo es el huesecillo de mayor tamaño, consta de cinco porciones, que se muestran en las ilustraciones. El mango se adosa a la membrana timpánica y la cabeza se articula con el yunque en la articulación incudomaleolar (figs. 75 y 76).



Figs. 75 y 76. Imagen de TCMD, reconstrucción coronal (superior) y reconstrucción en 3D (inferior), con ventana de hueso que ilustra las diferentes partes del martillo.

El yunque consta de: cuerpo, rama corta, rama larga y apófisis lenticular, lugar donde se articula con el estribo (figs. 77 y 78).



Figs. 77 y 78. Imagen de TCMD, reconstrucción coronal (superior) y reconstrucción en 3D (inferior), con ventana de hueso que ilustra las diferentes partes del yunque.

El estribo se coloca medialmente al yunque y se extiende horizontalmente, desde la apófisis lenticular hasta la ventana oval. Consta de cabeza, base y dos ramas, una anterior y otra posterior (fig. 79).

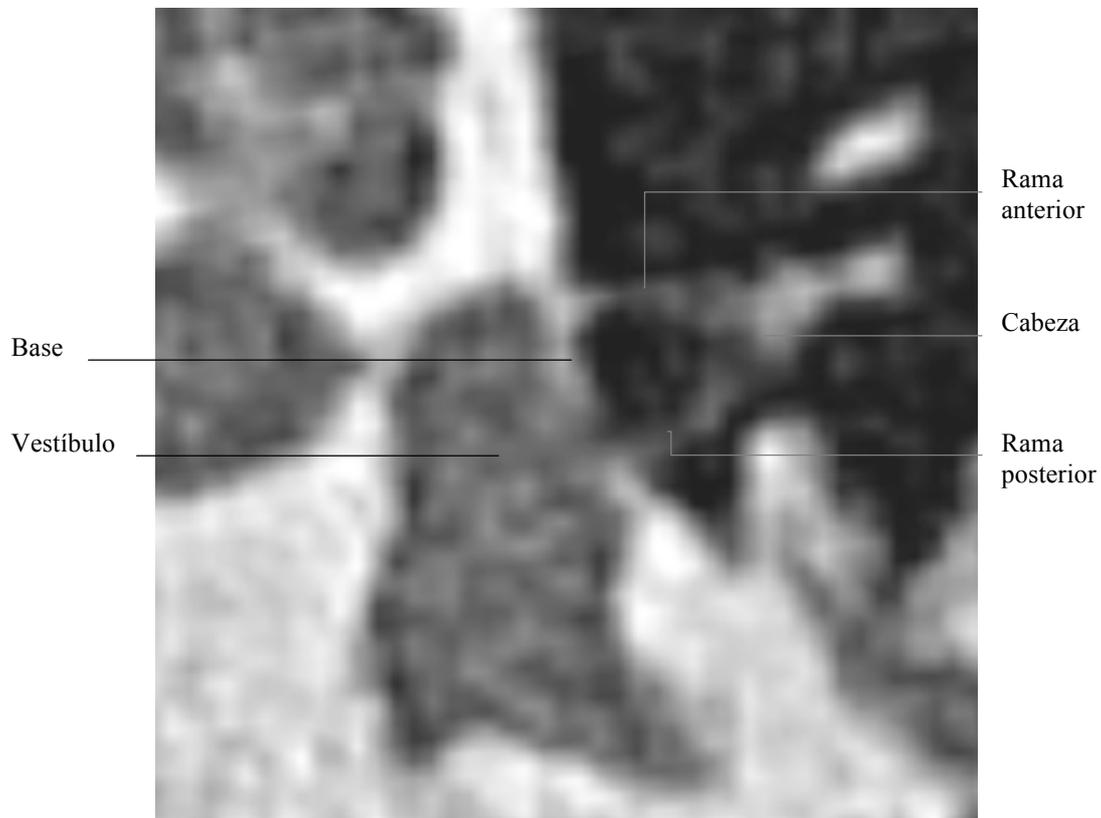
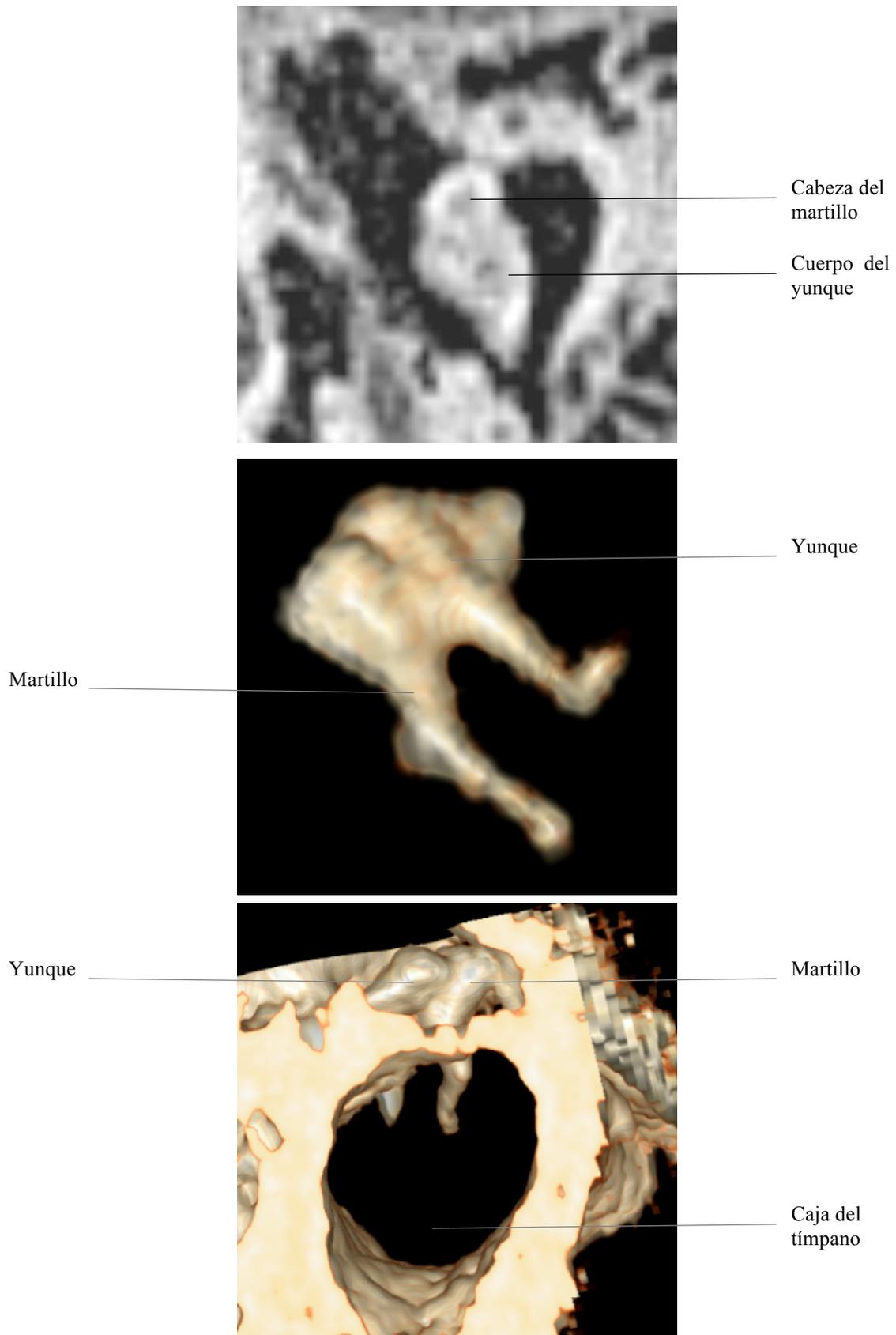


Fig. 79. Imagen de TCMD, incidencia axial, donde se aprecian las diferentes partes del estribo.

La articulación incudomaleolar es una diartrosis en silla de montar, ambas superficies están recubiertas por una delgada capa de cartílago hialino, adaptándose por un menisco (figs. 80 – 82).



Figs. 80, 81 y 82. Imágenes de TCMD, incidencia axial (superior) y reconstrucción en 3D (centro e inferior), con ventana de hueso que ilustra la articulación incudomaleolar y su localización en el epítímpano (inferior).

Ligamentos y músculos.

La cadena de huesecillos se encuentra reforzada por los siguientes ligamentos: superior, lateral y anterior del martillo, y superior y posterior del yunque. Los músculos del oído medio son el tensor del tímpano y el estapedio (fig. 83). Los ligamentos y músculos se visualizan mediante TC como estructuras de densidad de partes blandas.

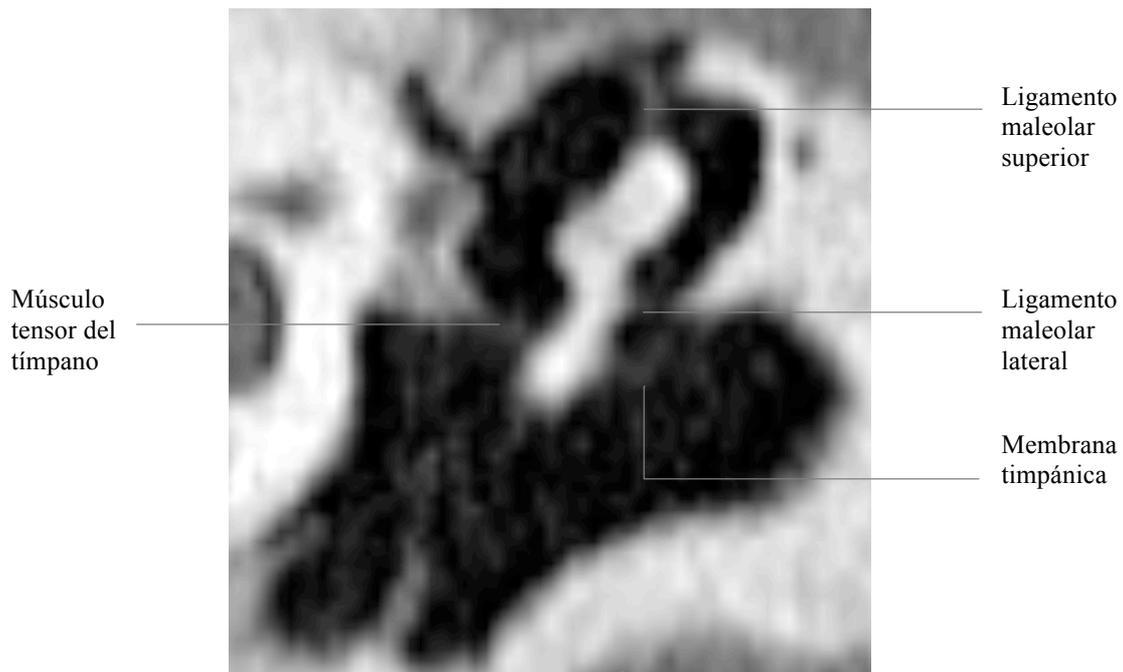
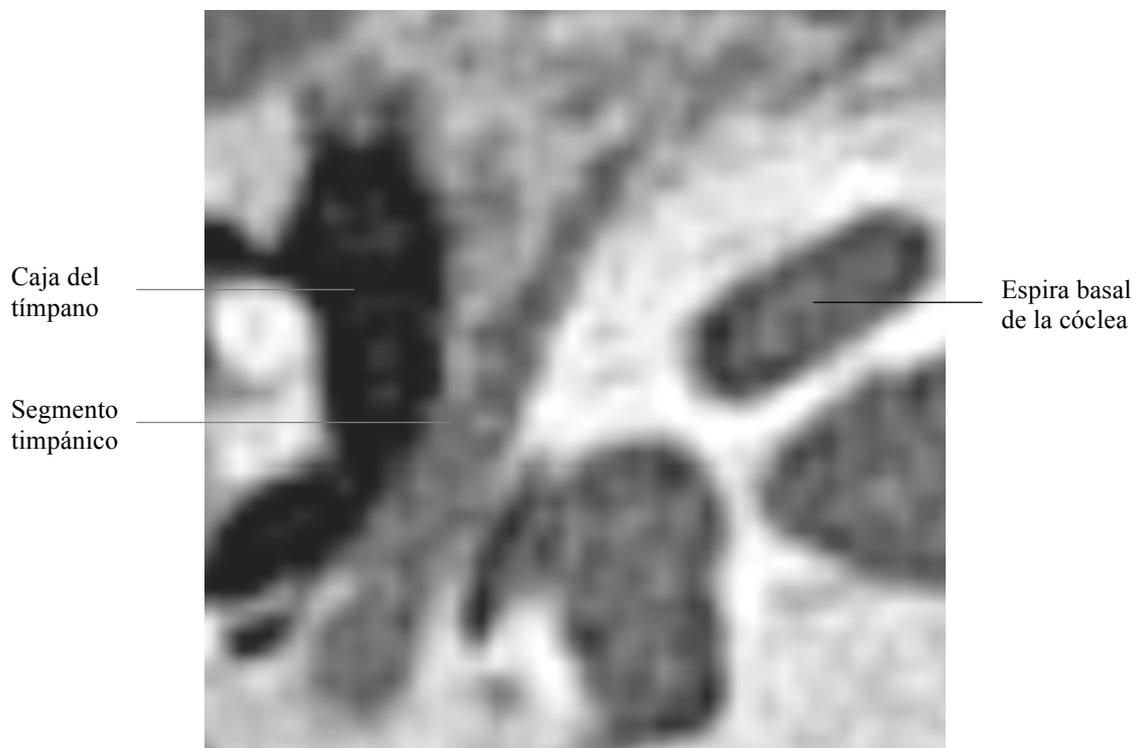
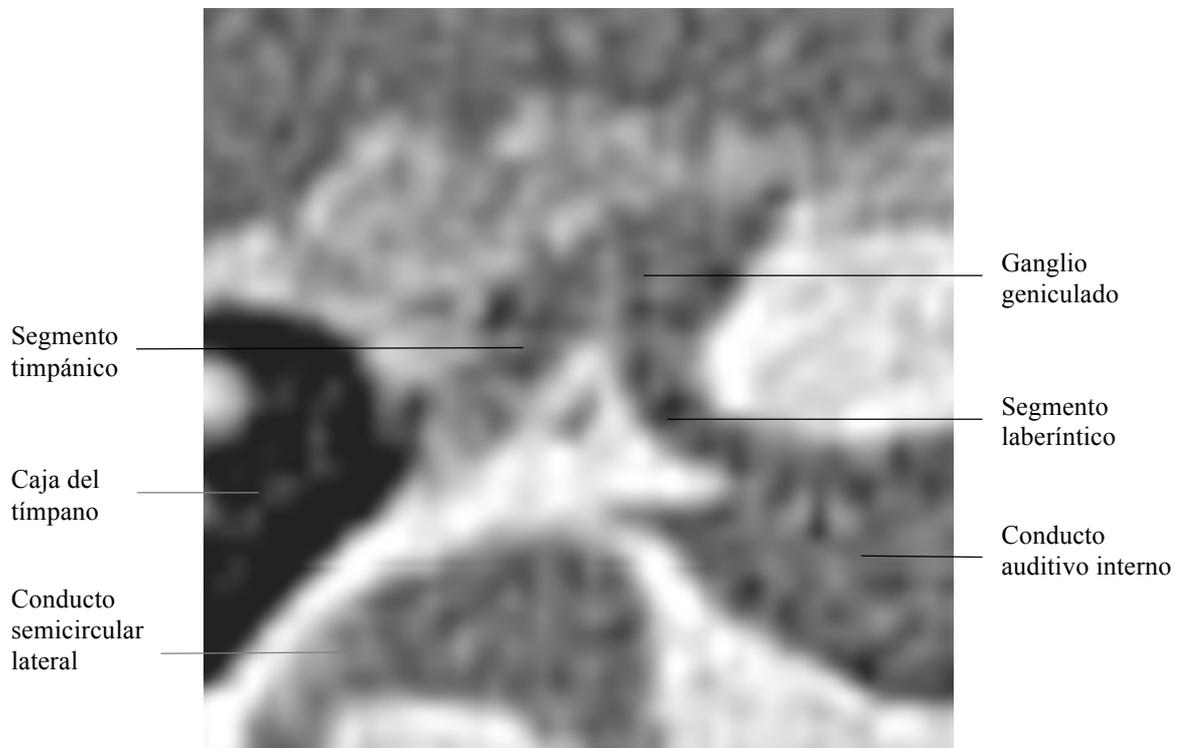


Fig. 83. Imagen de TCMD, reconstrucción coronal, donde se muestran los ligamentos del oído medio visualizados en nuestro estudio.

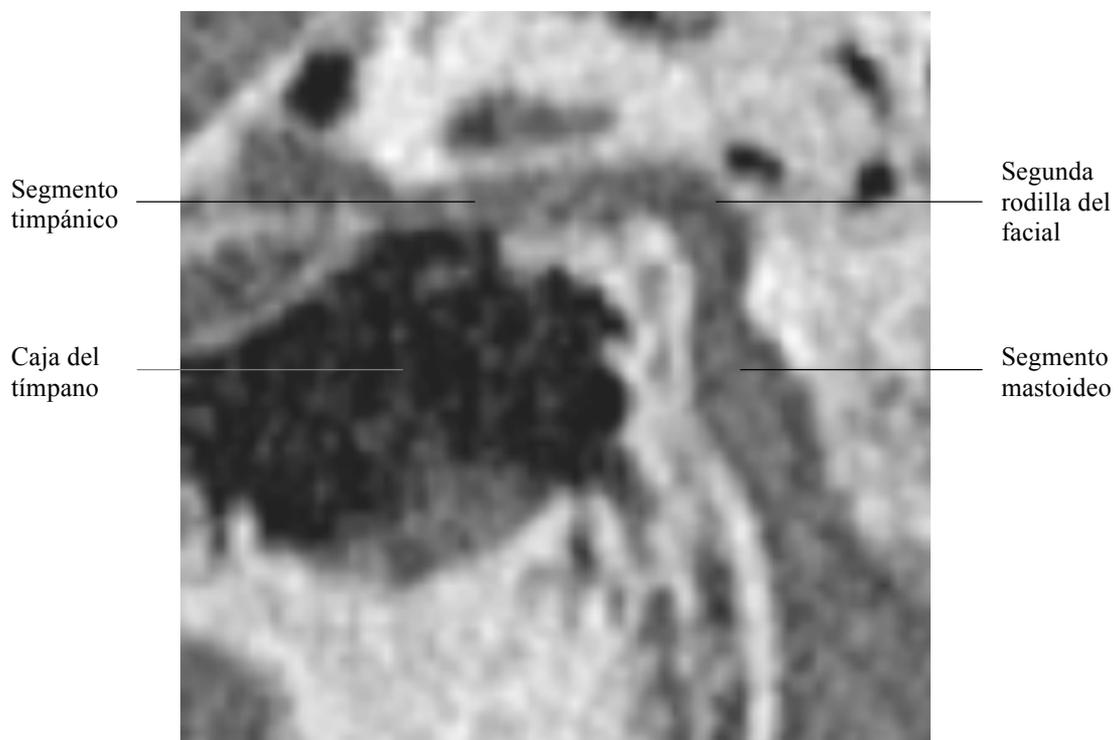
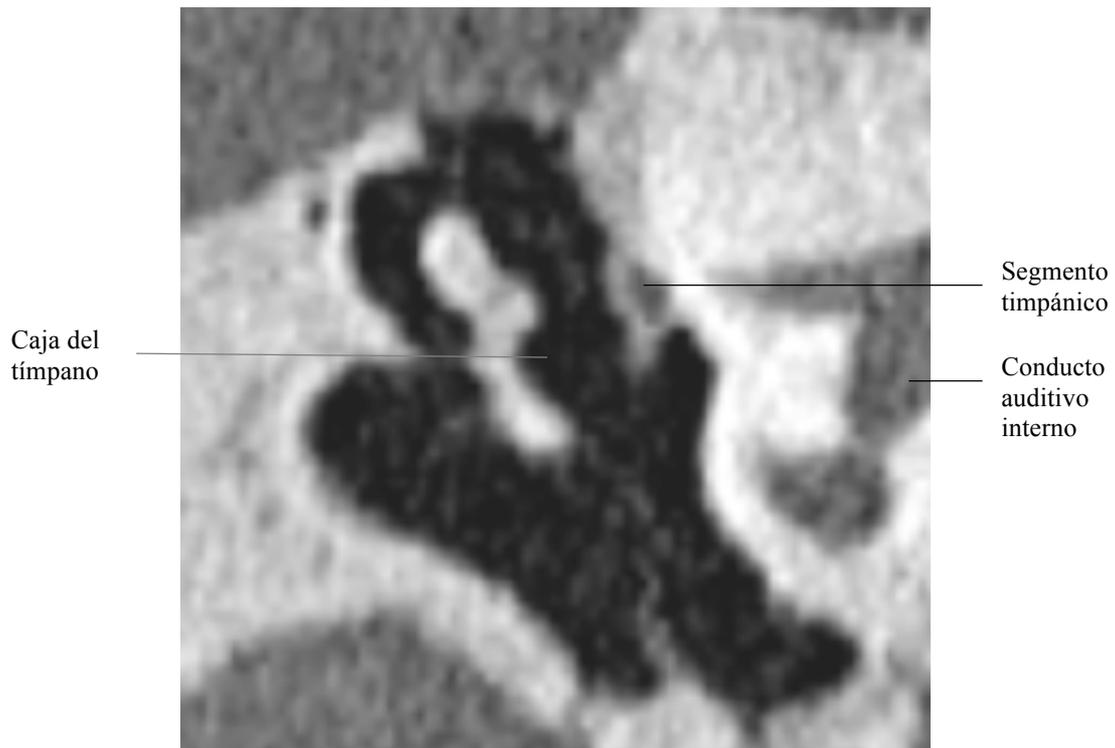
Canal del facial

El canal del facial consta de tres segmentos: 1) laberíntico, que se origina en el conducto auditivo interno y se dirige anteriormente hasta el ganglio geniculado, 2) timpánico, con un recorrido inferior al conducto semicircular lateral y, superior a la ventana oval y 3) mastoideo, con un recorrido vertical hasta su emergencia por el agujero estilomastoideo (figs. 84 – 87). El nervio cuerda del tímpano se origina en el segmento mastoideo y sigue un curso oblicuo a través de su canal, para dirigirse por la caja timpánica y unirse al nervio lingual (fig. 88). En la TC, el canal del facial se visualiza como un conducto óseo, densidad ósea,

mientras que su contenido, el nervio facial, se aprecia como densidad de partes blandas.



Figs. 84 y 85. Imágenes de TCMD, incidencias axiales, donde se ilustran los segmentos laberíntico y timpánico del canal del facial y su relación con las estructuras adyacentes.



Figs. 86 y 87. Imágenes de TCMD, reconstrucción coronal (superior) y reconstrucción sagital (inferior), donde se muestra los segmentos timpánico y mastoideo del nervio facial.

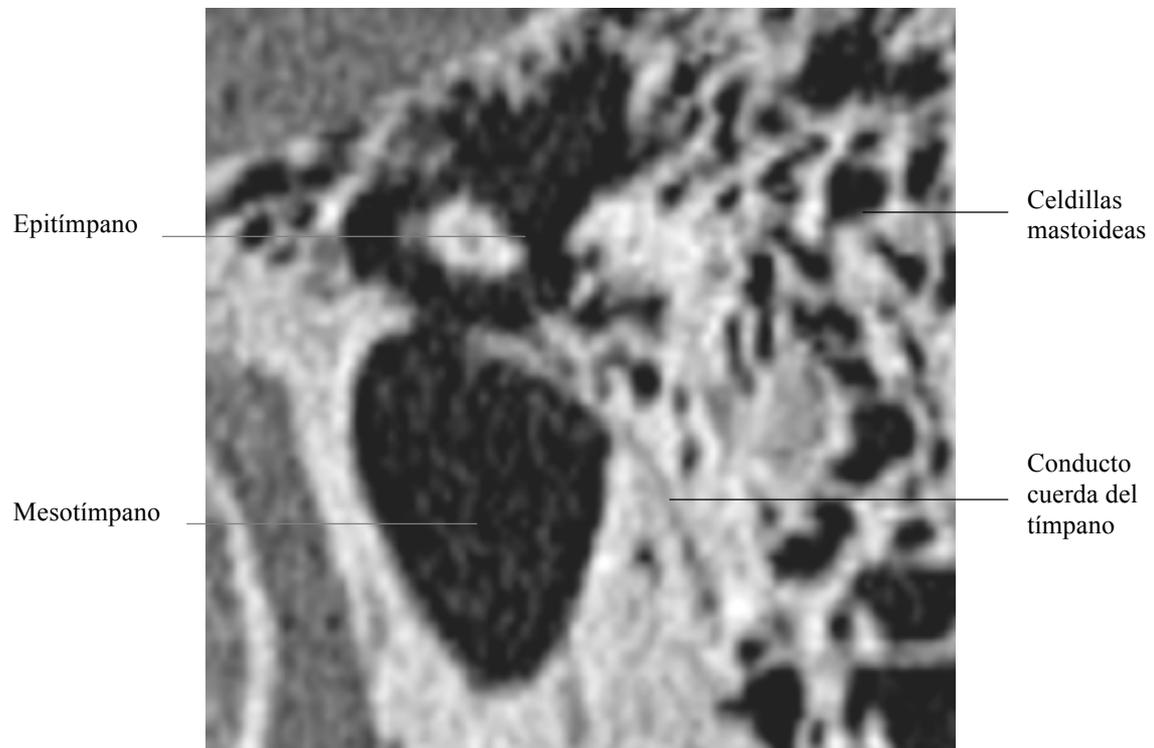
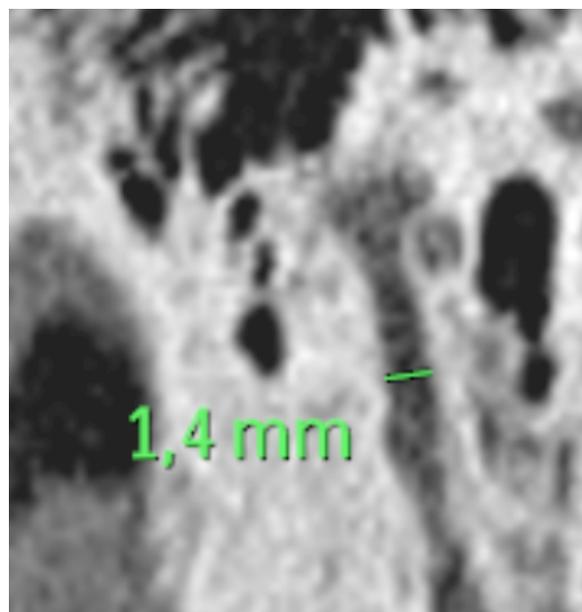
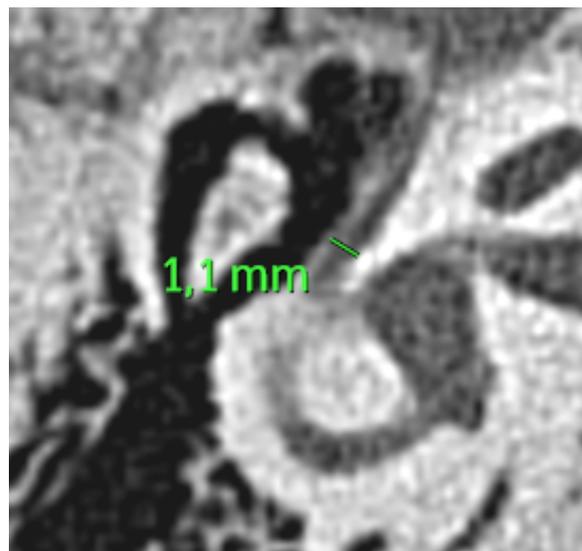
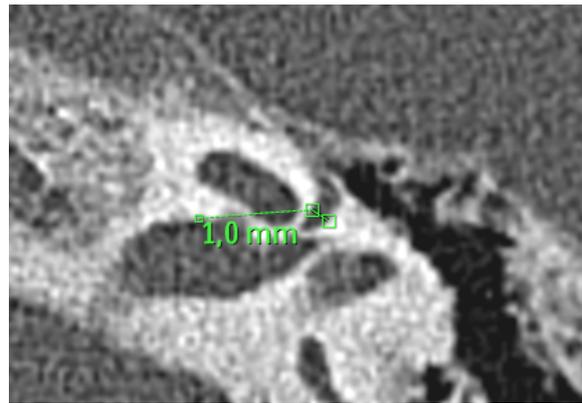


Fig. 88. Imagen de TCMD, reconstrucción sagital, donde se muestra parte del trayecto del nervio cuerda del tímpano.

En el estudio morfométrico del conducto del nervio facial obtuvimos una medida media de: 1) porción laberíntica 1.1 ± 0.1 mm., 2) porción timpánica 1.2 ± 0.1 mm. y 3) porción mastoidea 1.2 ± 0.4 mm., visualizándose en el 100% de los estudios analizados (figs. 89 – 91).



Figs. 89, 90 y 91. Imágenes de TCMD con ventana ósea, incidencias axiales (superior y centro) , donde se observa el estudio morfométrico de la porción laberíntica y timpánica del conducto del facial. En la imagen inferior se aprecia una reconstrucción sagital, donde se observa el estudio morfométrico de la porción mastoidea del conducto del facial.

6.2.3 OÍDO INTERNO

La base del estribo, a través de la ventana oval, produce una vibración de la perilinfa, de manera que el tímpano y la cadena de huesecillos actúan como un mecanismo para transformar las vibraciones del aire en vibraciones del fluido. La vibración de la perilinfa, que se desplaza a través de la escala vestibular, moviliza la membrana tectoria y el órgano de Corti por un desplazamiento de la membrana basilar produciendo un desplazamiento relativo entre ambas estructuras. Esto hace que los cilios de las células sensoriales se flexionen, desencadenando un potencial bioeléctrico que se transmite hacia la base de las células, donde se encuentran las sinapsis con las terminaciones nerviosas. Así el oído convierte la energía mecánica del sonido en energía bioeléctrica.

El oído interno, a diferencia del oído externo y medio, presenta líquido en el interior de sus estructuras, lo que facilita su visualización con resonancia magnética, permitiendo observar el laberinto membranoso así como el conducto auditivo interno. El estudio mediante resonancia magnética se realiza en gran medida con secuencias que aprovechen el contraste del agua sobre estructuras sólidas, secuencias volumétricas potenciadas en T2, en nuestro caso con la secuencia 3D FIESTA, **F**ast **I**maging **E**mloying **S**Teady-state **A**cquisition (Imagen rápida mediante adquisición de estado uniforme). Para el laberinto óseo emplearemos la TCMD, para visualizar las estructuras óseas, como hemos hecho hasta ahora.

El oído interno, se encuentra dentro de la pirámide petrosa, y está conformado por el laberinto anterior o cóclea, encargado de la audición, y por el laberinto posterior o sistema vestibular, encargado del equilibrio corporal.

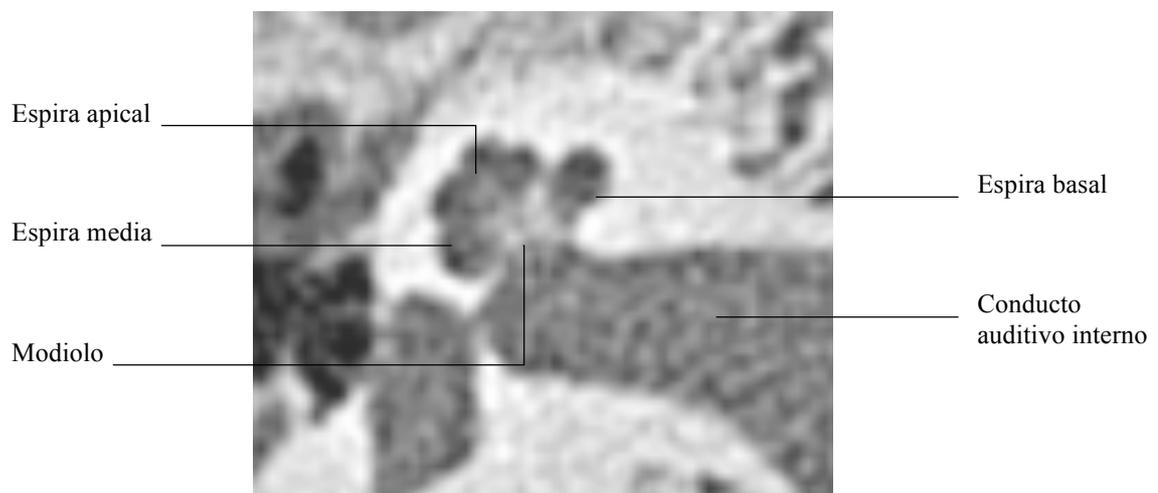
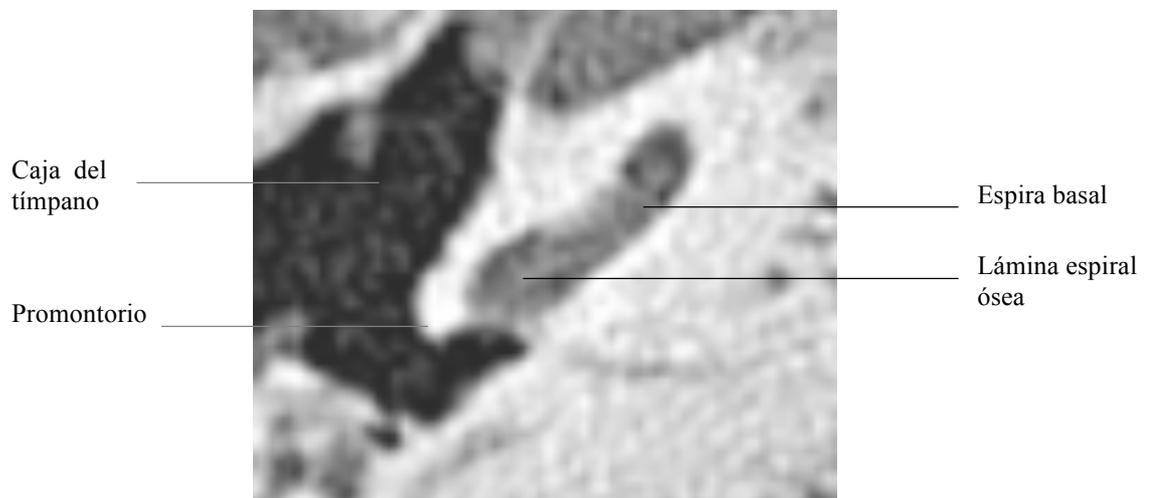
Cóclea

La cóclea es un conducto óseo enrollado alrededor de un eje llamado modíolo, que da 2.75 vueltas sobre sí mismo, para acabar con una cúpula. El conducto espiral de la cóclea está parcialmente dividido por una lámina ósea llamada lámina espiral.

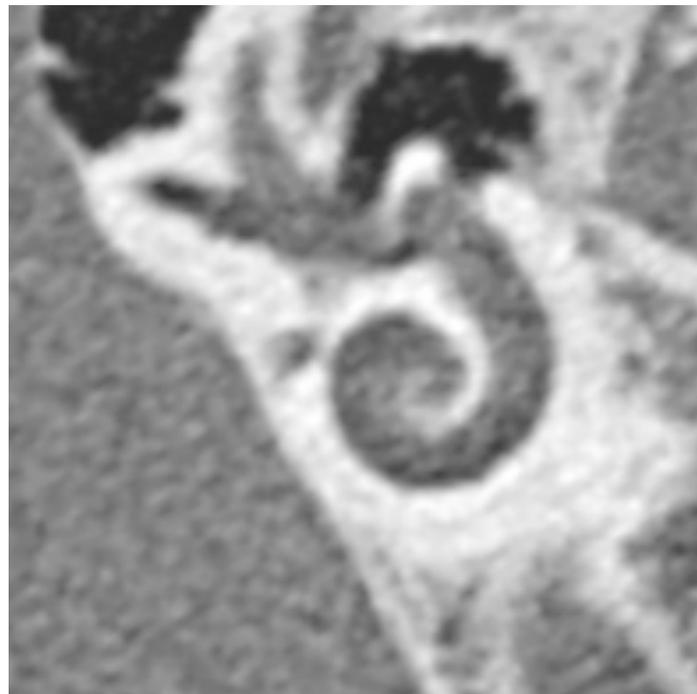
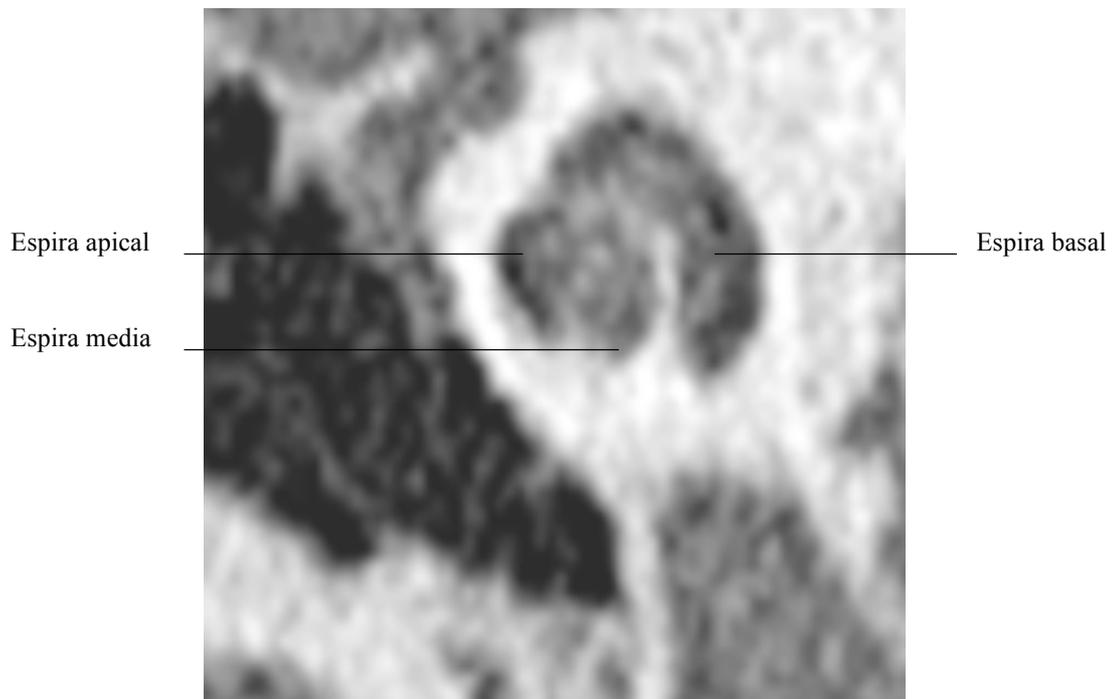
La lámina espiral divide el conducto en rampa vestibular, rampa timpánica y rampa media (conducto coclear); el interior de las dos primeras está lleno de perilinfa y la tercera está llena de endolinfa. La perilinfa tiene la misma composición que el líquido cefalorraquídeo, dado que existe una comunicación entre la rampa timpánica y el espacio subaracnoideo a través del acueducto coclear.

El conducto coclear corresponde al caracol membranoso, tiene forma de tubo prismático triangular enrollado como el conducto óseo.

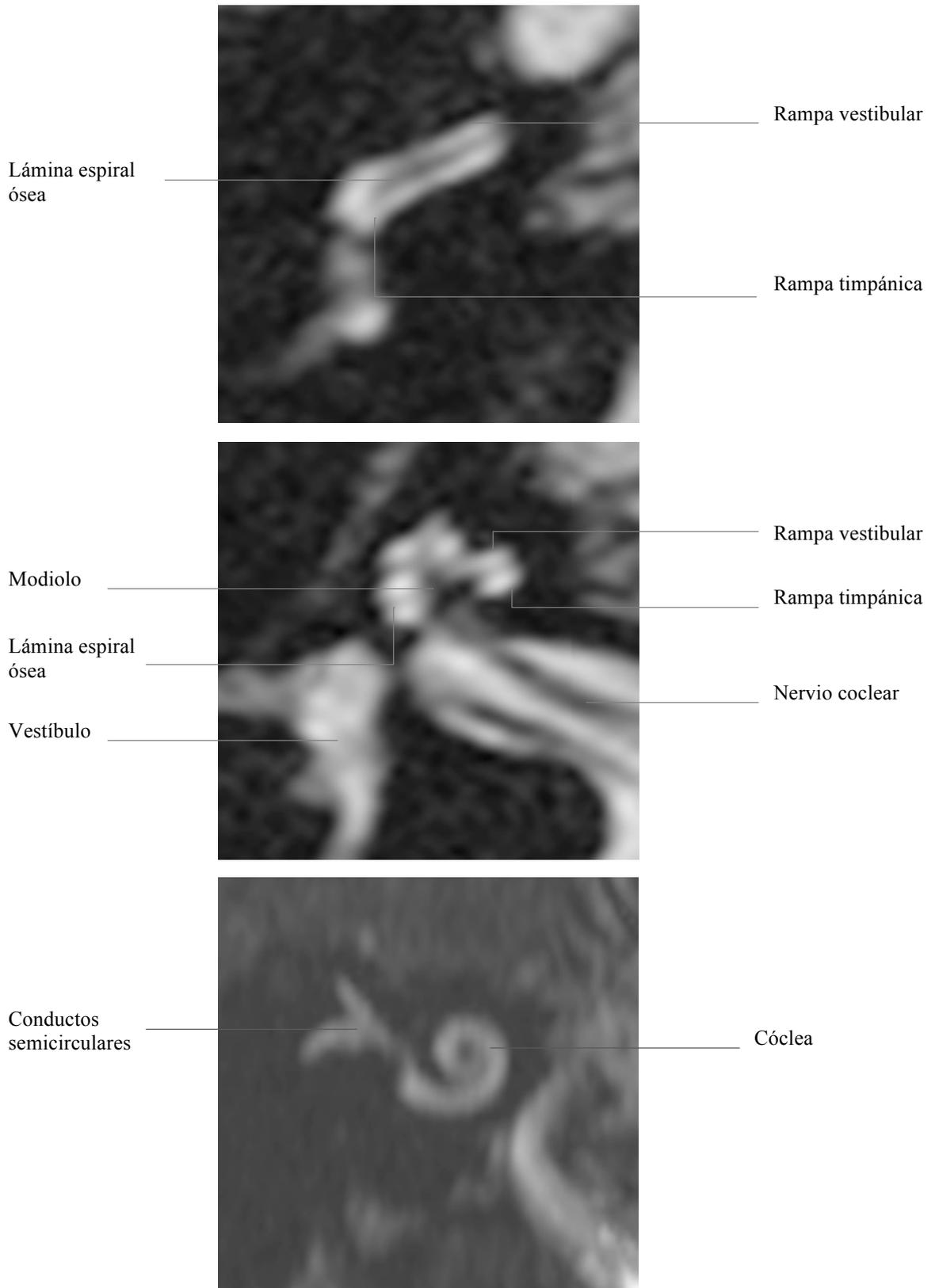
En el vértice de la cóclea se unen la rampa vestibular y timpánica, en la zona llamada helicotrema. La rampa vestibular se relaciona con la ventana oval y la rampa timpánica con la ventana redonda y pared medial del tímpano (figs. 92-100).



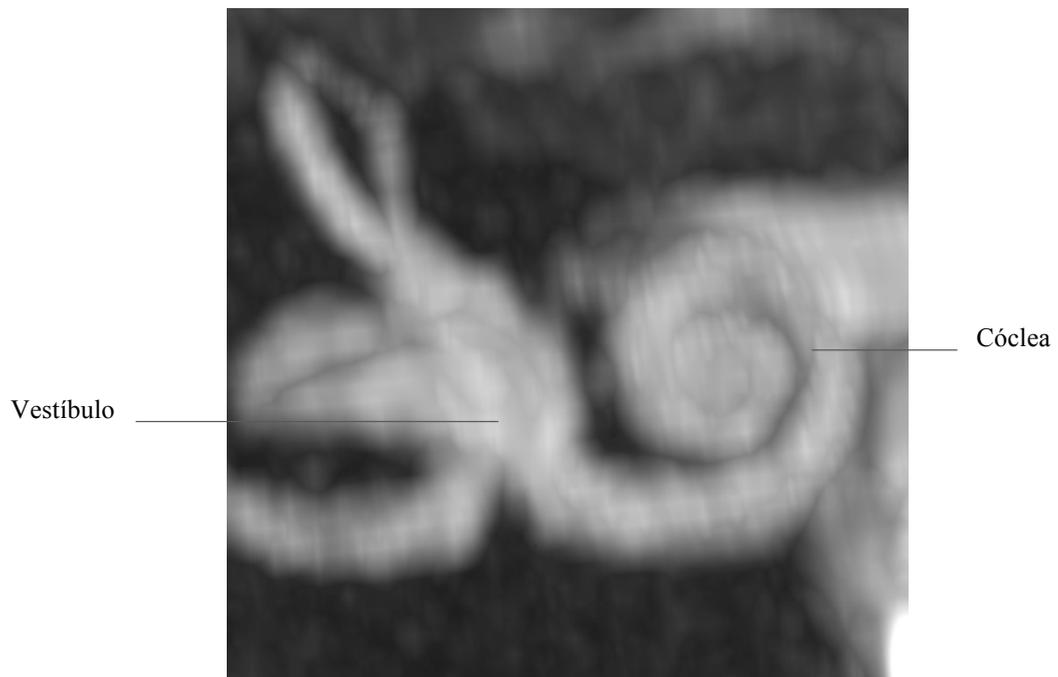
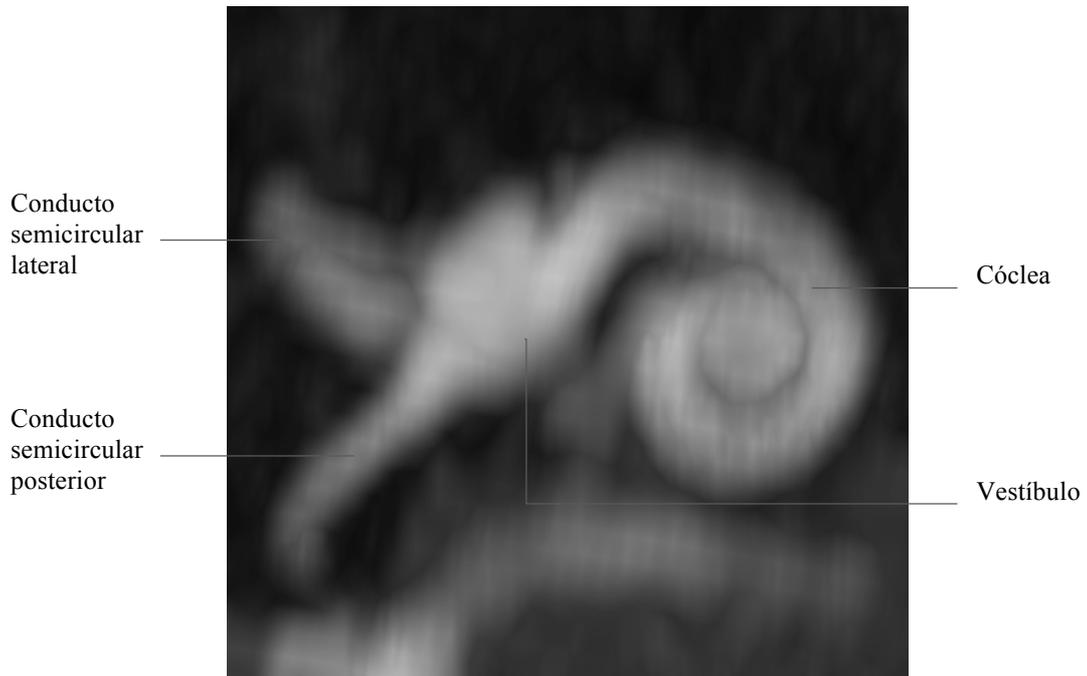
Figs. 92 y 93. Imágenes de TCMD, incidencias axiales, con ventana de hueso que ilustran la cóclea ósea en el estudio rutinario de TCMD.



Figs. 94 y 95. Imágenes de TCMD con ventana ósea, reconstrucciones oblicuas, donde apreciamos la configuración de la cóclea ósea en diferentes planos; en la imagen inferior observamos la típica morfología de la cóclea.



Figs. 96, 97 y 98. Imágenes de RM (secuencia FIESTA), incidencias axiales (imágenes superior y central), y reconstrucción MIP oblicua (imagen inferior) donde apreciamos la típica configuración de la cóclea membranosa.



Figs. 99 y 100. Imágenes de RM, secuencia FIESTA, reconstrucciones en 3D MIP de la cóclea y del vestíbulo.

En el estudio morfométrico de la cóclea hemos medido la distancia coclear y el intervalo carótido coclear, debido a sus implicaciones clínicas.

La distancia coclear es una medida rápida y práctica que se puede aplicar de rutina en el estudio del implante coclear, ya que permite una estimación de la longitud coclear para la colocación del electrodo de un implante coclear. La medida se realizó a partir de la técnica de dobles oblicuos, midiendo desde la ventana oval hasta la pared opuesta de la espira basal, a través del modiolo. La medida obtenida fue de 9.5 ± 0.6 mm. (fig. 101).

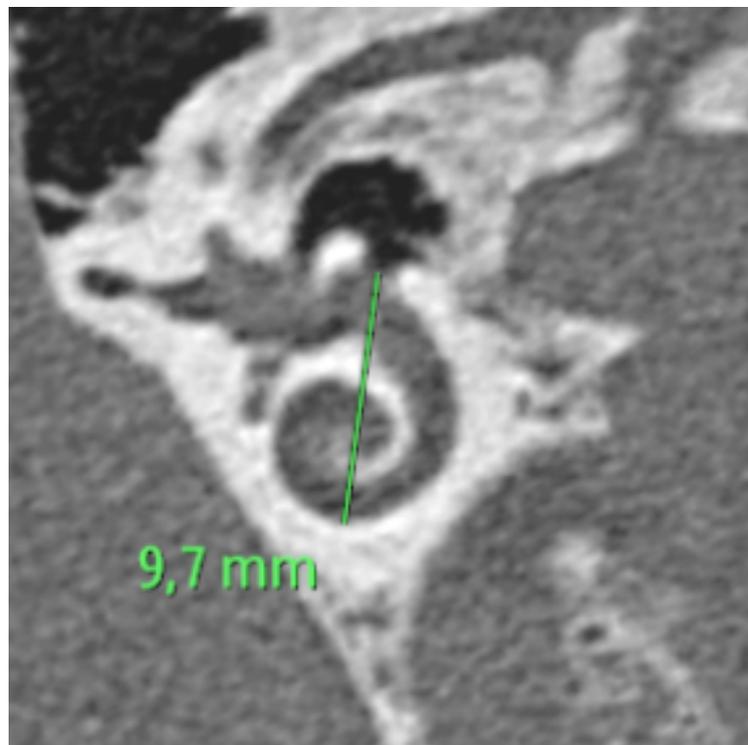


Fig. 101. Imagen de TCMD, reconstrucciones dobles oblicuas, donde apreciamos la medida obtenida para la distancia coclear.

El intervalo carótido coclear varía ampliamente entre los pacientes y puede estar relacionado con la sordera neurosensorial de tonos medios en el estudio audiométrico, por lo que es una zona a evaluar en los estudios de TCMD, donde se aprecia mejor que en la RM. Por otro lado, el conocimiento de esta medida es

recomendable para evitar la entrada al canal carotideo durante la cirugía del implante coclear.

En nuestro estudio se apreció integridad del intervalo carótido coclear en todos los pacientes, obteniendo una medida de 1.3 ± 0.5 mm. (fig. 102); las medidas fueron realizadas tanto en el lado izquierdo como el derecho sin encontrar diferencias significativas.

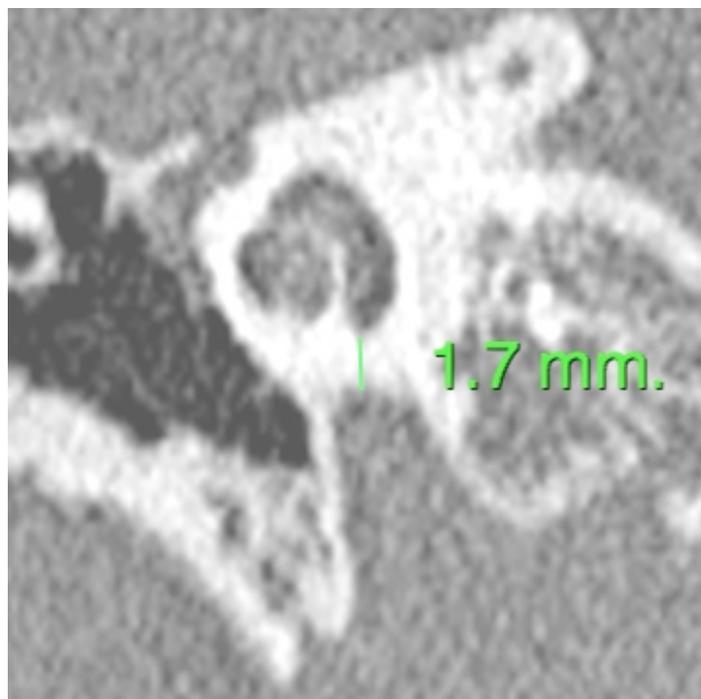
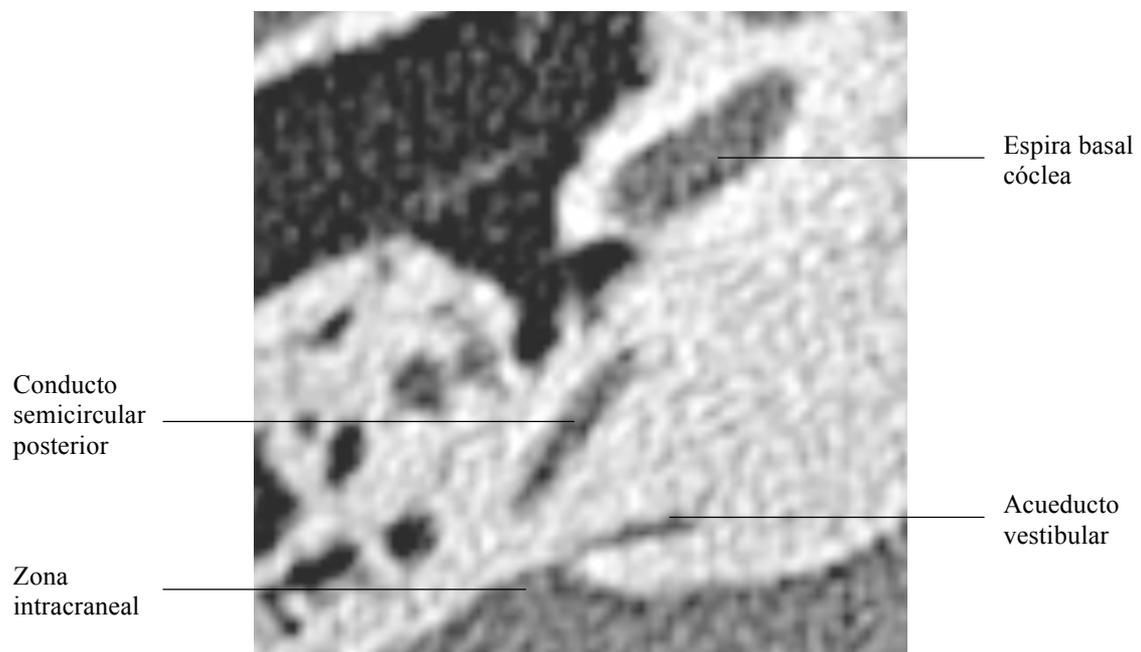
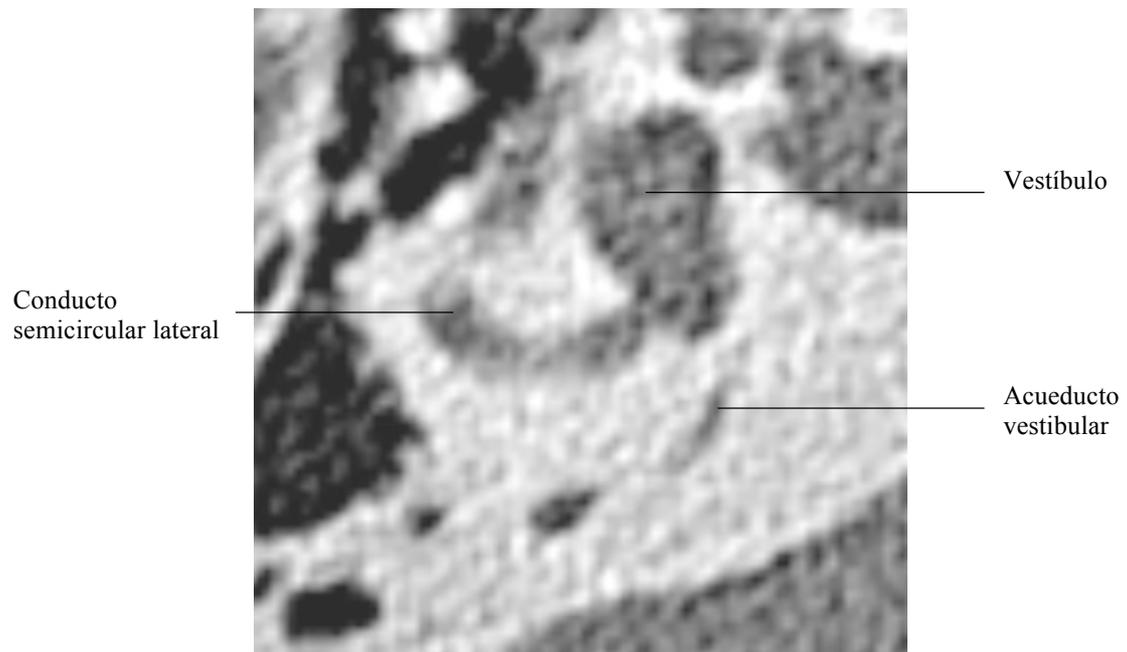


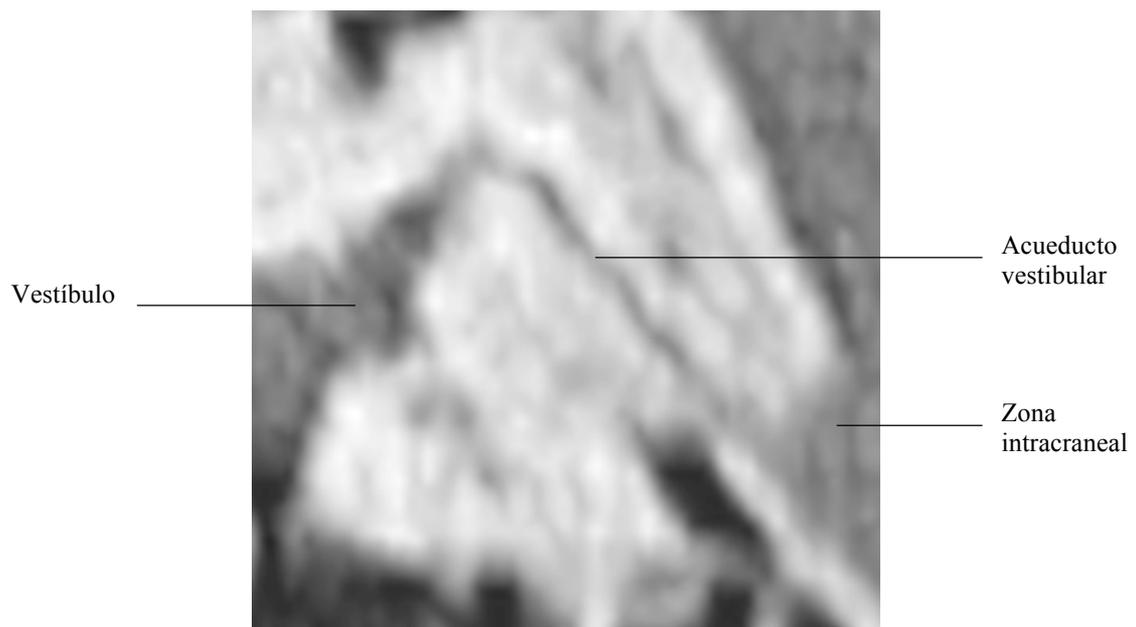
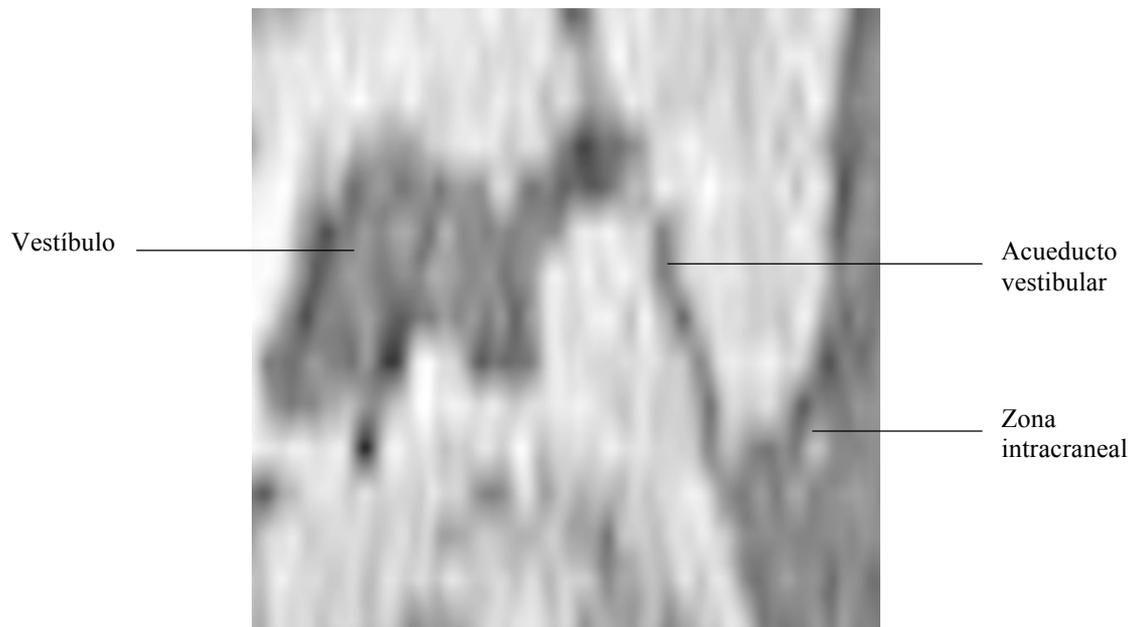
Fig. 102. Imagen de TCMD, reconstrucción coronal, donde apreciamos la medida obtenida para el intervalo carótido coclear.

Acueducto vestibular

El acueducto vestibular corresponde a un túnel óseo, que contiene el conducto endolinfático y una porción del saco endolinfático. Comienza en la pared medial del vestíbulo y acaba en la pared posterosuperior de la porción petrosa del temporal (figs. 103-106). Tiene forma triangular, descrita como árbol de navidad.



Figs. 103 y 104. Imágenes de TCMD con ventana ósea, incidencias axiales, donde se observa, parcialmente, el recorrido del acueducto vestibular, apreciando su apertura intracraneal (imagen inferior).



Figs. 105 y 106. Imágenes de TCMD con ventana ósea, reconstrucción doble oblicua, donde apreciamos el recorrido del acueducto vestibular, con morfología en “J” (imagen inferior), desde el vestíbulo hasta la pared posterosuperior de la porción petrosa del hueso temporal, donde se hace intracraneal.

El acueducto vestibular está relacionado con la pérdida de audición neurosensorial, siendo la dilatación del acueducto vestibular la alteración más visualizada en niños con esta patología. Prácticamente lo visualizamos en todos nuestros pacientes mediante TCMD (84%); la medición fue realizada a nivel de su tercio medio, obteniendo un diámetro de 0.45 ± 0.02 mm. (fig. 107)

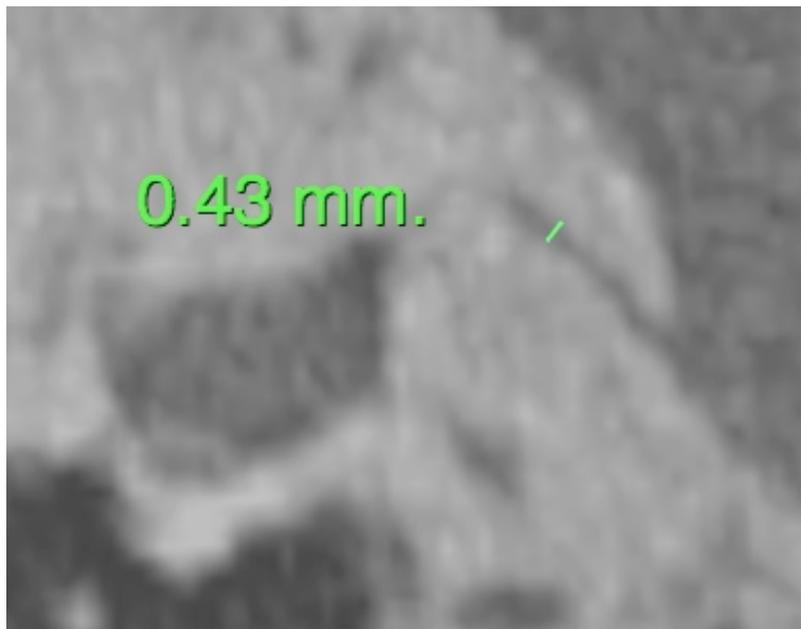
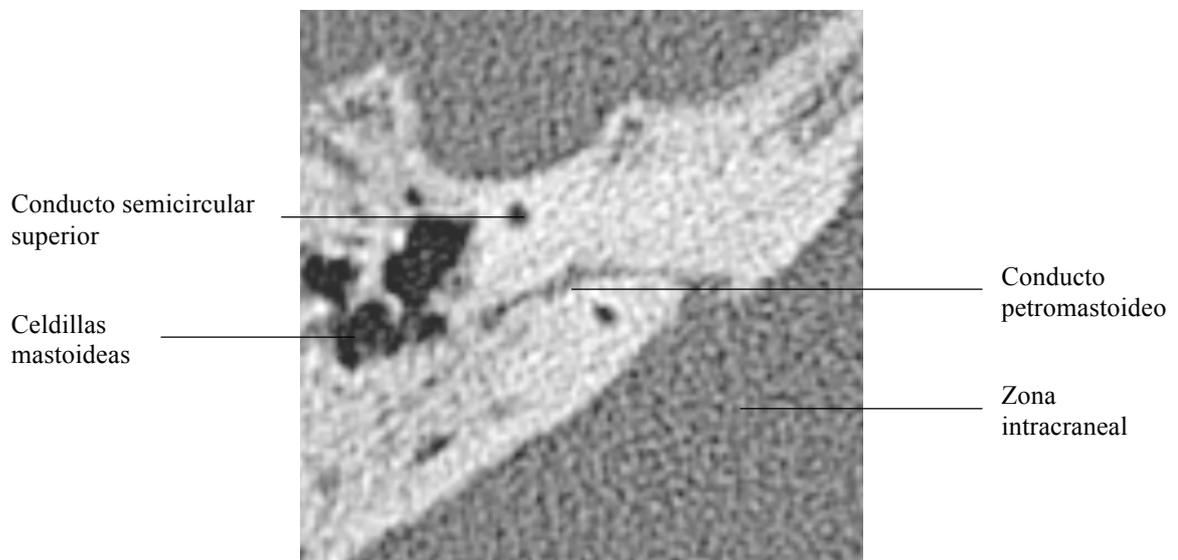
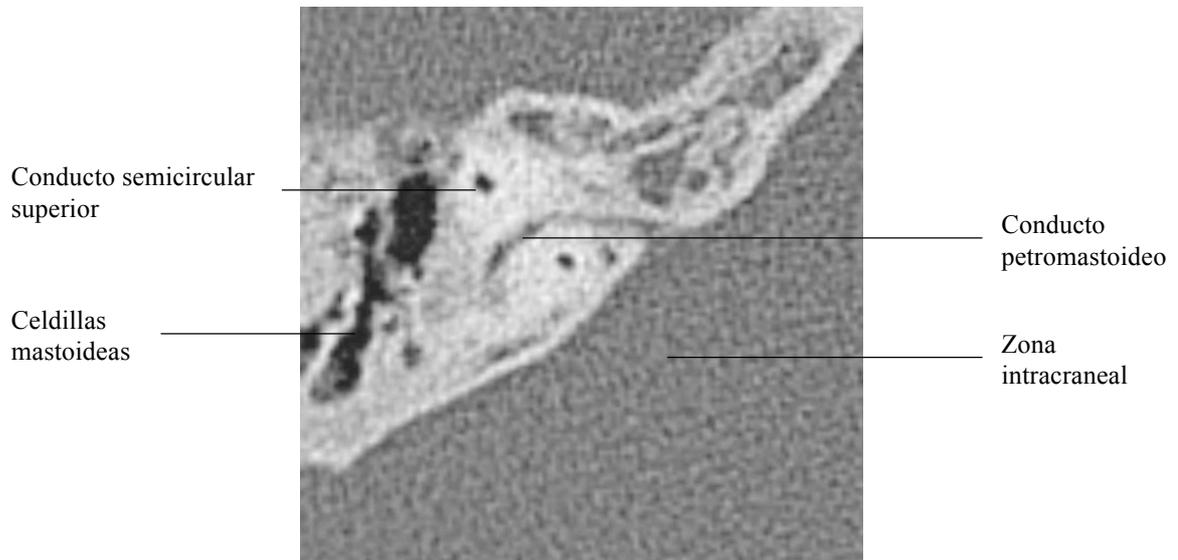


Fig. 107. Imagen de TCMD, reconstrucciones dobles oblicuas, donde visualizamos parcialmente el acueducto vestibular, con su medición a nivel del tercio medio.

Conducto petromastoideo

El conducto petromastoideo es un conducto estrecho y translaberíntico que se inicia en una depresión situada superoposteriormente al conducto auditivo interno y se dirige lateralmente, entrando en la pirámide petrosa, pasando primero por el arco formado por el canal semicircular superior y, después, superiormente al conducto semicircular óseo lateral, para desembocar en el antro por medio de una celda mastoidea (figs. 108 y 109).

El conducto petromastoideo contiene una prolongación de la duramadre, lo que puede permitir la diseminación de procesos infecciosos, así como la arteria y vena arcuatas.



Figs. 108 y 109. Imágenes de TCMD con ventana ósea, incidencias axiales, donde apreciamos el trayecto del conducto petromastoideo en dos pacientes distintos.

Vestíbulo

El vestíbulo óseo es la cavidad laberíntica de mayor tamaño y lo visualizamos de manera óptima en los estudios de TC, tiene forma ovoidea y se ubica por delante de los conductos semicirculares y detrás del caracol. Posee 6 paredes: la pared lateral, donde encontramos la ventana oval; la pared superior y posterior donde se abre a los conductos semicirculares; la pared medial que presenta dos depresiones, el receso elíptico y el receso esférico, que contienen el utrículo y el sáculo, respectivamente, ambas fositas separadas por la cresta vestibular, estas fositas se encuentran perforadas para dar paso a los filetes de origen del nervio vestibulococlear; y finalmente, encontramos la pared anterior y la pared inferior (figs. 110 – 114).

El vestíbulo membranoso (figs. 115 - 117), mejor visualizado con RM debido a su contenido líquido, esta constituido por el utrículo y el sáculo que se adhieren a las fositas descritas previamente en el vestíbulo óseo. Otros componentes son el conducto endolinfático, contenido en el acueducto vestibular, y el saco endolinfático.

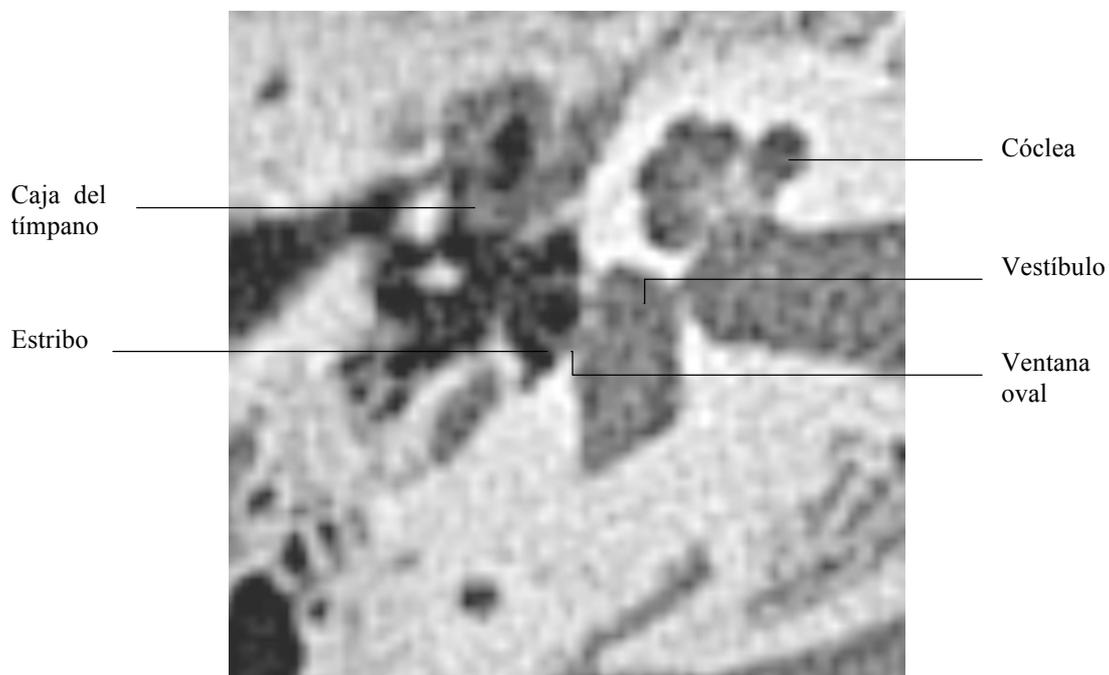
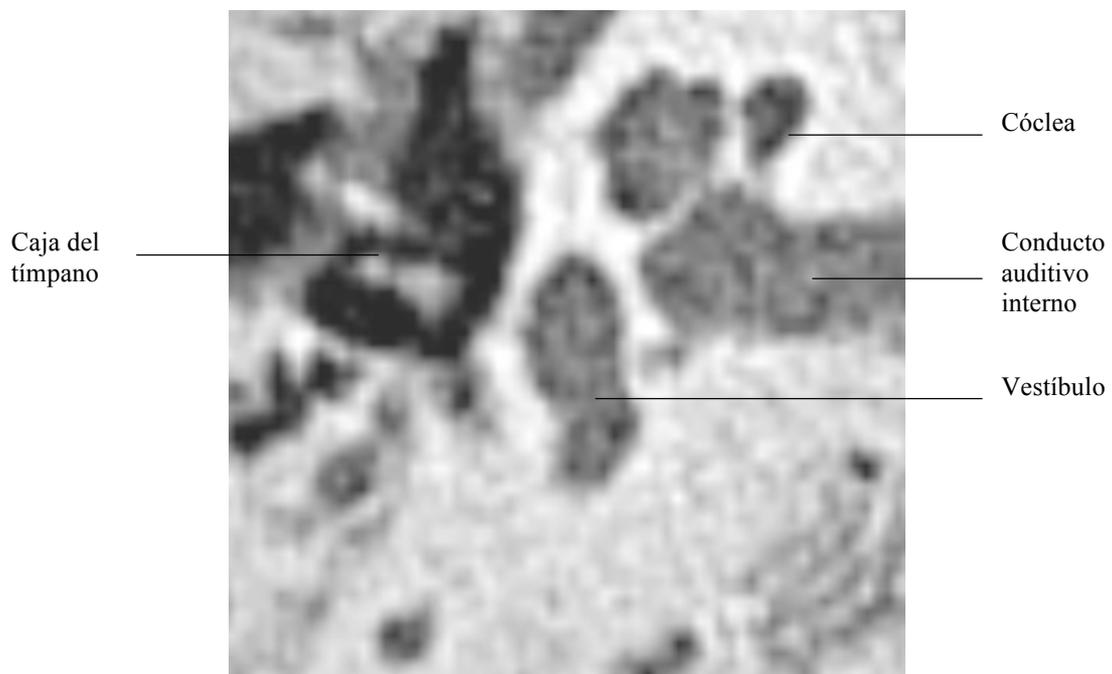
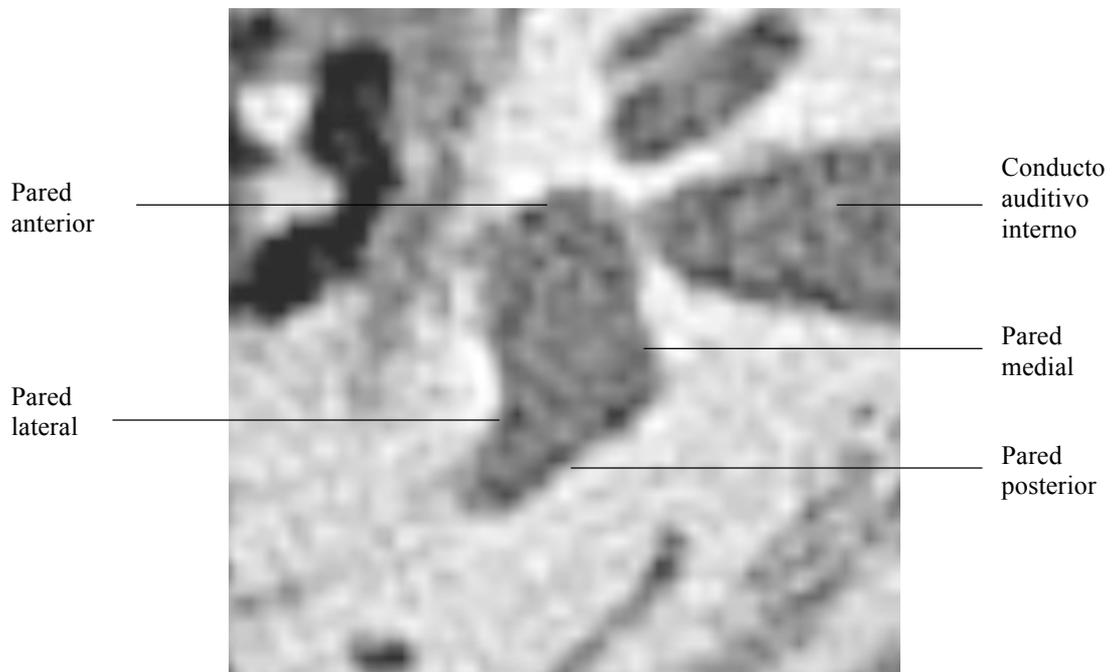
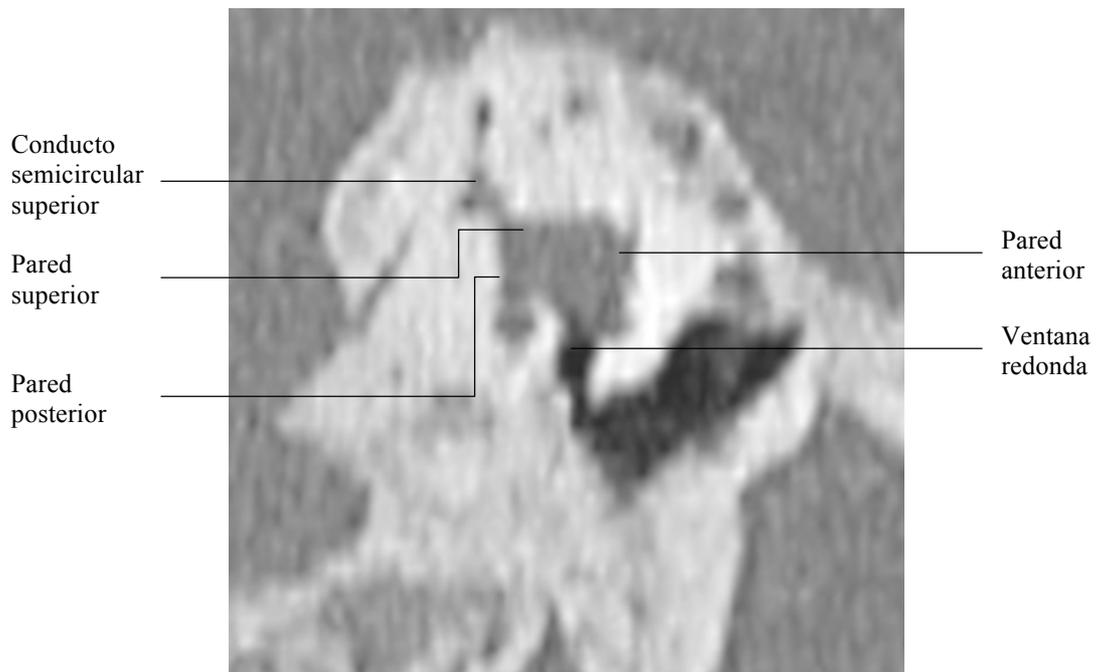
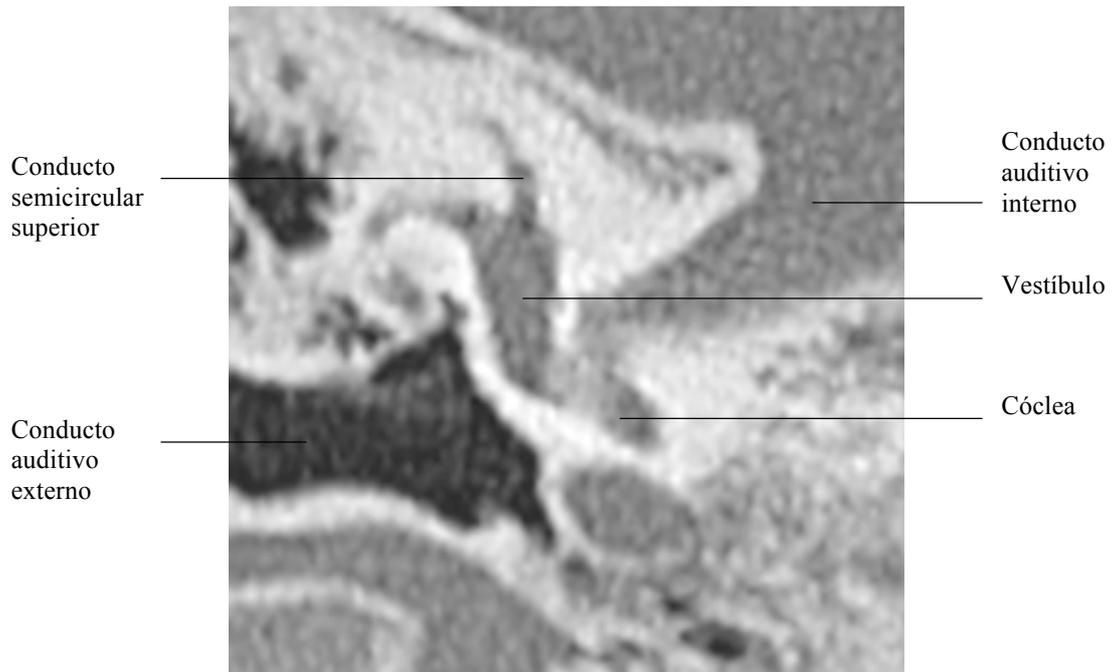


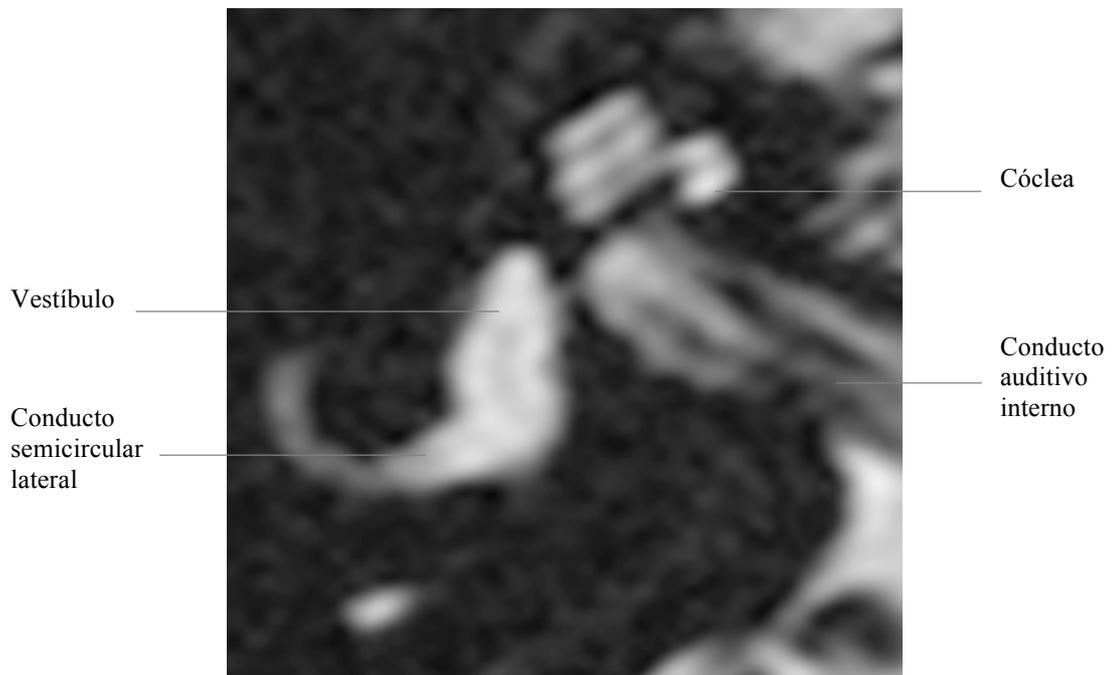
Fig. 110. Imágenes de TCMD con ventana ósea, donde apreciamos el vestíbulo óseo y su relación con las estructuras adyacentes.



Figs. 111 y 112. Imágenes de TCMD con ventana ósea, incidencias axiales, donde apreciamos el vestíbulo óseo en un estudio de peñascos habitual, mostrando sus paredes principales (imagen superior).



Figs. 113 y 114. Imágenes de TCMD con ventana ósea, reconstrucción doble oblicua (imagen superior) y reconstrucción sagital (imagen inferior), donde apreciamos las diferentes paredes del vestíbulo y su relación con las estructuras adyacentes, véase el detalle de la ventana redonda (imagen inferior).



Figs. 115 y 116. Imágenes de RM, con secuencia FIESTA, incidencia axial (imagen superior) y oblicua (imagen inferior), donde se visualiza el vestíbulo membranoso y su relación con las estructuras adyacentes.

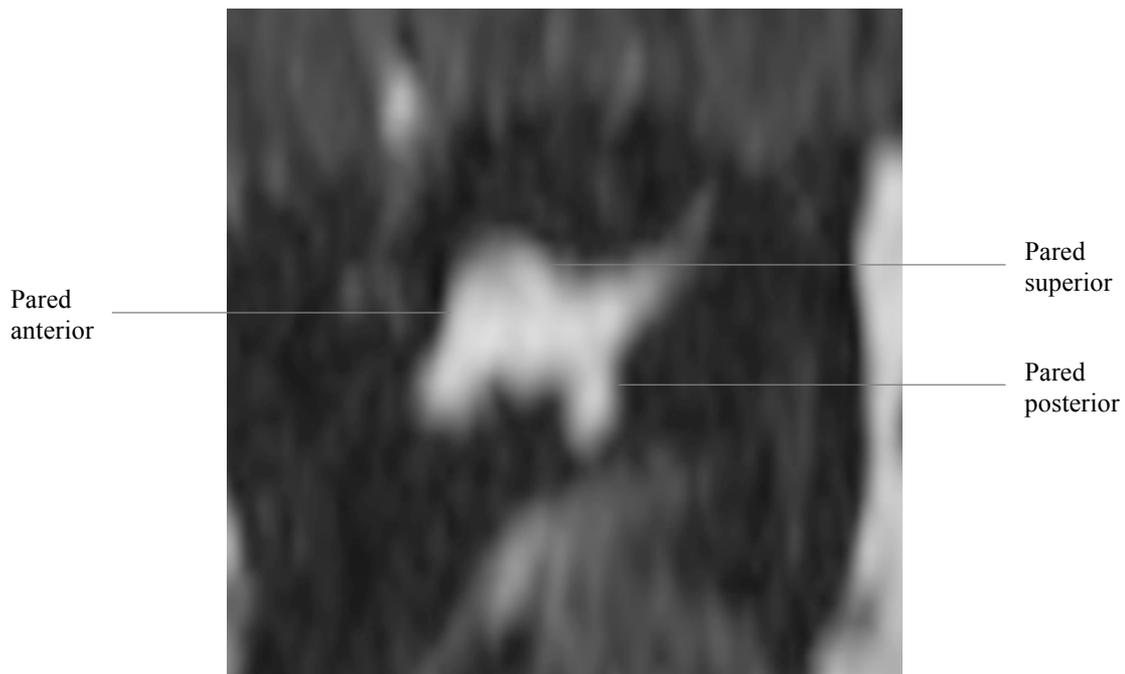


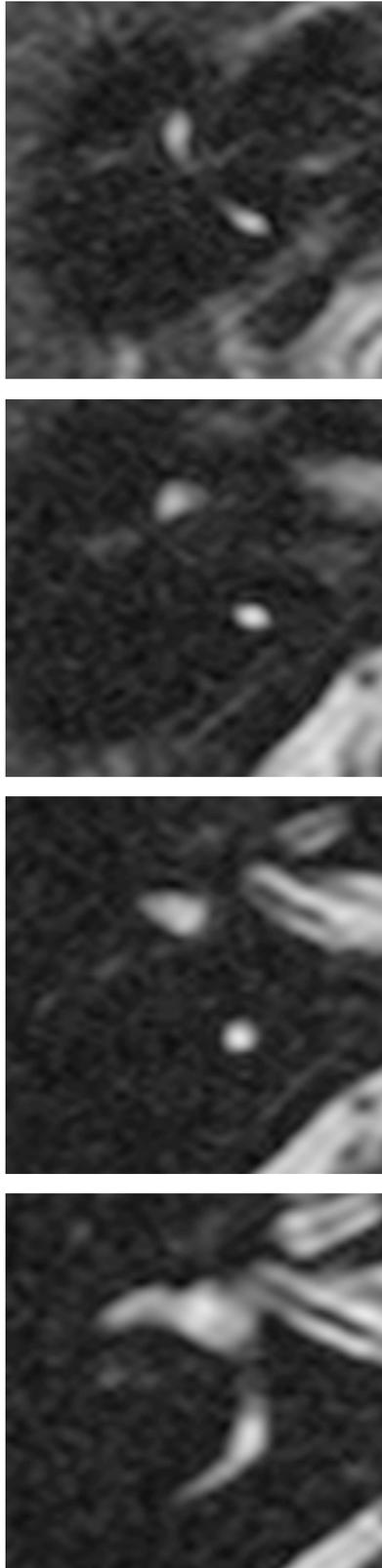
Fig. 117. Imagen de RM, con secuencia FIESTA, reconstrucción sagital, donde se visualiza el vestíbulo membranoso y sus paredes principales.

Conductos semicirculares

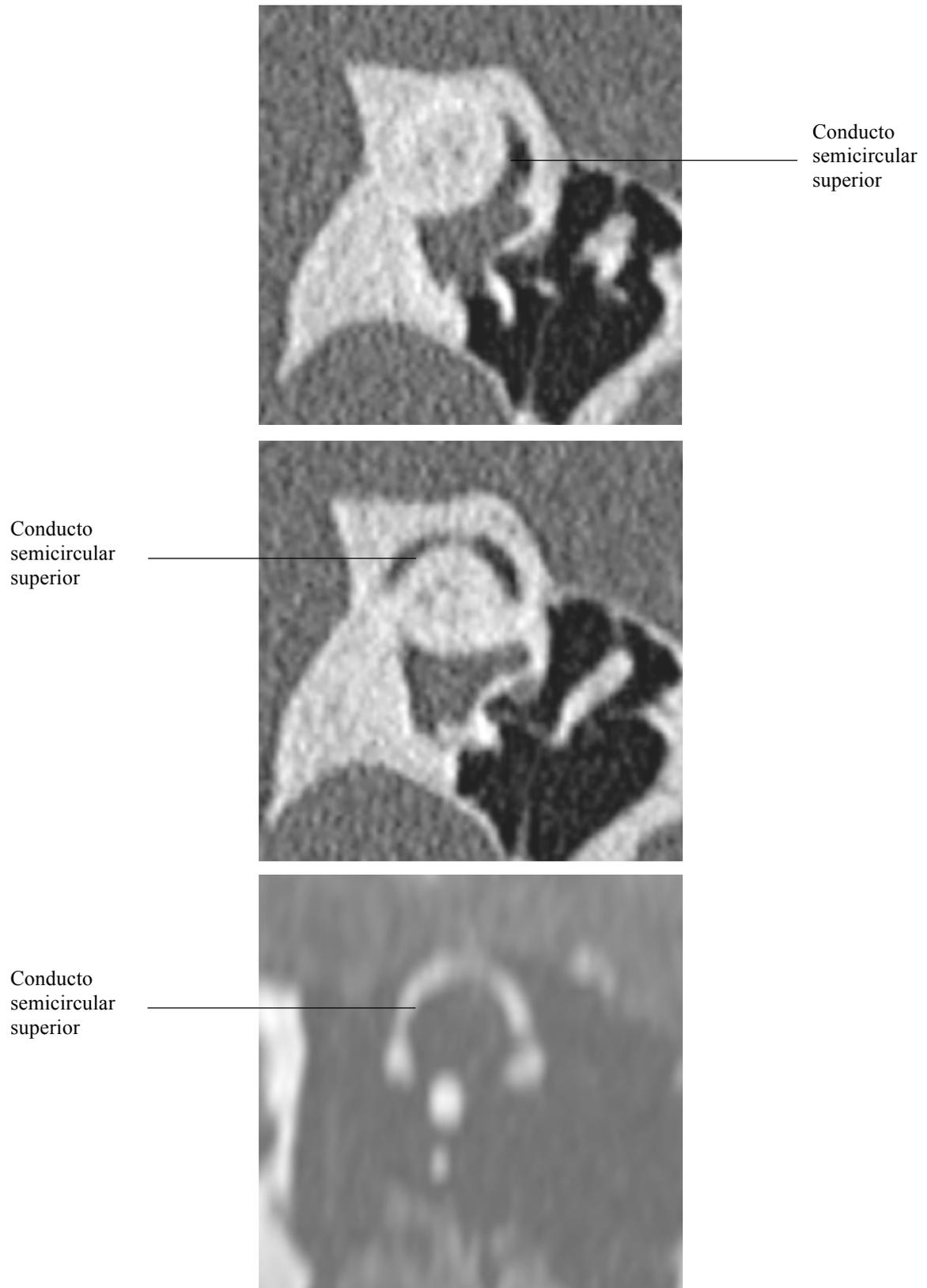
Los conductos semicirculares óseos, visualizados mediante ventana ósea en la TC, son tubos cilíndricos en forma de herradura que se abren en el vestíbulo por sus dos extremos. De sus dos orificios uno está dilatado y se denomina orificio ampular y, el otro conserva el calibre del conducto y se denomina orificio no ampular.

En la pared posterior del utrículo se encuentran las cinco aberturas para los 3 conductos: superior, lateral y posterior. Los canales superior y posterior se unen en un punto común que se abre al vestíbulo por un solo orificio.

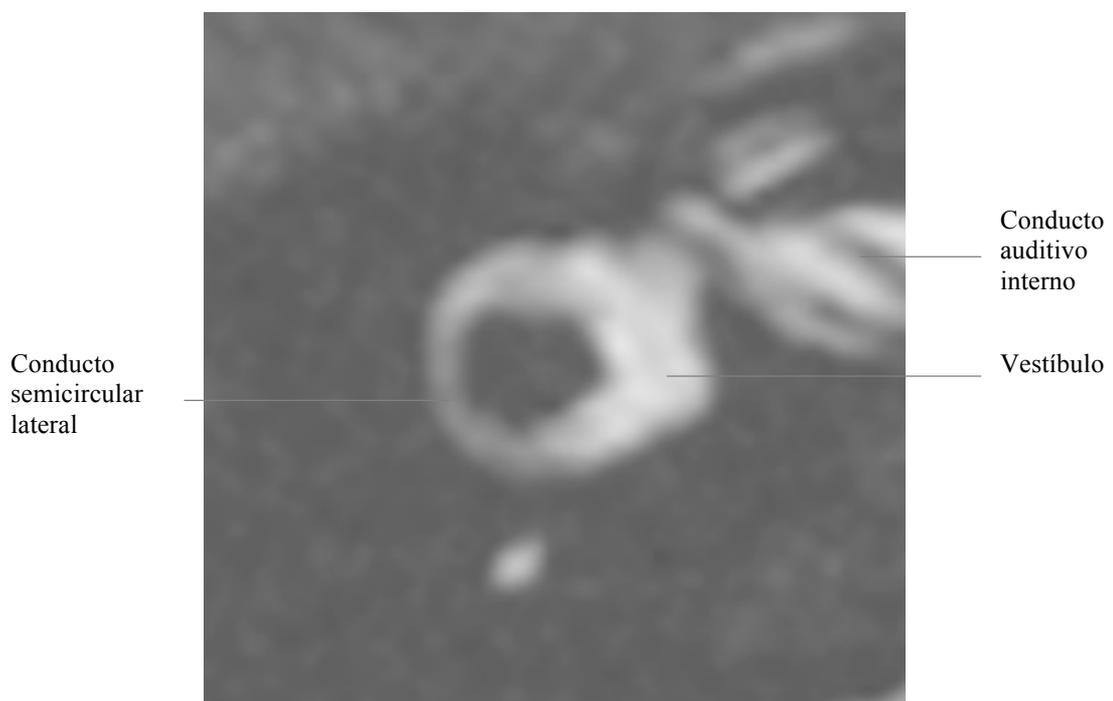
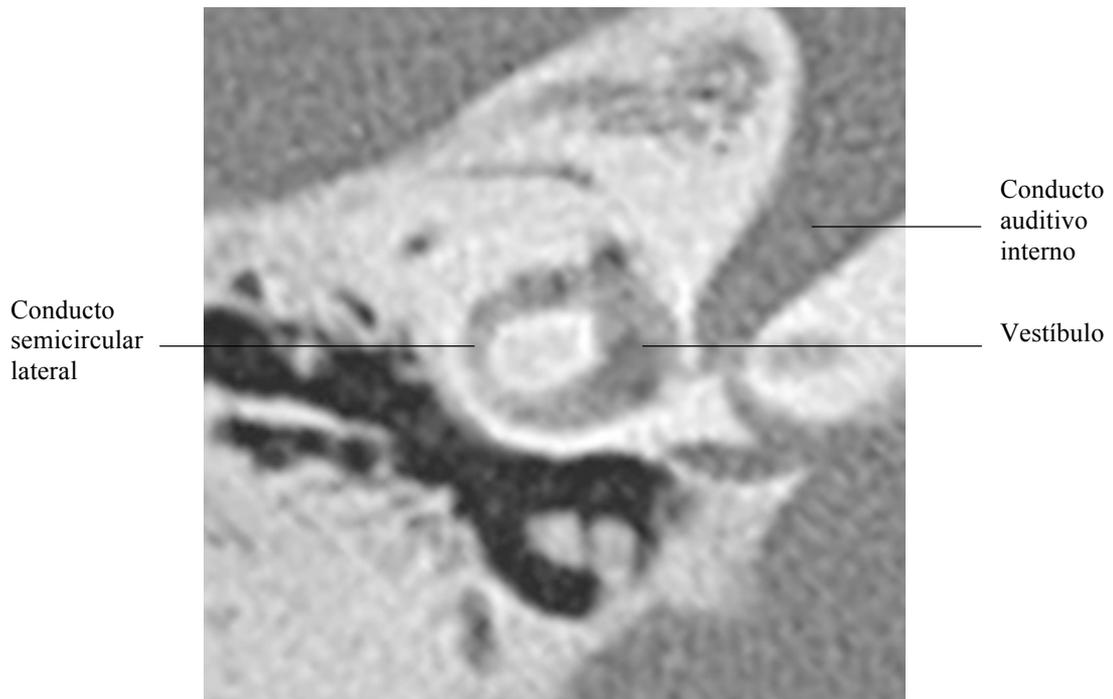
Los conductos semicirculares membranosos tienen la misma configuración que los óseos, dentro de los cuales están contenidos. La endolinfa fluye a través de los conductos respondiendo a los movimientos angulares de la cabeza, estimulando las células ciliadas, de manera que cada canal responde a diferentes ejes de rotación lo que explica la disposición ortogonal entre ellos. La RM es la técnica de elección para su visualización ya que la endolinfa, contenida en su interior, se muestra hiperintensa en la secuencia 3D FIESTA (figs. 118-130).



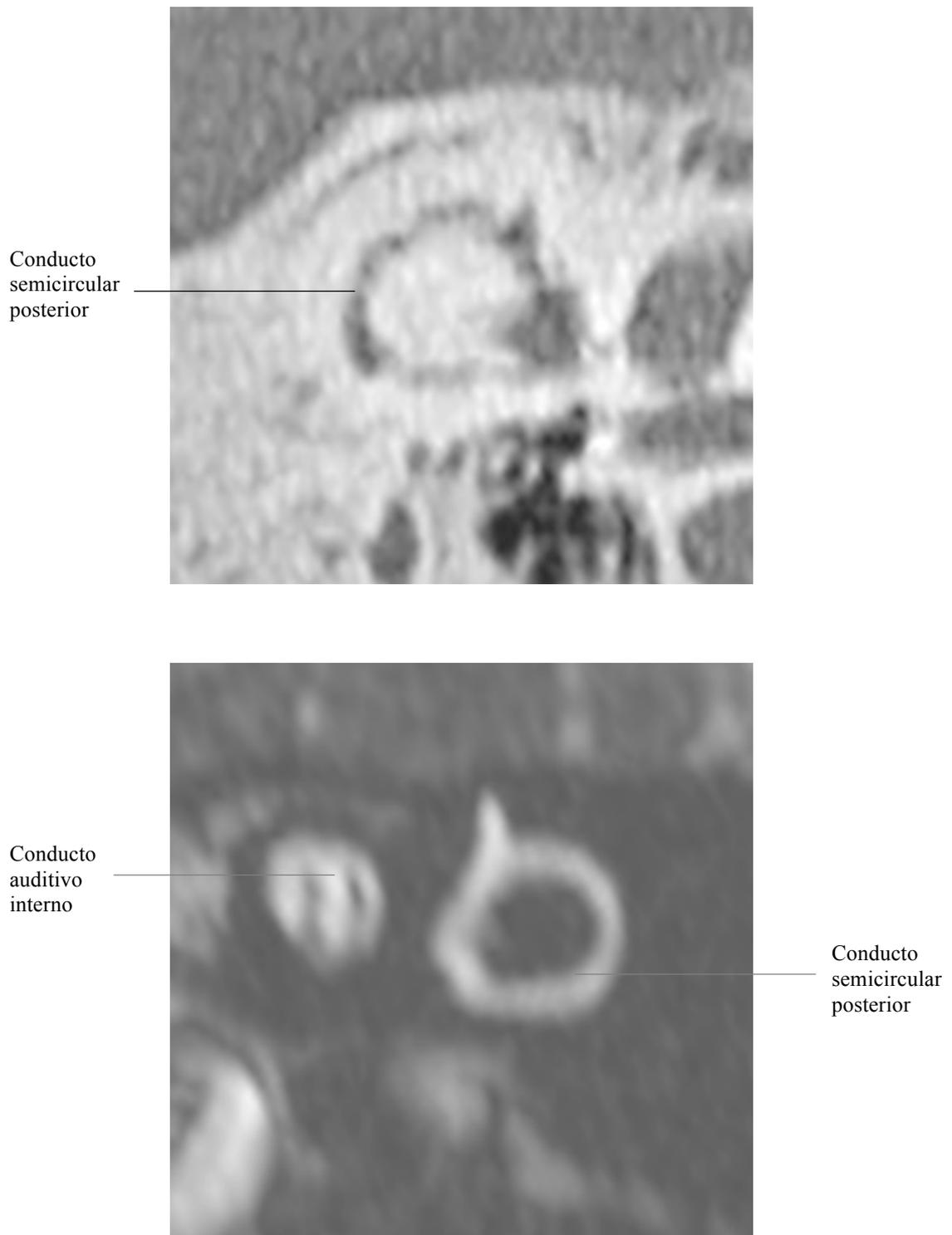
Figs. 118, 119, 120 y 121. Imágenes de RM, con secuencia FIESTA, incidencia axial, donde se aprecia de manera consecutiva el conducto semicircular superior.



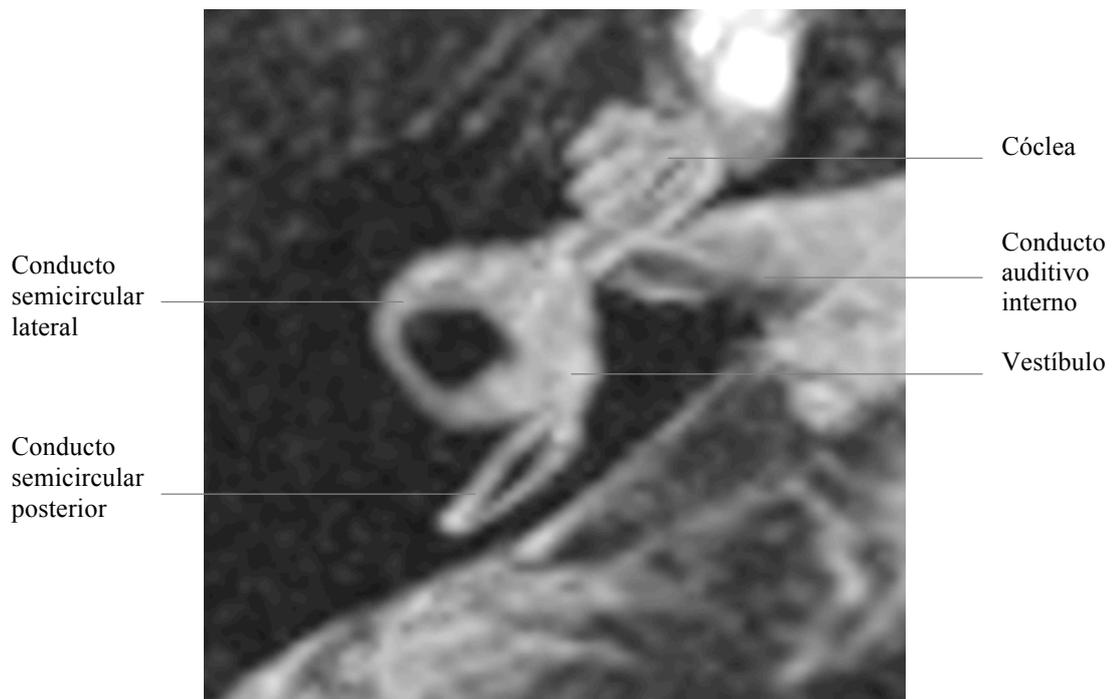
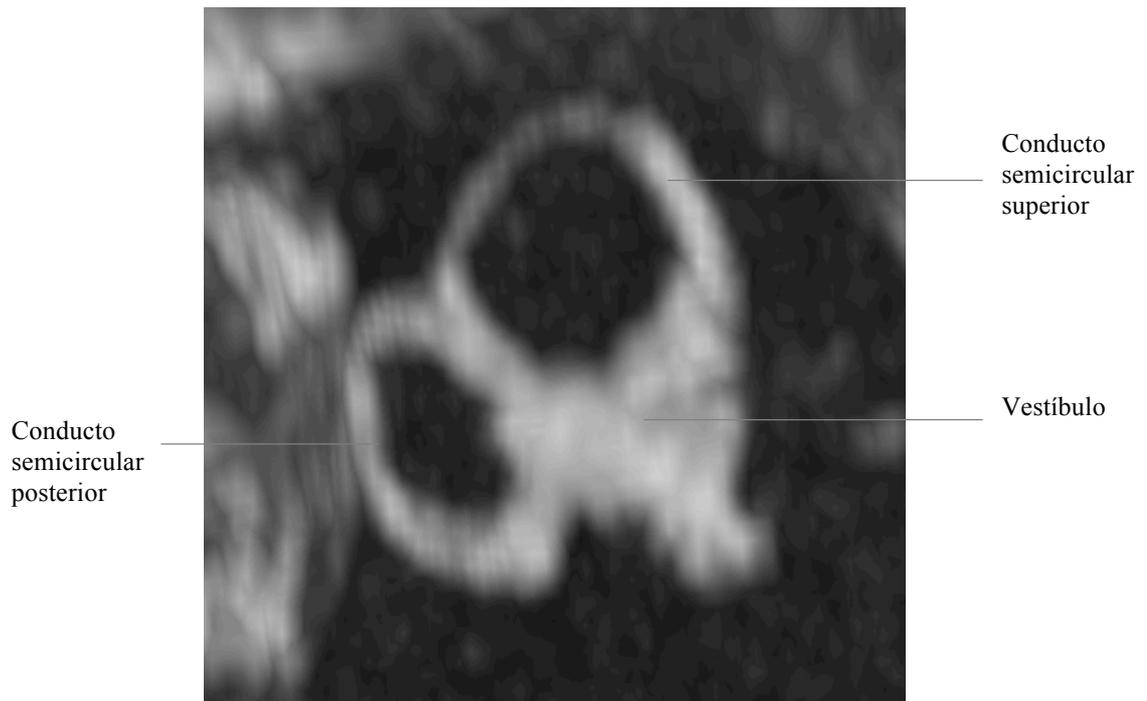
Figs. 122, 123 y 124. Imágenes de TCMD (imágenes superior y central) y RM, secuencia FIESTA (imagen inferior), donde vemos la arquitectura del conducto semicircular óseo y membranoso superior. Mediante la TC visualizamos las paredes óseas y con la RM apreciamos su contenido debido a la hiperintensidad de la señal de los líquidos.



Figs. 125 y 126. Imágenes de TCMD (imagen superior) y RM (imagen inferior), secuencia FIESTA, incidencias axiales, donde apreciamos la configuración del conducto semicircular lateral óseo (imagen superior) y membranoso (imagen inferior).



Figs. 127 y 128. Imágenes de TCMD (imagen superior) y RM (imagen inferior), secuencia FIESTA, con reconstrucciones oblicuas, donde apreciamos la configuración del conducto semicircular posterior óseo (superior) y membranoso (inferior).



Figs. 129 y 130. Imágenes de RM, secuencia FIESTA, reconstrucciones 3D MIP de los canales semicirculares membranosos superior y posterior (superior) y de diferentes componentes del oído interno (inferior).

Conducto auditivo interno

El componente más importante del conducto auditivo interno es el nervio estatoacústico, VIII nervio craneal, en especial el nervio coclear. La primera neurona de la vía auditiva se sitúa en el ganglio espiral o de Corti, constituyendo su axón el nervio auditivo, que se forma por aproximadamente 30.000 fibras, el cual va a terminar en el núcleo coclear ipsilateral en forma tonotópicamente organizada.

El conducto auditivo interno (CAI) muestra una gran variabilidad en cuanto a su forma, orientación y tamaño, pero generalmente existe una simetría entre el derecho y el izquierdo en una misma persona. Es una excavación ósea dentro del hueso temporal, en el fondo se ubica la cresta transversa (falciforme) (fig. 131) que separa el canal en un compartimento superior e inferior; en la porción superior del canal existe una división formada por la cresta vertical (barra de Bill) que divide el compartimento superior en anterior y posterior.

Por el CAI pasan el nervio vestibulococlear o estatoacústico (VIII nervio craneal) y el nervio facial (VII nervio craneal) (figs. 132 y 133). El CAI se organiza en cuadrantes, como se ha comentado previamente, de manera que el nervio facial se sitúa en el cuadrante anterosuperior. El nervio vestibulococlear, se divide en tres: 1) el nervio vestibular superior, que recoge información del utrículo, del conducto semicircular superior y del conducto semicircular lateral, y se localiza en el cuadrante superoposterior, 2) el nervio vestibular inferior, que recoge información del sáculo y del conducto semicircular posterior, y se localiza en el cuadrante posteroinferior, y 3) el nervio coclear, que recoge información de la cóclea, y se localiza en el cuadrante anteroinferior (figs. 134 – 137).

La valoración del conducto auditivo interno la podemos hacer mediante TC y RM. La TC nos aporta información de sus paredes óseas, como en el resto de estructuras estudiadas previamente, y como suele realizarse anterior a la RM podemos apreciar asimetrías en su morfología que nos hagan sospechar la

existencia de patología intracanalicular, como la existencia de neurinomas. El contenido lo veremos como densidad de partes blandas, sin poder diferenciar los componentes que pasan a su través. Para la valoración de las estructuras contenidas en el conducto, empleamos la RM con la secuencia 3D FIESTA, que nos permite observar las fibras nerviosas de los nervios craneales VII y VIII en contraste con el líquido cefalorraquídeo (LCR) contenido a dicho nivel. El LCR se visualiza hiperintenso, mientras que las fibras nerviosas se aprecian hipointensas.

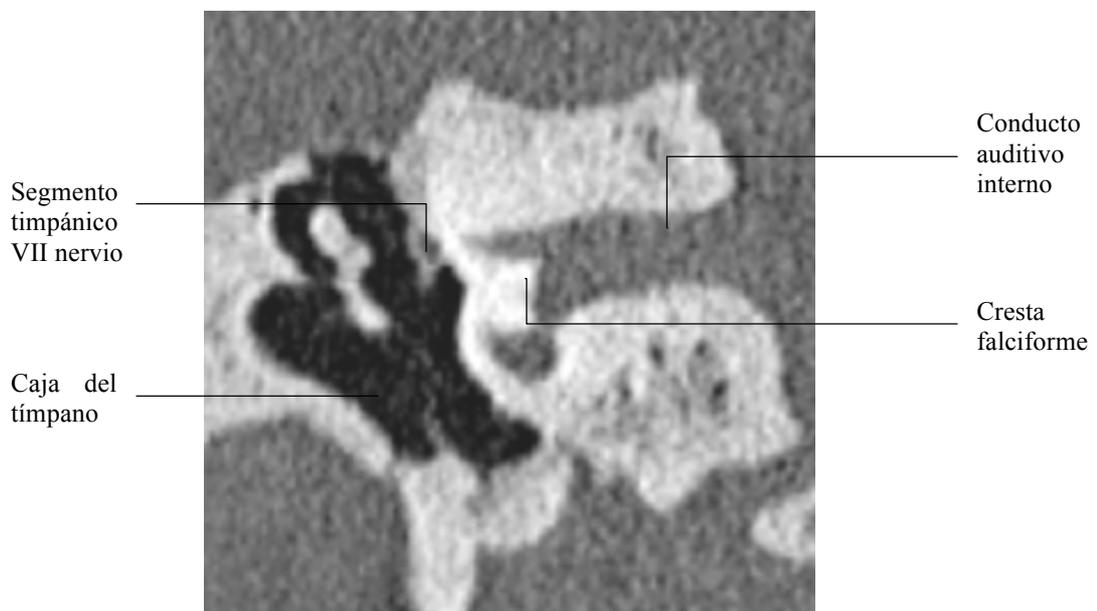
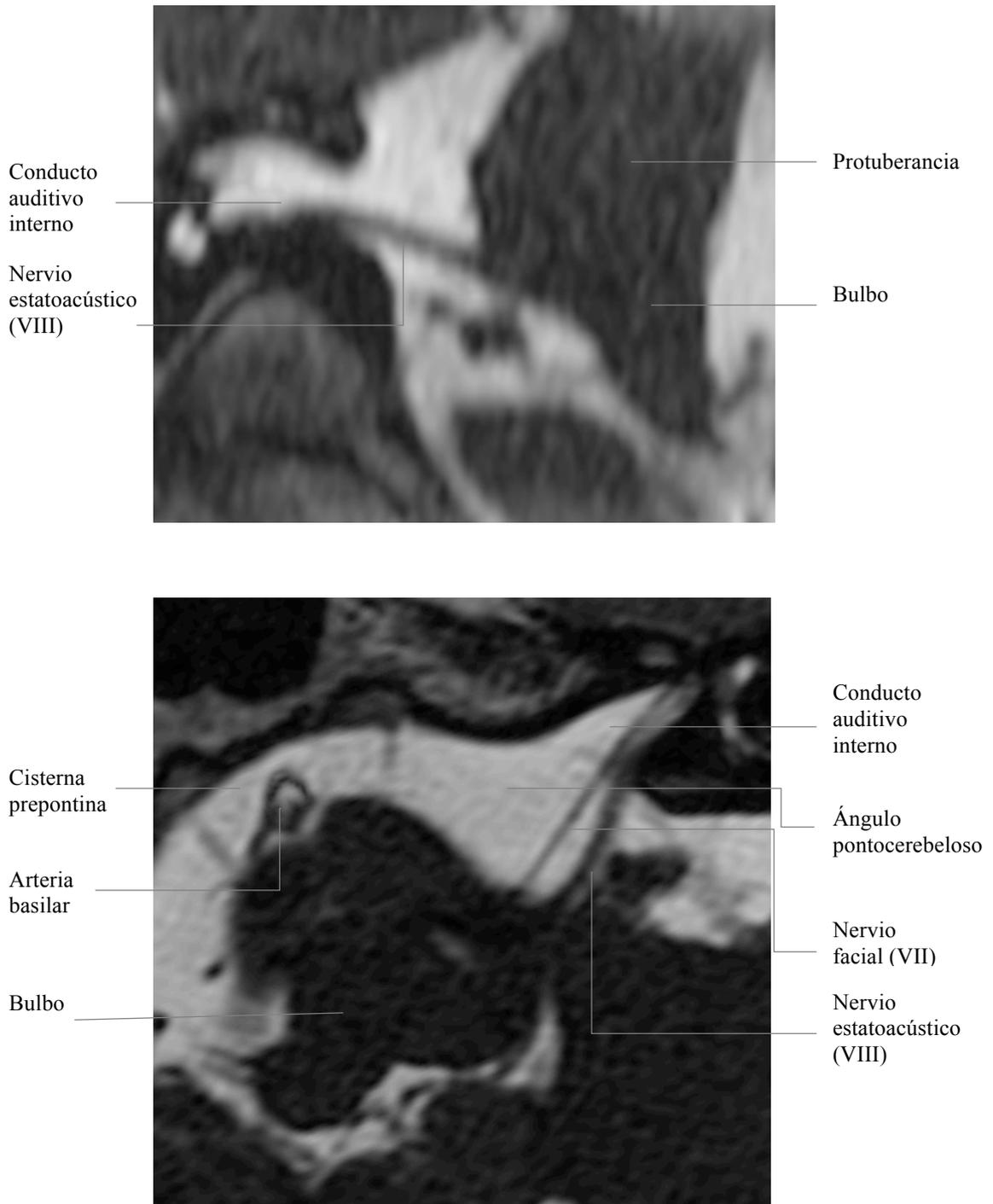
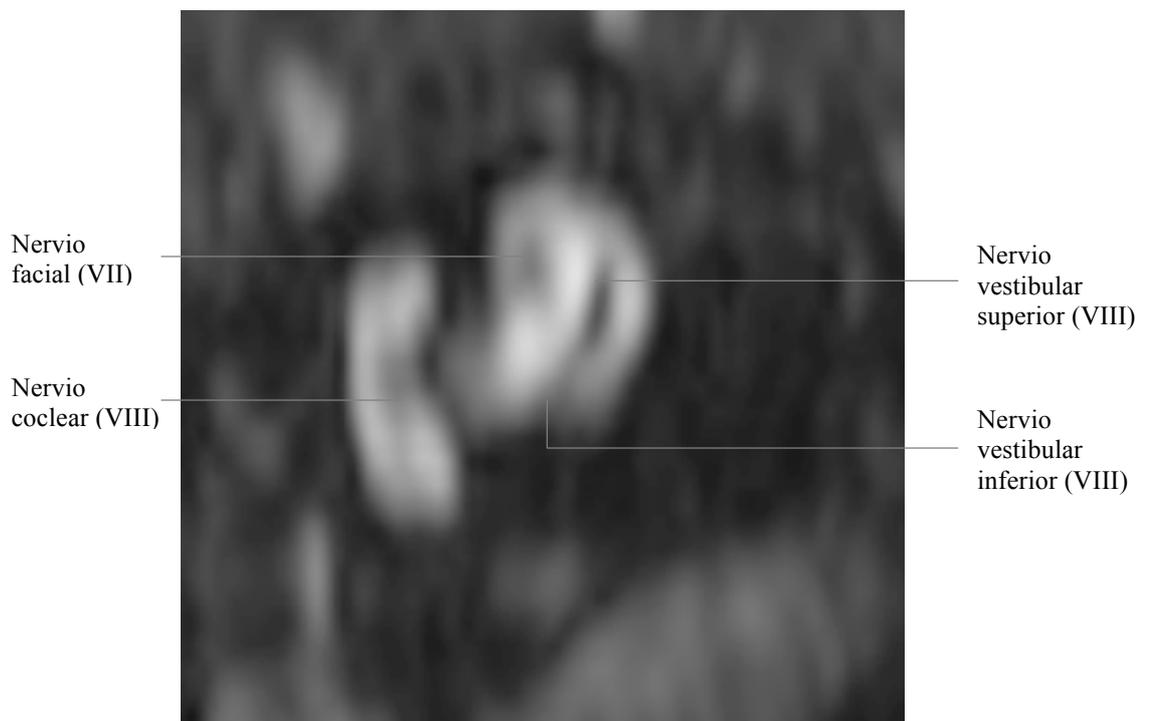
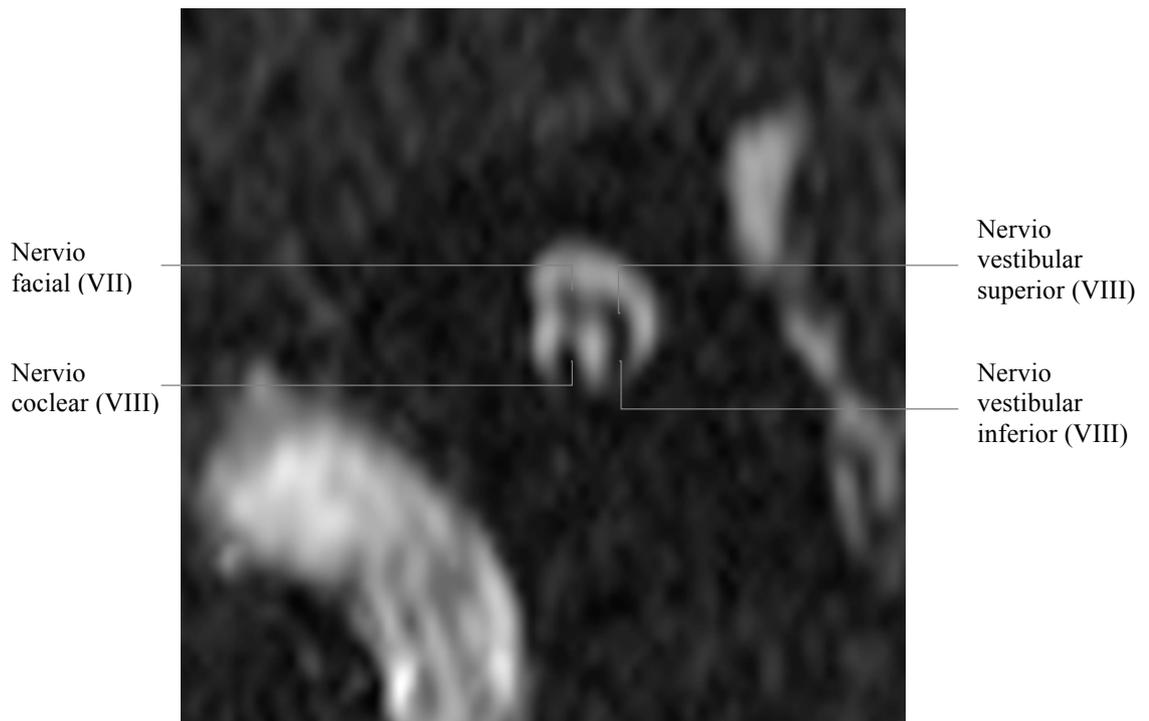


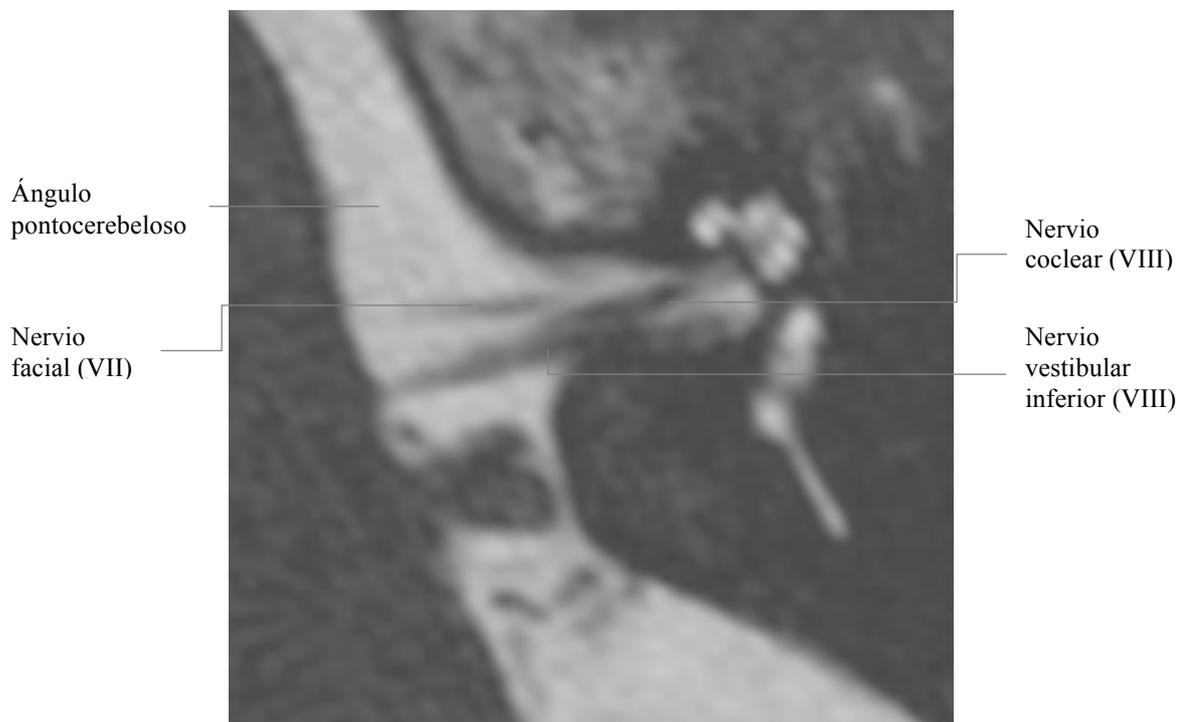
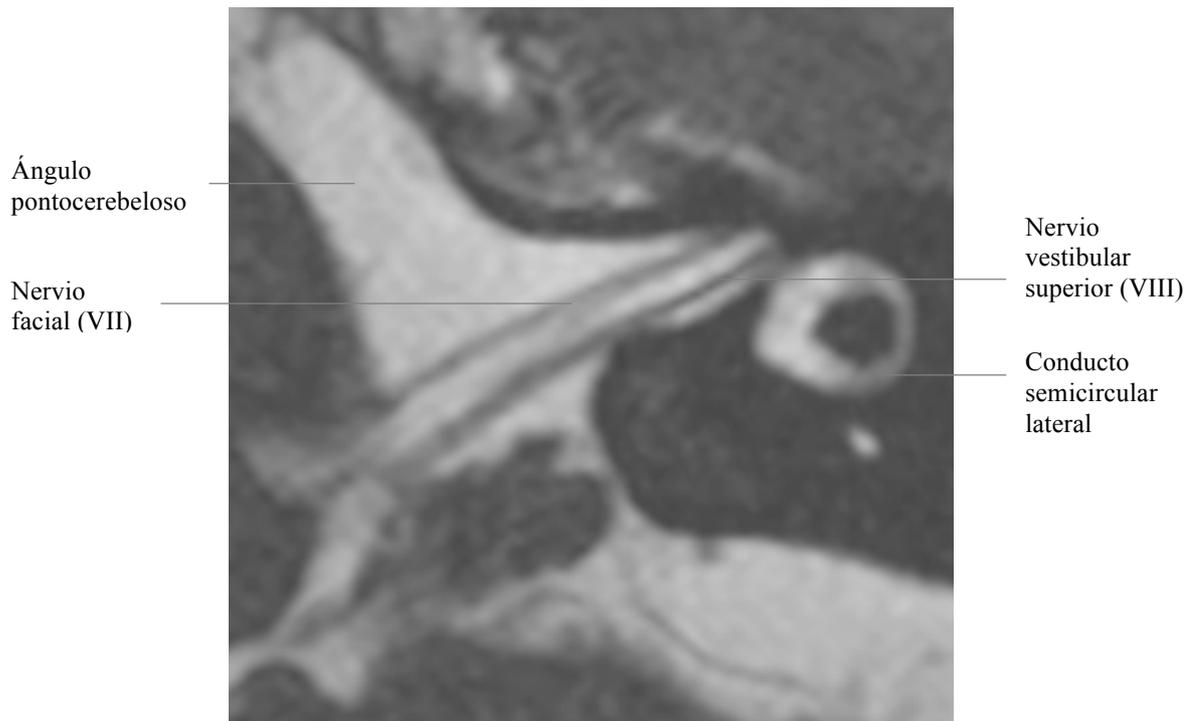
Fig. 131. Imagen de TCMD, reconstrucción coronal, donde apreciamos la configuración del CAI y la cresta falciforme.



Figs. 132 y 133. Imágenes de RM, secuencia FIESTA, reconstrucción sagital (imagen superior) e incidencia axial (imagen inferior), donde se aprecia el origen del VIII nervio craneal en el surco bulbopontino, el trayecto cisternal del VII y VIII nervios craneales, así como su introducción en el CAI.



Figs. 134 y 135. Imágenes de RM, secuencia FIESTA, reconstrucciones sagitales, donde se aprecia la sección del CAI, visualizando la localización del VII y VIII nervios craneales en los diferentes cuadrantes.



Figs. 136 y 137. Imágenes de RM, secuencia FIESTA, incidencias axiales, donde se aprecia la mitad superior (imagen superior) y la mitad inferior (imagen inferior) del CAI, mostrando el VII nervio craneal y las divisiones de VIII nervio craneal en su interior.

La morfología del CAI se estudia mejor mediante TCMD, ya que se trata de una estructura ósea. Presenta múltiples variantes morfológicas entre pacientes pero en un mismo paciente siempre tiene que mostrarse simétrico. Una asimetría de tamaño en el CAI nos puede hacer sospechar la existencia de una lesión intracanalicular, siendo la más frecuente el neurinoma. En las mediciones realizadas, el CAI midió 5.3 ± 1.8 mm. de diámetro anteroposterior (fig. 138). En el interior del CAI visualizamos el VII nervio craneal con un diámetro de 1 ± 0.3 mm. (fig. 139) y el VIII nervio craneal de un diámetro de 1.3 ± 0.3 mm. (fig. 140), medidos en su trayecto cisternal.

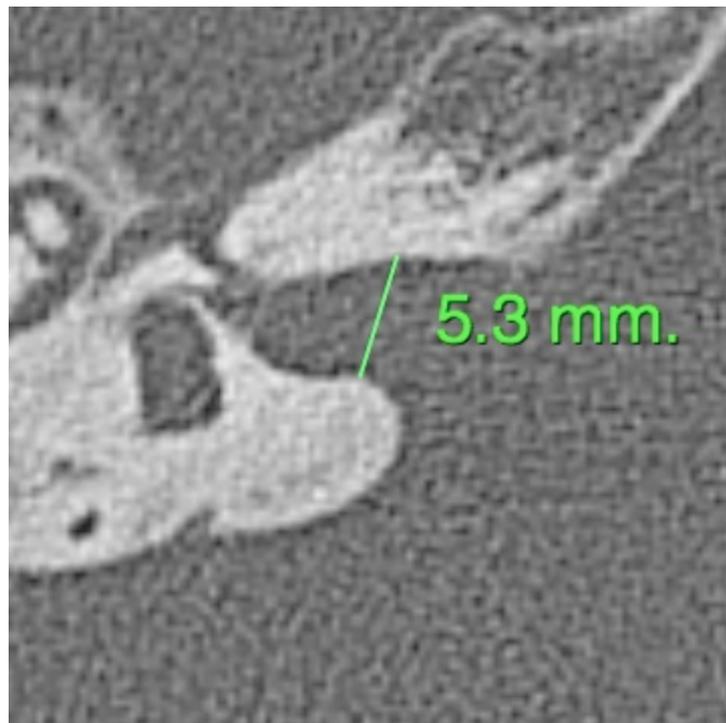
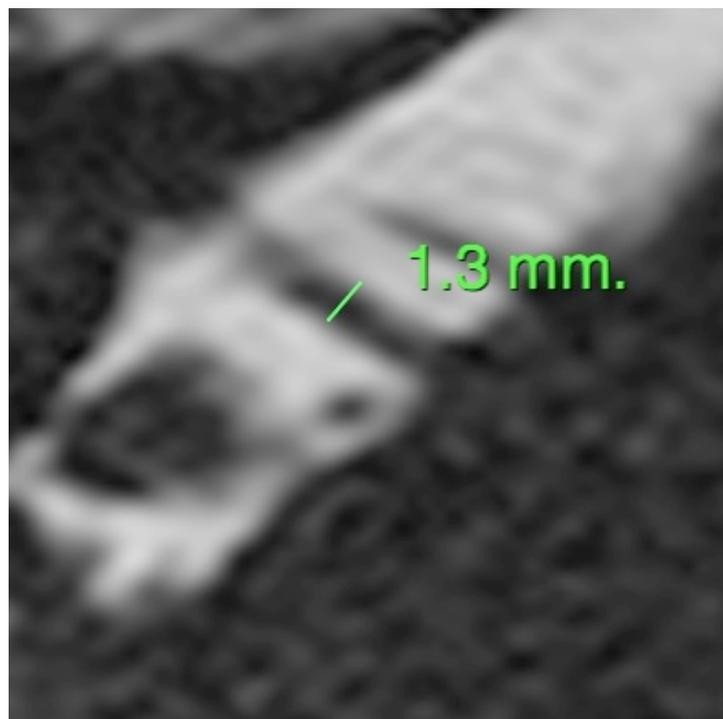
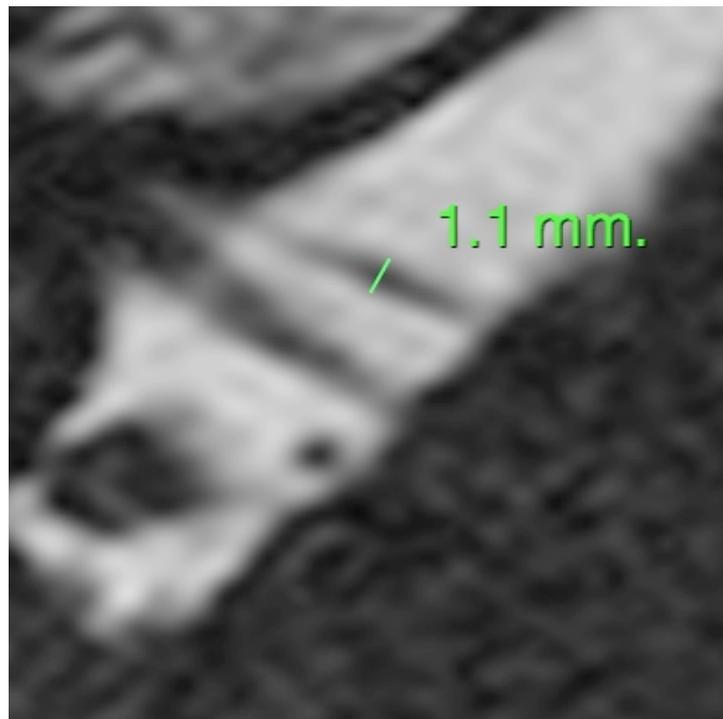


Fig. 138. Imagen de TCMD, incidencia axial, donde se visualiza el diámetro anteroposterior del conducto auditivo interno.



Figs. 139 y 140. Imágenes de RM, con secuencia FIESTA, incidencias axiales, donde apreciamos el trayecto cisternal del VII (imagen superior) y VIII (imagen inferior) nervios craneales con sus mediciones.

Canal singular

El canal singular es un pequeño conducto por el que discurre el nervio que recoge la información del conducto semicircular posterior y que es rama del nervio vestibular inferior, al que se une en el CAI (fig. 141).

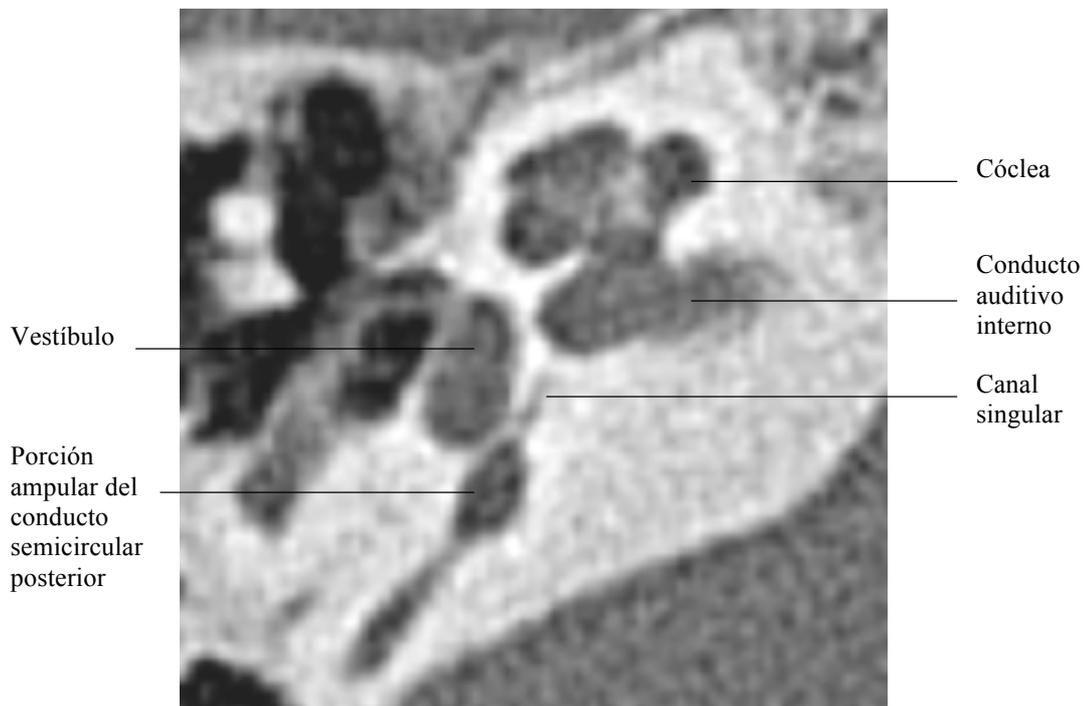
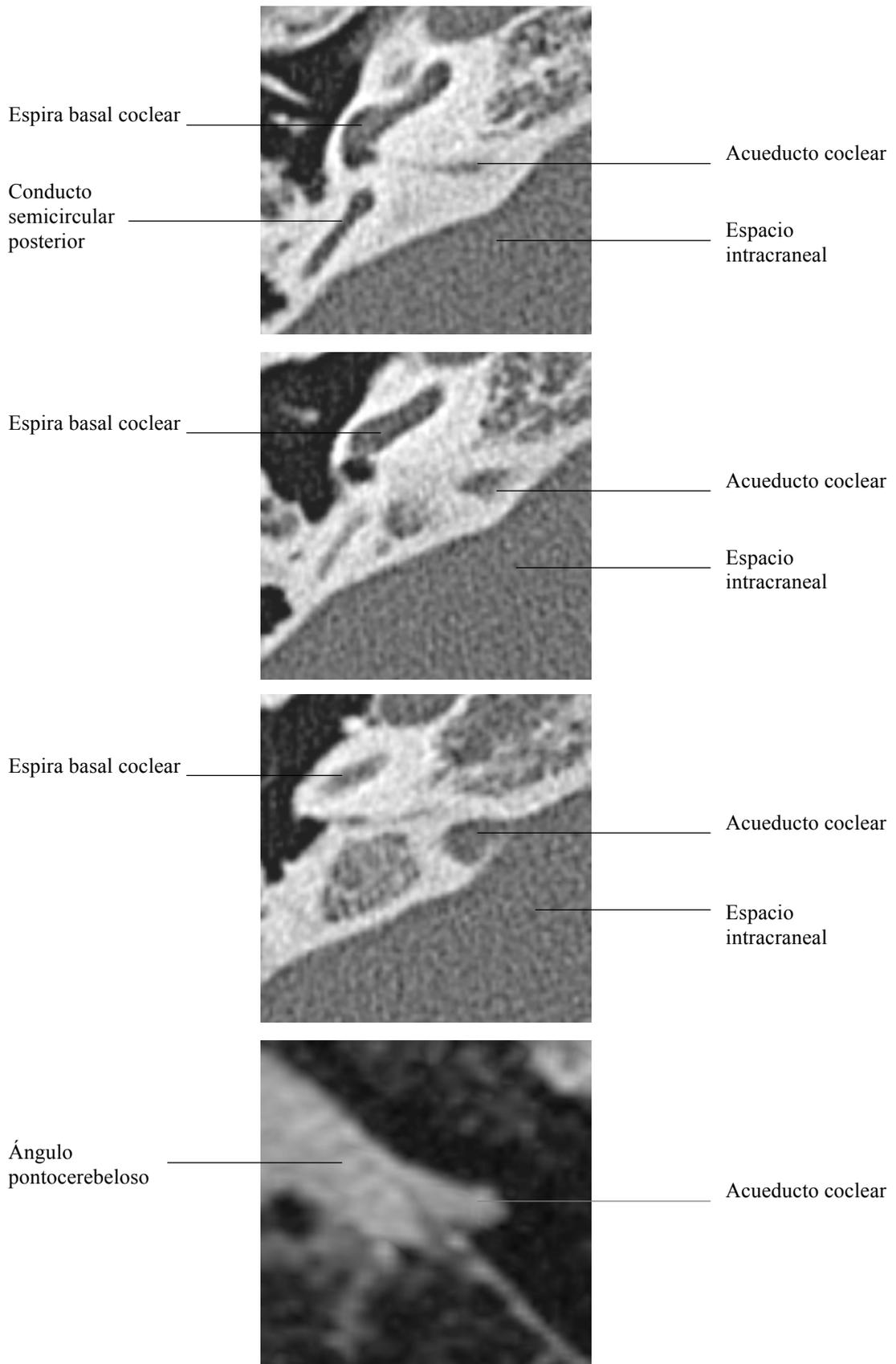


Fig. 141. Imagen de TCMD, incidencia axial, donde apreciamos el canal singular y su relación con las estructuras adyacentes.

Acueducto coclear

El acueducto coclear es un canal que se extiende desde la cóclea hasta el borde posterior de la porción petrosa del hueso temporal. Comienza en la rampa timpánica, un poco por delante de la ventana redonda, y termina en un orificio más amplio, en el fondo de la fosita petrosa excavada en el borde posterior de la porción petrosa del hueso temporal (figs. 142-145).

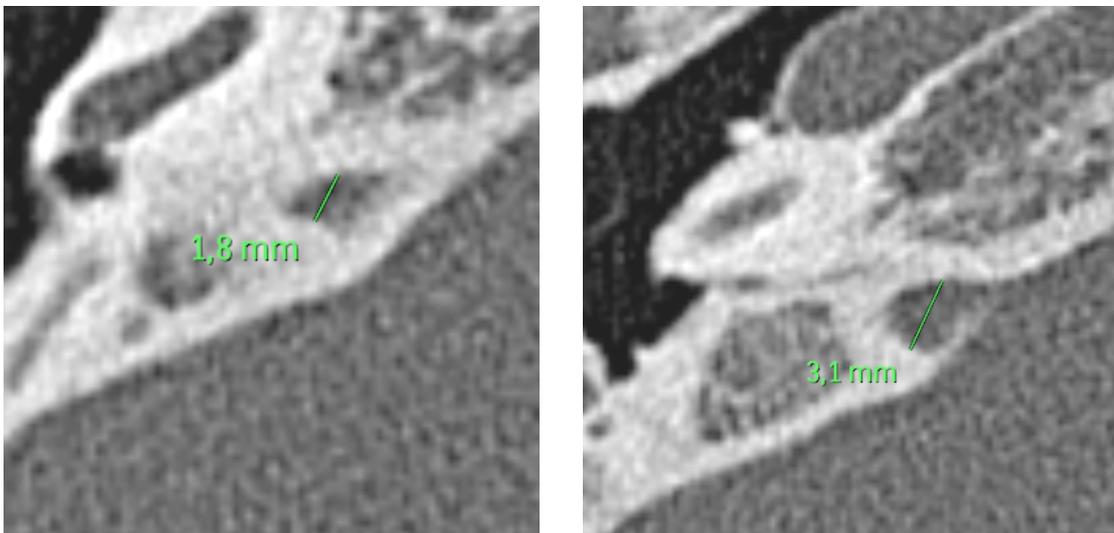
El acueducto coclear da paso a una vénula y a un conducto membranoso que es prolongación del espacio perilinfático, por lo que constituye la principal vía de comunicación líquida entre la perilinfa y el LCR del espacio subaracnoideo.



Figs. 142, 143, 144 y 145. Imágenes de TCMD y RM (imagen inferior), con secuencia FIESTA, incidencias axiales, donde apreciamos el acueducto coclear en cortes sucesivos y el contenido de LCR, hiperintenso, en su interior, en la RM.

El acueducto coclear, que ya hemos descrito, permite la comunicación entre el espacio subaracnoideo de la fosa posterior y el oído interno; de manera que un diámetro marcado del mismo facilitará la transmisión de procesos infecciosos entre ambas cavidades así como la diseminación de una hemorragia subaracnoidea de fosa posterior hacia la espira basal de la cóclea.

El aumento de calibre del conducto coclear puede estar asociado con malformaciones del oído interno, por eso debe ser examinado de manera rutinaria en pacientes con sordera neurosensorial congénita. El acueducto coclear lo hemos visualizado en el 24% de los pacientes del estudio, apreciando una gran variabilidad de diámetros. Realizamos la medición en el tercio medio y en la zona próxima a la región intracraneal, obteniendo unas medidas de 1.3 +/- 0.6 mm. (fig. 146) y de 3.8 +/- 0.8 mm. (fig. 147), respectivamente.



Figs. 146 y 147. Imágenes de TCMD, incidencias axiales, donde apreciamos las medidas obtenidas para el acueducto coclear en su tercio medio (imagen derecha) y en su tercio proximal (imagen izquierda).

6.2.4 VIA AUDITIVA AFERENTE

El impulso nervioso, como ya hemos descrito, llega por las fibras del nervio auditivo, que se dirigen al surco bulboprotuberancial penetrando por la fosita lateral de la médula oblonga, donde terminan a nivel de los núcleos cocleares, es a este nivel donde encontramos la neurona de segundo orden. Los núcleos cocleares se dividen en dorsal y ventral y, se localizan en la parte más periférica de la sustancia gris a nivel de la cara anterolateral del pedúnculo cerebeloso inferior (fig. 148). Los núcleos del tronco del encéfalo no son fácilmente distinguibles con las técnicas utilizadas en este estudio, por ello hemos necesitado imágenes de RM de 7 Teslas, de un tronco del encéfalo post mortem.

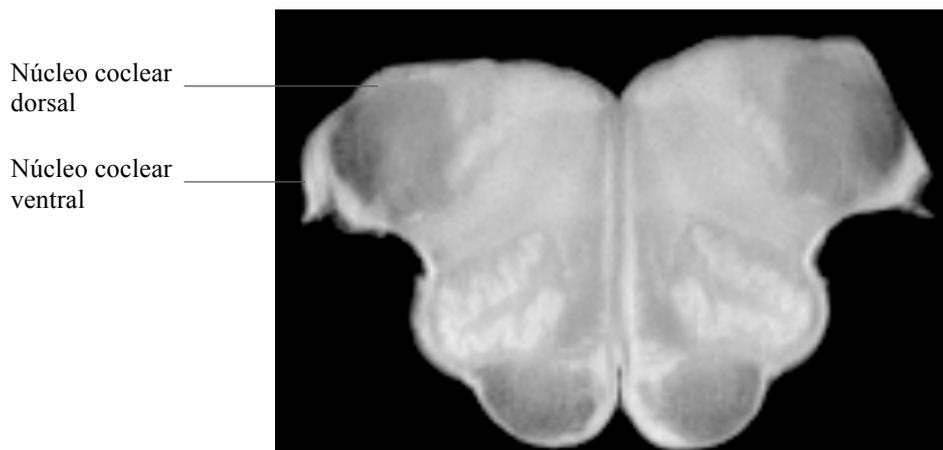
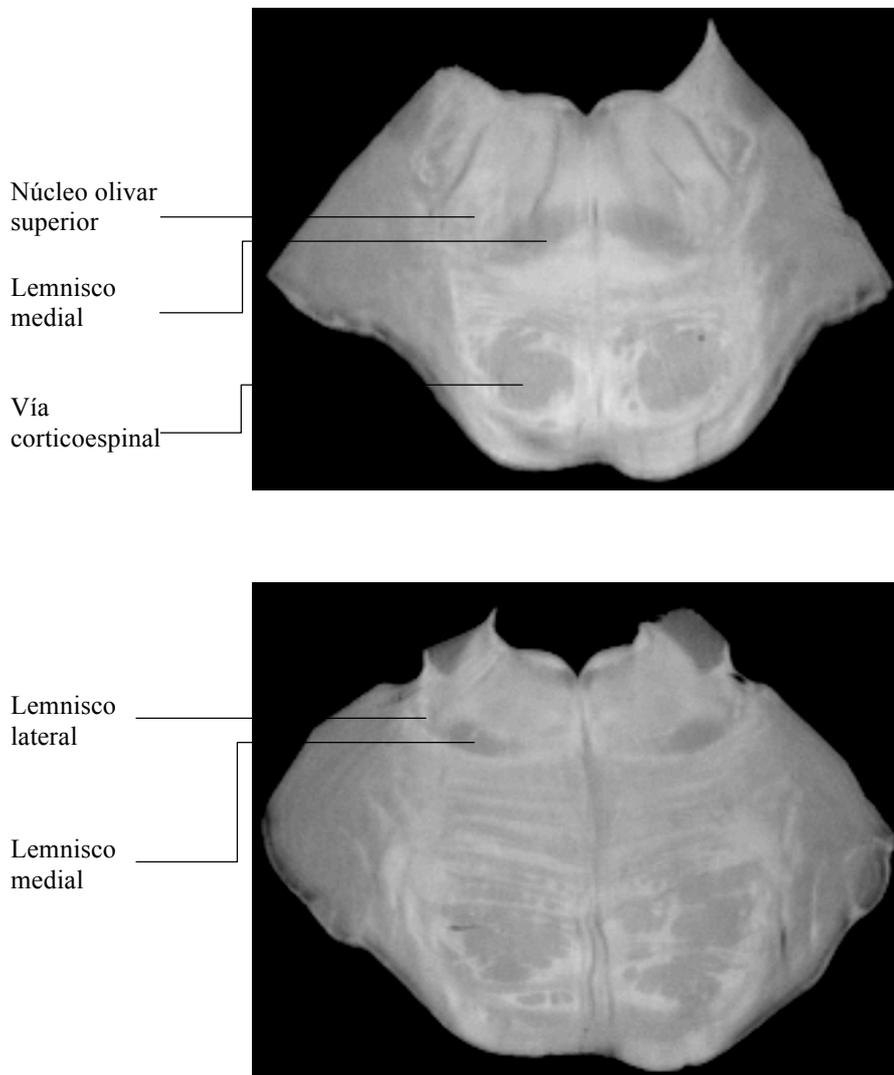


Fig. 148. Imagen de RM, incidencia axial potenciada en T1, a nivel del bulbo, donde se aprecian los núcleos cocleares.

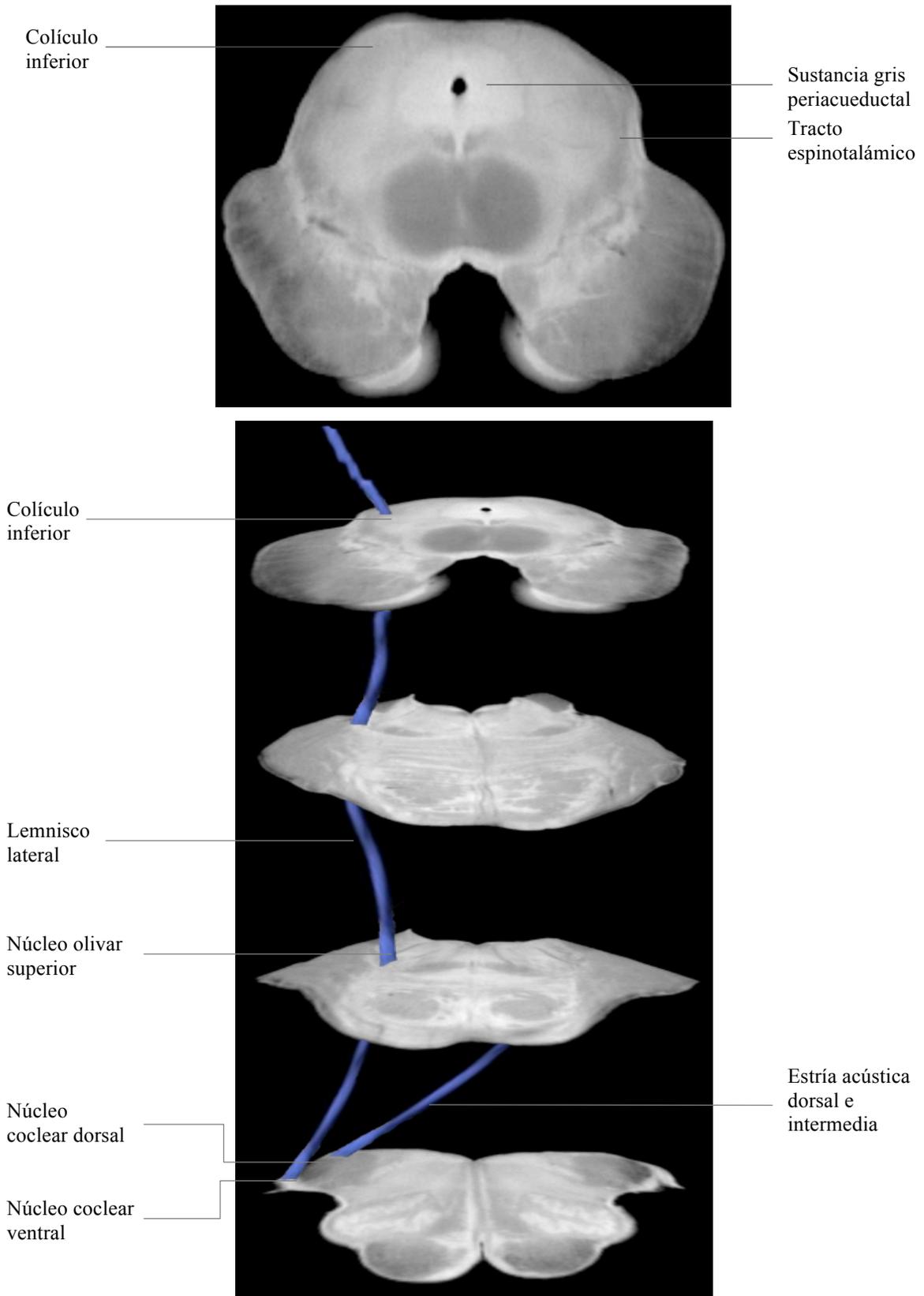
Todas las fibras del núcleo coclear dorsal se hacen contralaterales y se dirigen al complejo olivar superior contralateral, mediante la estría acústica intermedia y la estría acústica dorsal. Una pequeña parte de las fibras del núcleo coclear ventral ascienden hacia el complejo olivar superior ipsilateral y gran parte de las fibras, algunas de ellas tras pasar por el complejo olivar superior ipsilateral, se hacen contralaterales a través de la estría acústica ventral o cuerpo trapezoide.

Las fibras ascienden por el tronco del encéfalo a través del lemnisco lateral (figs. 149 y 150), donde encontramos islotes de células intercaladas en las fibras, que constituyen los núcleos del lemnisco lateral, hasta llegar a los núcleos del colículo inferior.



Figs. 149 y 150. Imágenes de RM, incidencias axiales potenciadas en T1, a nivel de la parte inferior de la protuberancia (imagen superior) y de la parte media de la protuberancia (imagen inferior), donde apreciamos el núcleo olivar superior y el lemnisco lateral.

En el colículo inferior (fig. 151) asienta la tercera neurona, es en esta parte del mesencéfalo donde acaba el lemnisco lateral. El colículo inferior está formado por un núcleo central, organizado tonotópicamente, y unas regiones pericentrales o cortezas.



Figs. 151 y 152. Imágenes de RM, incidencias axiales potenciadas en T1, a nivel de la parte inferior del mesencéfalo (imagen superior), donde apreciamos la localización del colículo inferior. En la imagen inferior hemos realizado una reconstrucción de las fibras auditivas ascendentes en el tronco del encéfalo.

Las fibras provenientes del colículo inferior sinaptan en el cuerpo geniculado medial, donde se encuentra la cuarta neurona, los axones de éstas emergen para ascender en forma de radiación acústica, que constituye parte de la cápsula interna.

El cuerpo geniculado se divide en tres partes: la porción ventral, que recibe aferencias del núcleo central del colículo inferior y emite eferencias hacia la corteza auditiva primaria; la porción dorsal que recibe aferencias del núcleo pericentral del colículo inferior y emite eferencias hacia la corteza auditiva secundaria; y, finalmente, la porción medial que recibe aferencias del núcleo lateral del colículo inferior y emite eferencias a las áreas de asociación de la corteza auditiva. Para la representación de las principales fibras de las radiaciones acústicas (figs. 153-156), hemos empleado la técnica del tensor de difusión y tractografía, que nos permite visualizar las fibras de la sustancia blanca.

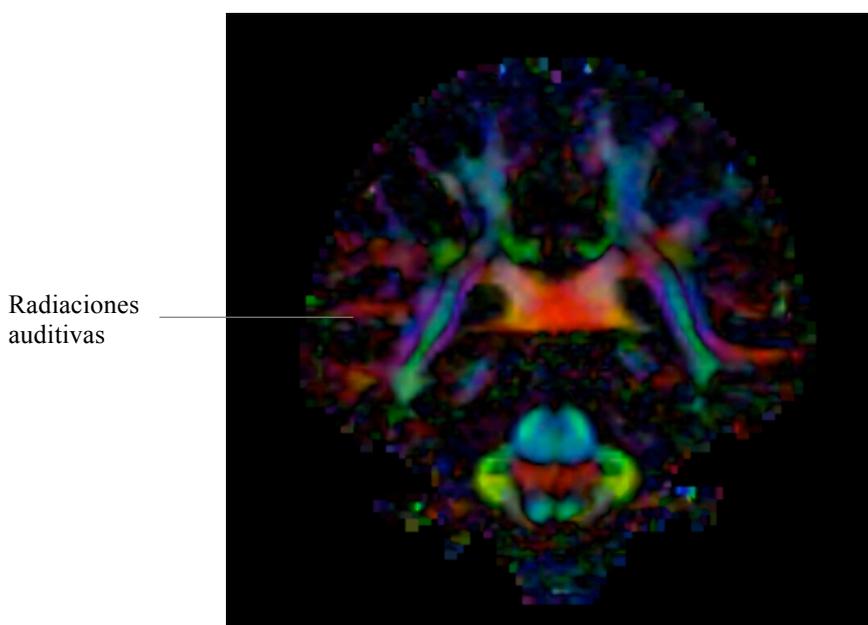
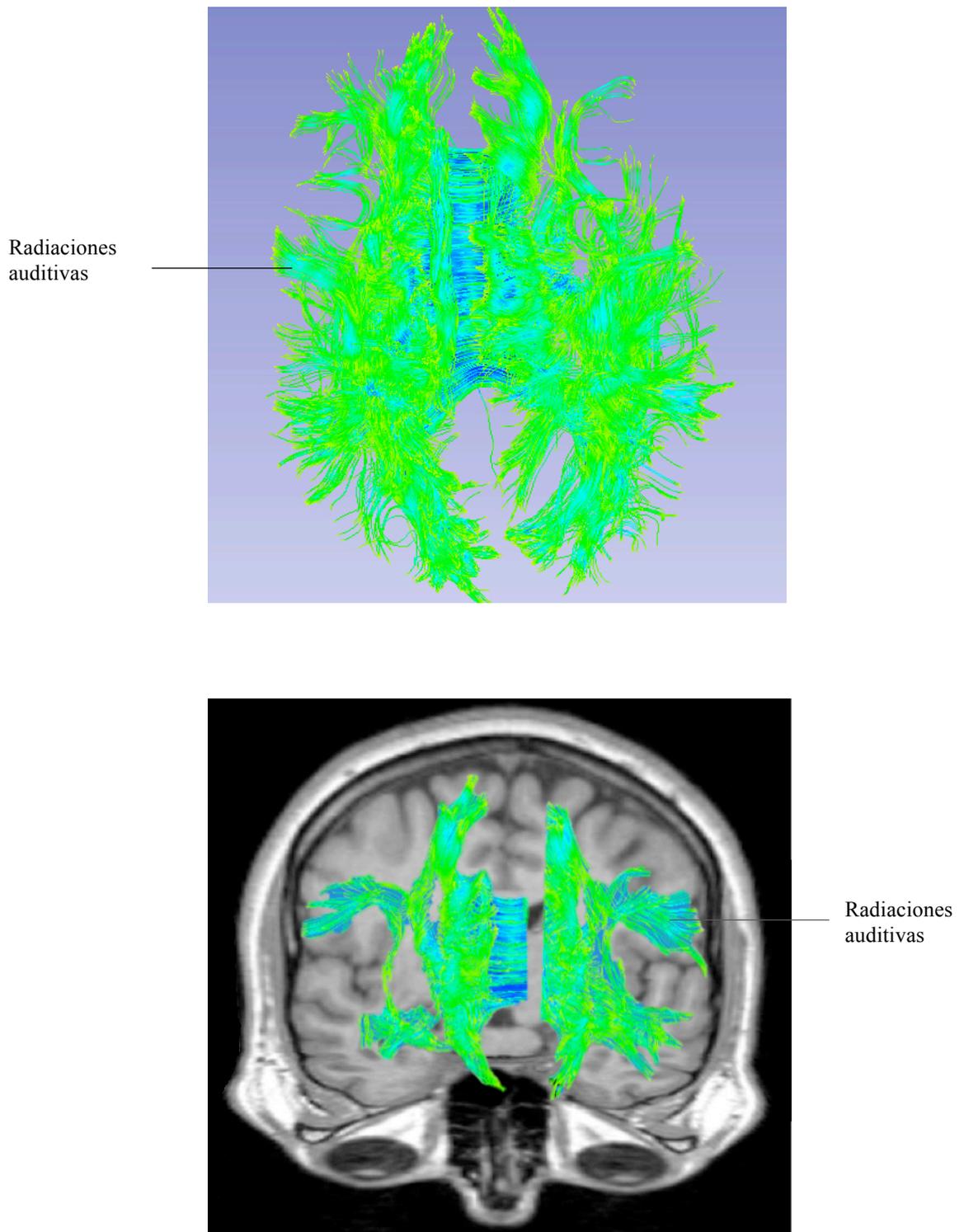


Fig. 153. Mapa de anisotropía codificado por color donde apreciamos los tractos de las radiaciones auditivas codificados en color rojo, que nos indican el sentido de las fibras de medial a lateral.



Figs. 154 y 155. Imágenes de tractografía donde vemos la reconstrucción en 3D de la imagen del tensor de difusión, apreciando las radiaciones auditivas. En la imagen inferior apreciamos la imagen de tractografía superpuesta a una secuencia T1 cerebral, en el plano axial y coronal.

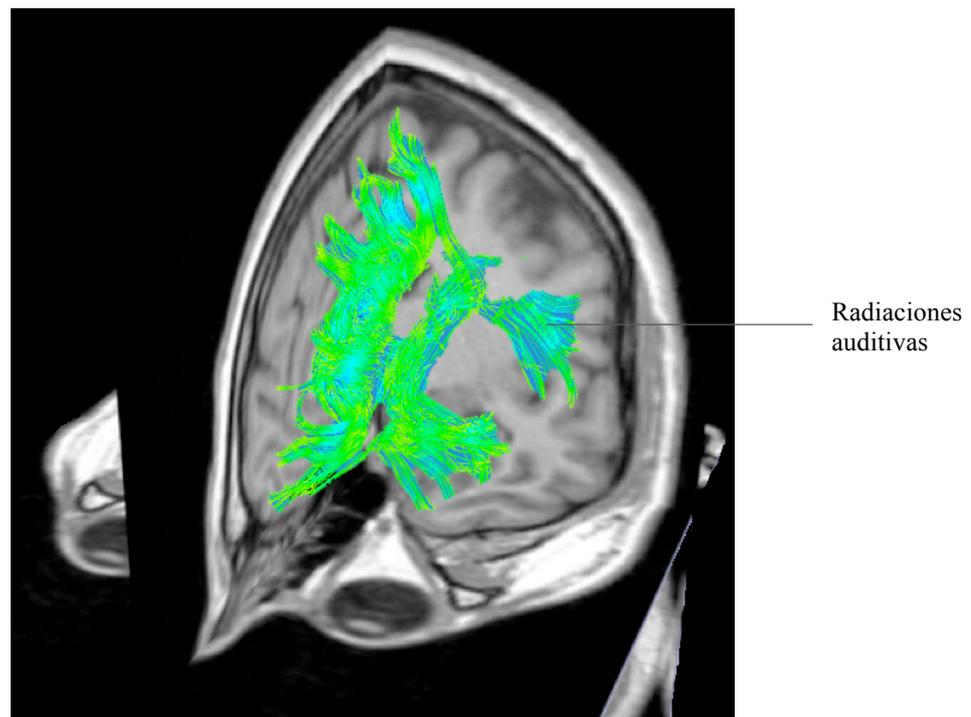


Fig. 156. Imagen de tractografía superpuesta a secuencia potenciada en T1, con planos axial, sagital y coronal, donde apreciamos las fibras correspondientes a las radiaciones auditivas dirigiéndose a la región temporal.

Las radiaciones auditivas ascienden hasta el córtex auditivo primario (área 41), que se ubica en los 2 giros transversos de Heschl, adyacente a la porción superior del giro temporal superior. La corteza auditiva secundaria (área 42) se encarga del reconocimiento e interpretación de los sonidos en base a experiencias pasadas. La corteza auditiva de asociación rodea al área auditiva primaria y se sitúa, principalmente, en la porción posterior del giro temporal posterior.

La técnica que permite representar la corteza auditiva es la RM funcional (fig. 157) que manifiesta, de manera aproximada, la localización de la corteza auditiva primaria y secundaria.

Cada área cortical auditiva se conecta con las áreas recíprocas del otro hemisferio cerebral a nivel del cuerpo calloso.

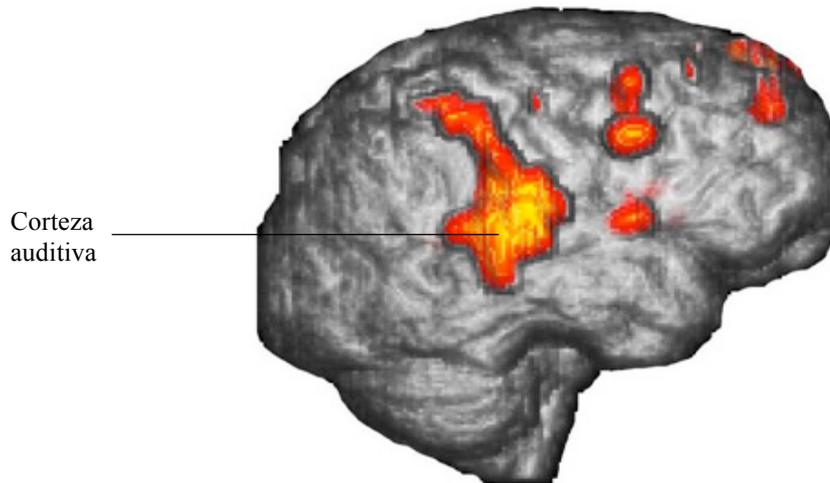


Fig. 157. Imagen representativa de un estudio de RM funcional donde se pone de manifiesto la corteza auditiva, de manera aproximada, en un paciente.

Todas las mediciones recogidas en el estudio morfométrico las hemos reflejado de manera resumida en la tabla 1.

Tabla 1. Estudio morfométrico de diferentes estructuras del oído interno.

| Estructura anatómica | Diámetro (mm.) |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Conducto auditivo interno | 5.3 +/-1.8 |
| VII nervio craneal | 1.1 +/- 0.3 |
| VIII nervio craneal | 1.3 +/- 0.3 |
| Distancia coclear | 9.5 +/- 0.6 |
| Intervalo carótido coclear | 1.3 +/- 0.5 |
| Acueducto coclear (tercio medio) | 1.3 +/- 0.6 |
| Acueducto coclear (tercio proximal) | 3.8 +/- 0.8 |
| Acueducto vestibular | 0.45 +/- 0.02 |

6.3 PATOLOGÍA MÁS FRECUENTE DE LA VÍA AUDITIVA

En este apartado vamos a describir e ilustrar algunas patologías, las más frecuentes relacionadas con la vía auditiva. Muchas de ellas las hemos descrito en la introducción y son las que hemos encontrado en los pacientes estudiados durante la realización de este trabajo, algunas de ellas como hallazgos incidentales. No obstante existe un gran número de patologías que afectan a la vía auditiva y que no hemos incluido en este trabajo de tesis doctoral, al sobrepasar los objetivos marcados.

6.3.1 ANOMALÍAS CONGÉNITAS

Las anomalías congénitas se producen por agresiones externas durante el periodo embrionario o por determinados síndromes. Se manifiestan con sordera de tipo neurosensorial. Durante la realización del trabajo encontramos un defecto de Mondini, que es la deformidad coclear más frecuente y que aparece tarde en el desarrollo embrionario, por lo general en la semana 7^a a 8^a. En esta deformidad no se produce una separación en rampas de la luz de la cóclea. Esencialmente, el defecto de Mondini es un desarrollo incompleto de las dos espiras y media de la cóclea, de manera que la espira basal está relativamente bien formada, pero la espira media y apical forman un quiste (figs. 158-160).

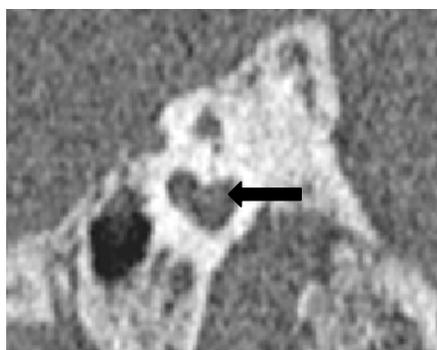
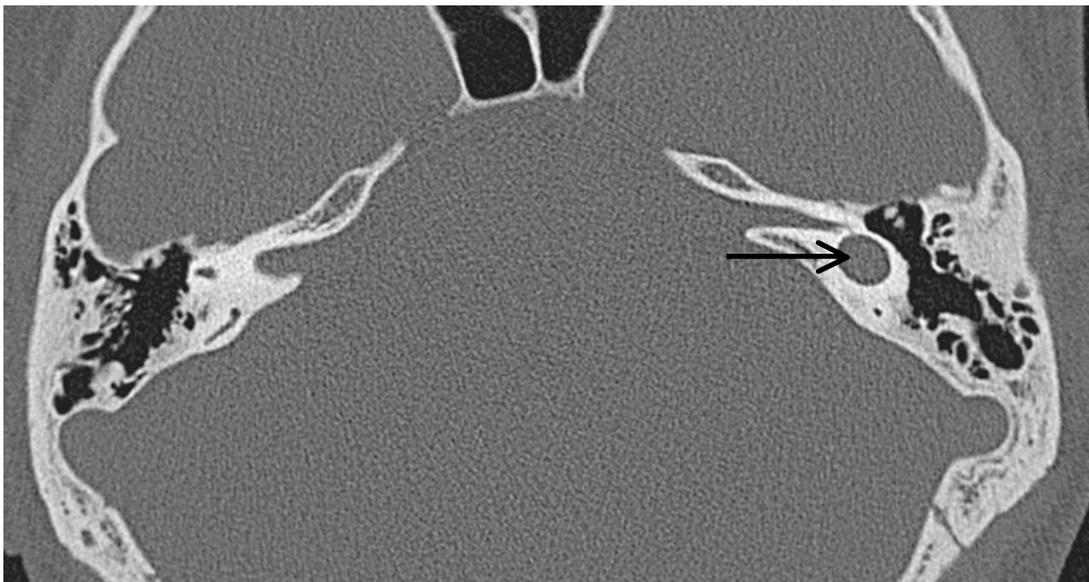
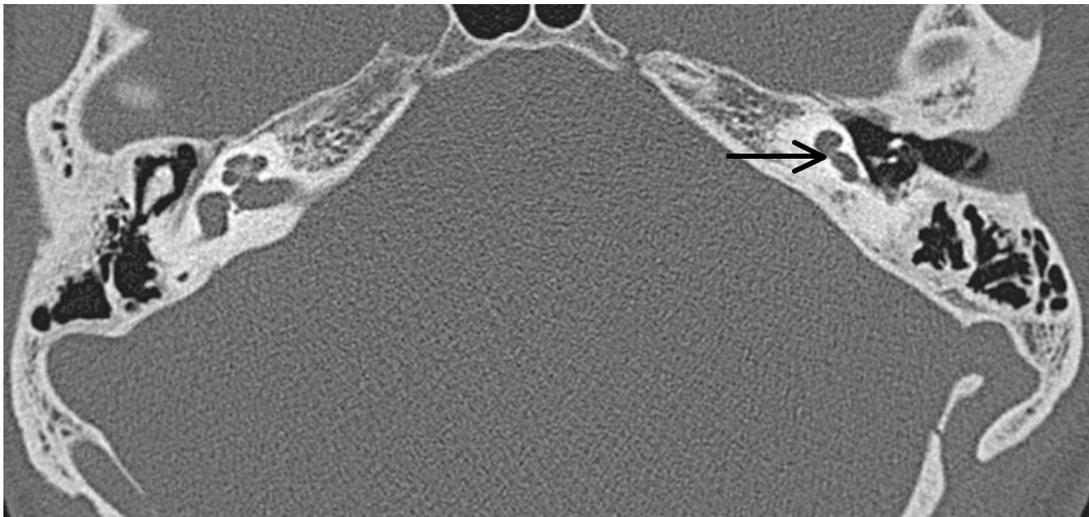


Fig. 158. Imagen de TC, plano sagital, donde apreciamos parte de la espira basal (flecha) de la cóclea izquierda y la alteración de su morfología normal, ya que acaba con una formación quística.



Figs. 159 y 160. Imágenes de TC, plano axial, donde apreciamos parte de la espira basal (flecha) de la cóclea izquierda y la alteración de su morfología normal, ya que acaba con una formación quística, en contraposición a la cóclea contralateral. En la imagen inferior además vemos como el conducto semicircular lateral ha quedado reducido a una formación quística, como hallazgo asociado al defecto de Mondini.

6.3.2 LESIONES INFLAMATORIAS

Las lesiones inflamatorias más representativas, en relación con la vía auditiva, son la otitis media y el colesteatoma (figs. 161-163), en algunos casos es un reto para el radiólogo, siendo difícil realizar un adecuado diagnóstico diferencial entre ambas (tabla 2), como ya se comentó en el apartado de introducción.

La TCMD es la técnica de elección para la valoración de dicha patología, no obstante ante la sospecha de complicaciones, es necesario realizar una RM con gadolinio.

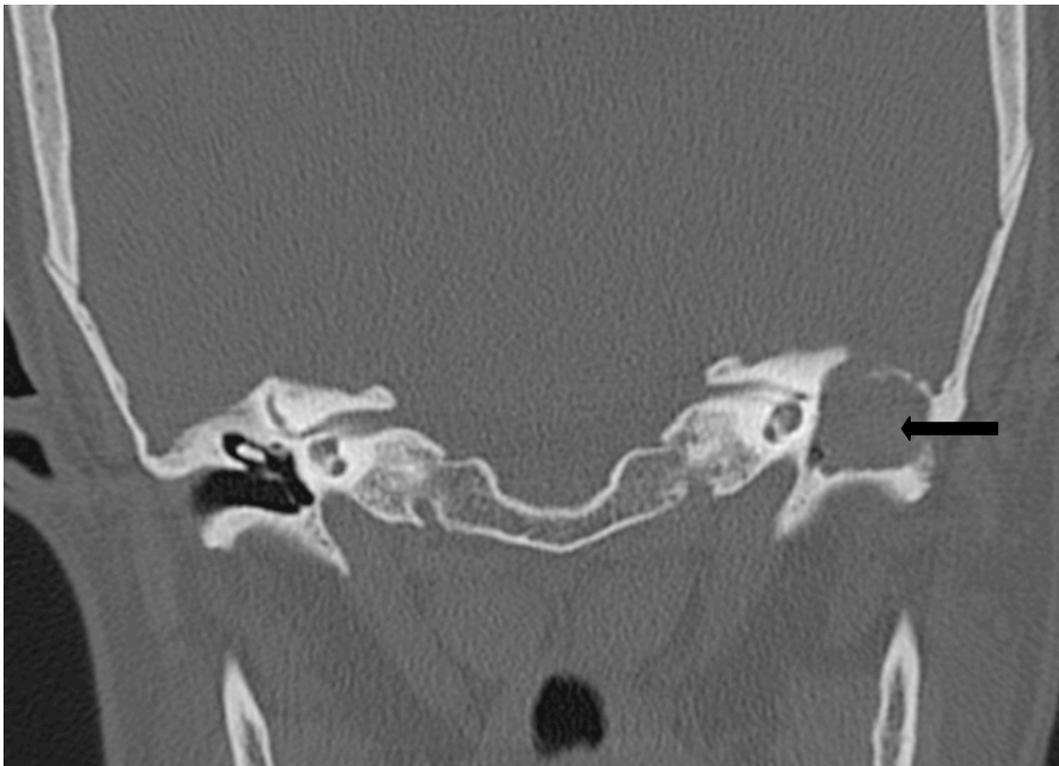
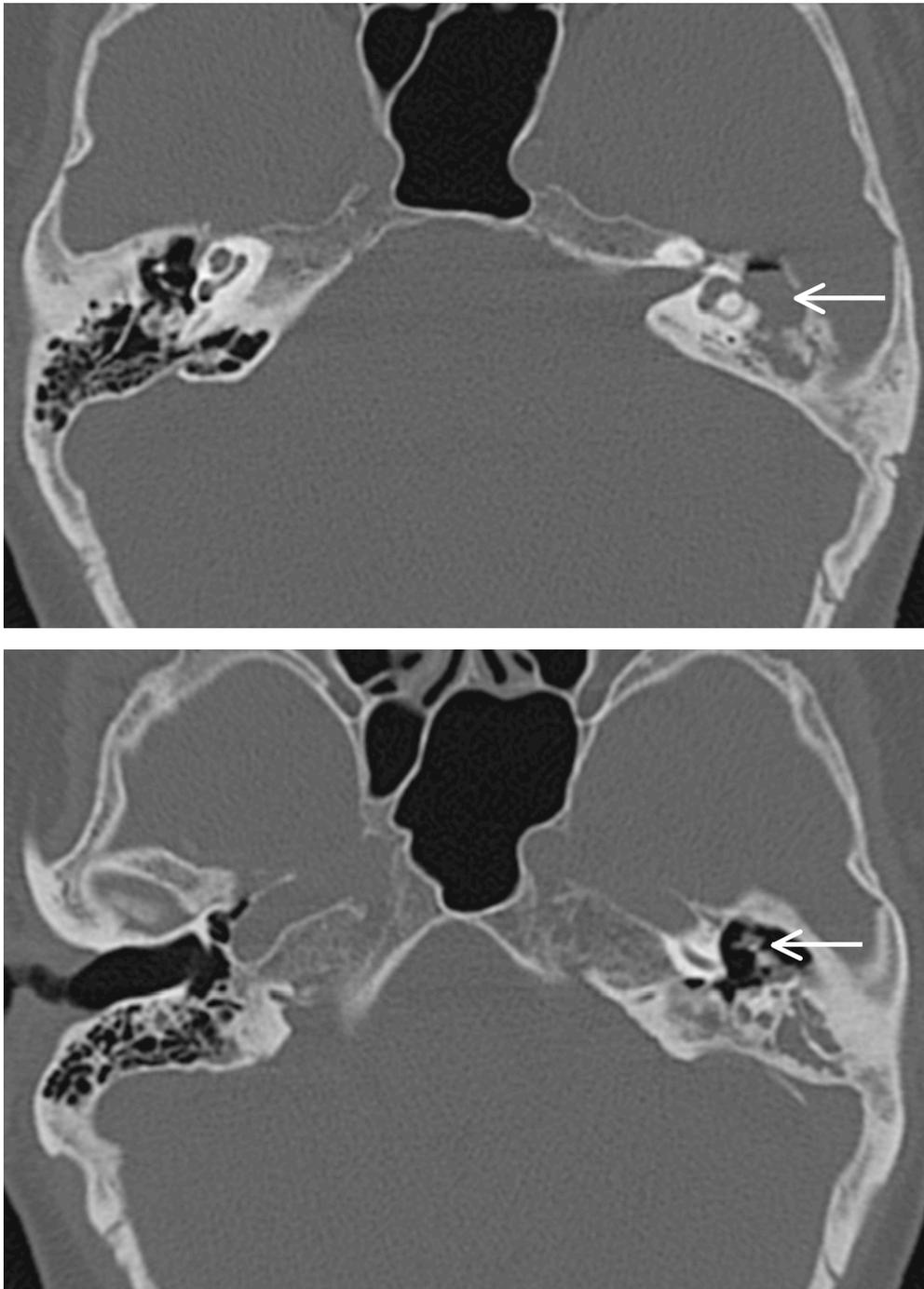


Fig. 161. Imagen de TC, plano coronal, donde apreciamos una gran masa (flecha) que corresponde a un colesteatoma que distiende la caja timpánica y erosiona sus paredes. Se aprecia una solución de continuidad del *tegmen tympani* y erosión de la porción timpánica del facial. La cadena osicular ha desaparecido por completo en este lado de la lesión.



Figs. 162 y 163. Imágenes de TC, plano axial, en un paciente con colesteatoma, en la imagen superior apreciamos una ocupación de la caja timpánica (flecha) y de las celdillas mastoideas con alteración en la densidad del hueso adyacente así como erosión del mismo; también se visualiza erosión y pérdida de la configuración normal del conducto semicircular lateral. En la imagen inferior se aprecia una ausencia de gran parte de la cadena osicular, quedando únicamente algún resto de la misma con densidad de partes blandas asociada (flecha), también se aprecia ocupación de las celdillas mastoideas.

Tabla 2. Diferencias radiológicas entre colesteatoma y otitis media.

| Característica | Colesteatoma | Otitis media |
|-------------------------------------|--------------|--------------|
| Opacificación OM | Si | Si |
| Scutum | Erosionado | Normal |
| Erosión osículos | Si | Infrecuente |
| Desplazamiento osículos | Si | No |
| Expansión conducto timpanomastoideo | A veces | No |
| Fístula CSL | A veces | Infrecuente |
| Refuerzo gadolinio | Raro | Raro |
| Retracción MT | Si | No |
| Erosión techo tímpano | A veces | No |
| Dehiscencia conducto VII | A veces | No |

6.3.3 FRACTURAS DE PEÑASCO

Las fracturas de peñasco se producen en traumatismos craneoencefálicos de alta energía.

Las fracturas, en la práctica clínica habitual, son de carácter complejo, con múltiples trazos, aunque clásicamente se han clasificado en longitudinales y transversas (figs. 164-167), según el eje de su trazado (tabla 3).

La TCMD, con ventana de hueso, es la técnica de elección, para una adecuada visualización de esta patología, en algunos casos son de ayuda las reconstrucciones volumétricas en 3D. Si el trazo de fractura no es visualizado, tenemos que valorar la existencia de signos indirectos como ocupación de las celdillas mastoideas o de la caja timpánica así como aire en lugares no habituales, dichos hallazgos deberían de aumentar la sospecha.

Tabla 3. Diferencias entre fractura longitudinal y fractura transversal.

| | Longitudinal | Transversal |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Frecuencia | 70-86% | 20% |
| Zona del golpe | Temporoparietal | Frontal, occipital |
| Afectación CAE | Frecuente | Infrecuente |
| Perforación timpánica | Si | No |
| Alteración huesecillos | Frecuente (yunque) | Infrecuente |
| Lesión facial | Ganglio geniculado (10-20%) | Porción horizontal |
| Hipoacusia | Conducción (60%) | Neurosensitiva (95%) |
| Lesión oído interno | No | Si (vértigo) |
| Otorrea LCR | Fractura techo tímpano | No |
| Colesteatoma secundario | Posible | Posible |

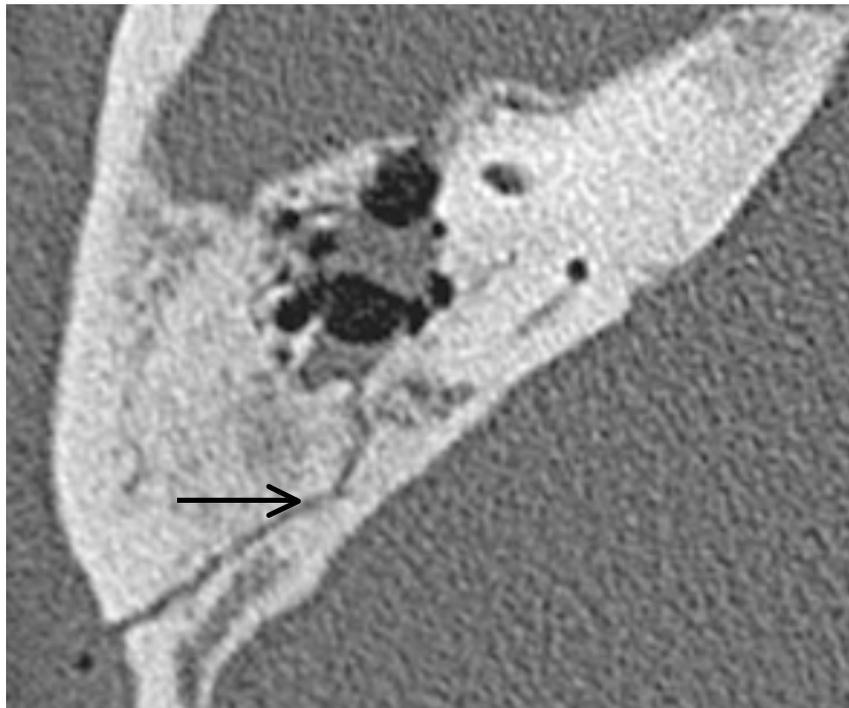
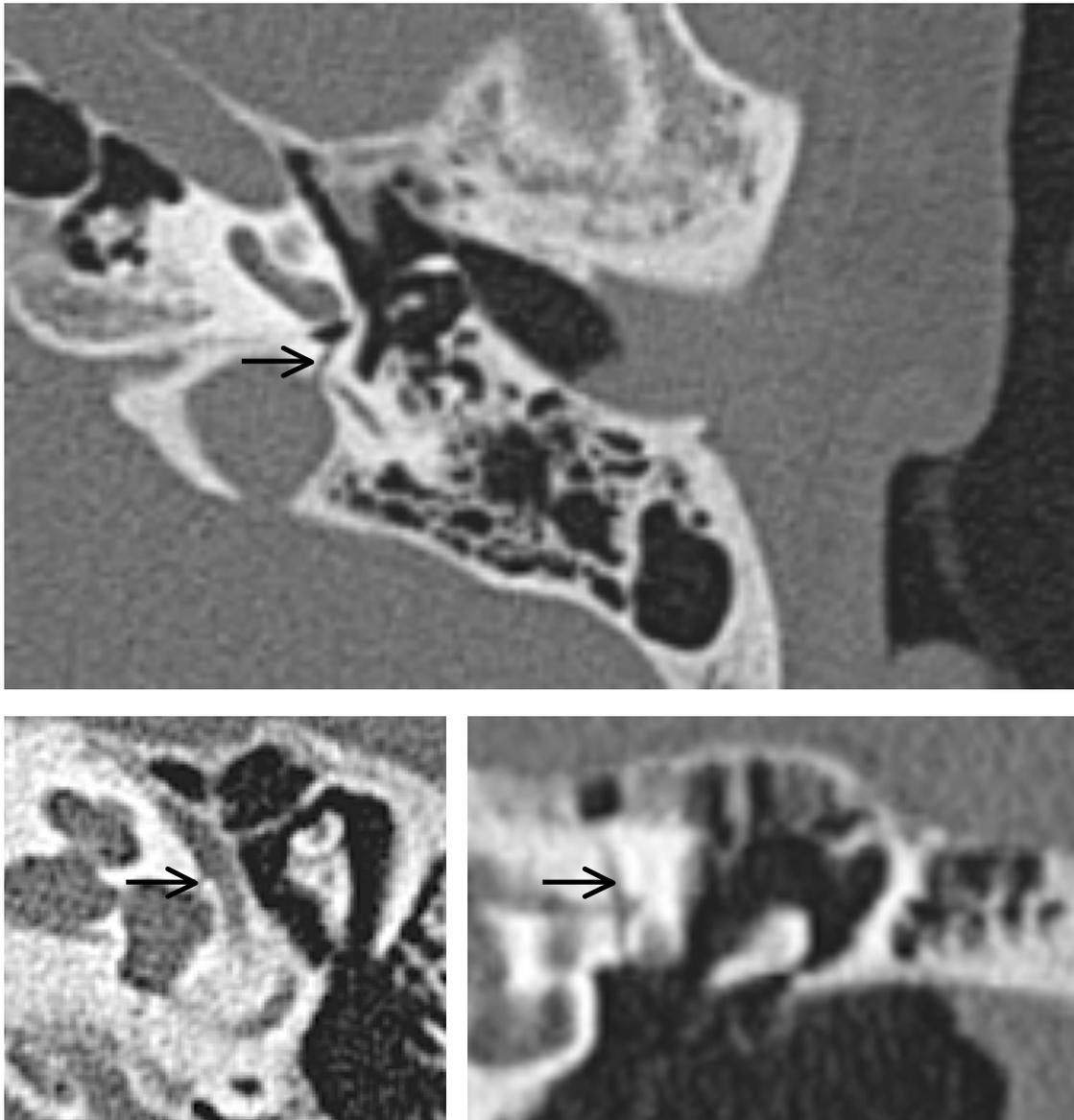


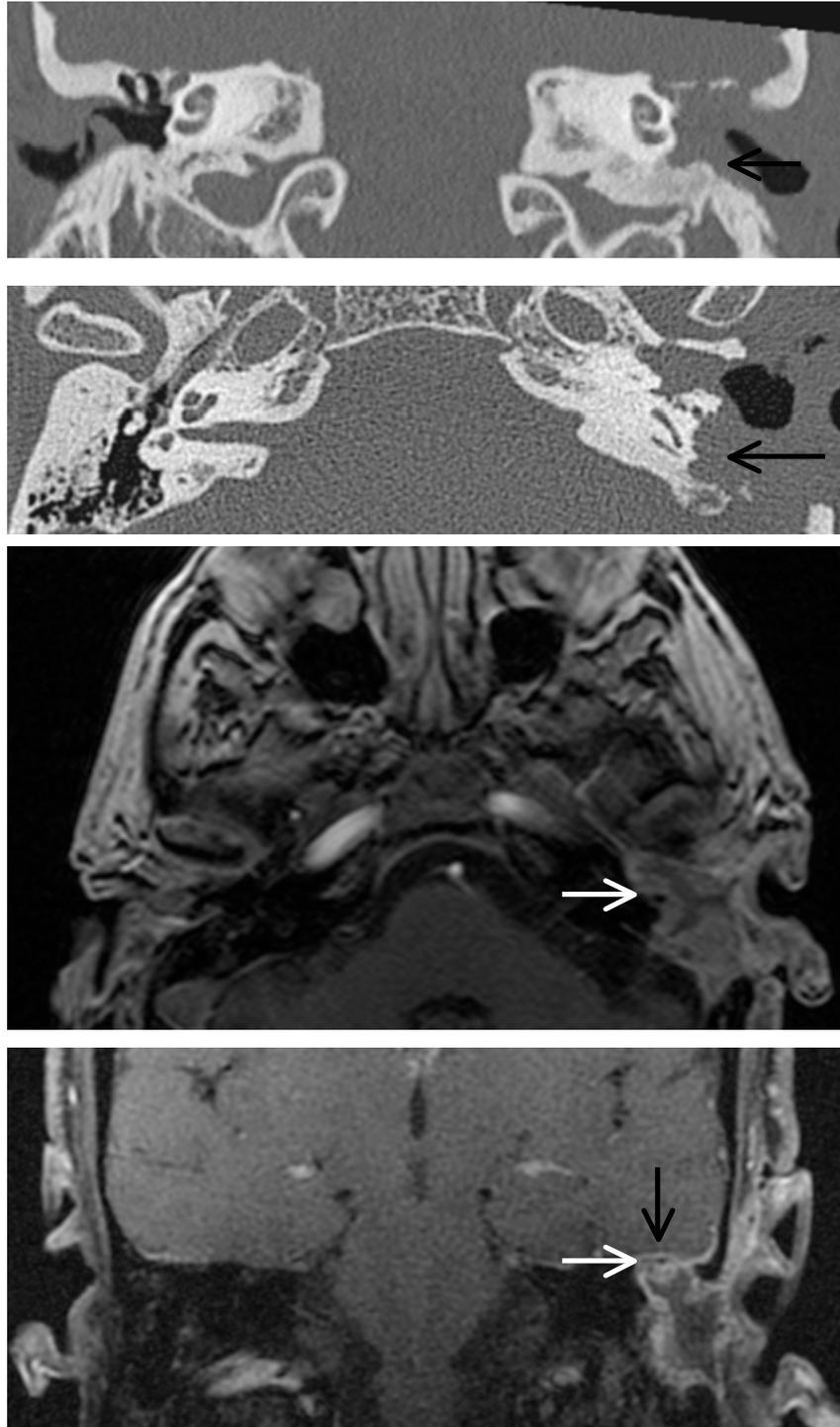
Fig. 164. Imagen de TC, plano axial, donde apreciamos un trazo de fractura que sigue el eje del peñasco (flecha), compatible con fractura longitudinal. También existe ocupación, por masa de partes blandas, de la caja timpánica.



Figs. 165, 166 y 167. Imágenes de TC, plano axial (imagen superior y derecha) y coronal (imagen inferior izquierda), donde se observa un trazo de fractura perpendicular al eje mayor del peñasco, compatible con fractura transversal (flechas) a través de las estructuras del oído interno.

6.3.4 LESIONES NEOPLÁSICAS

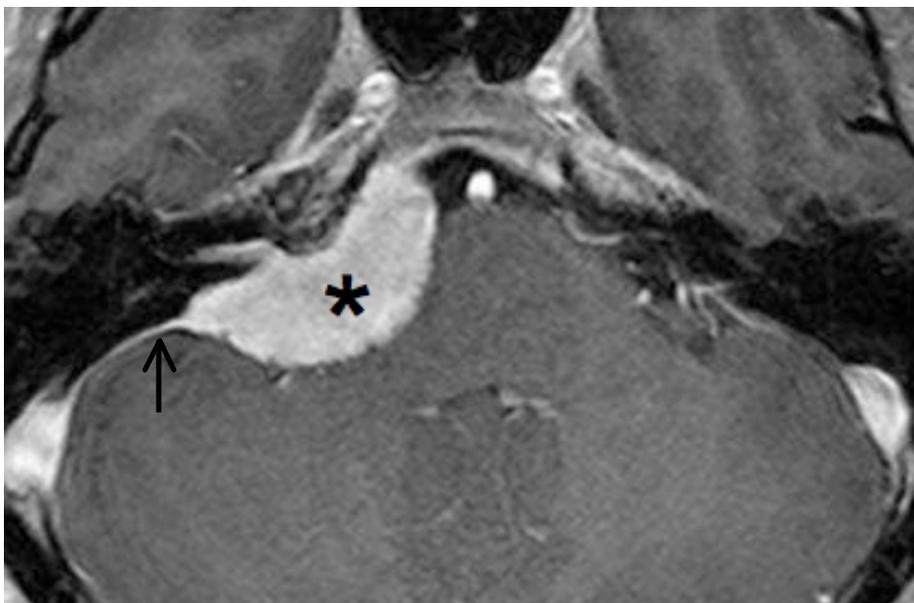
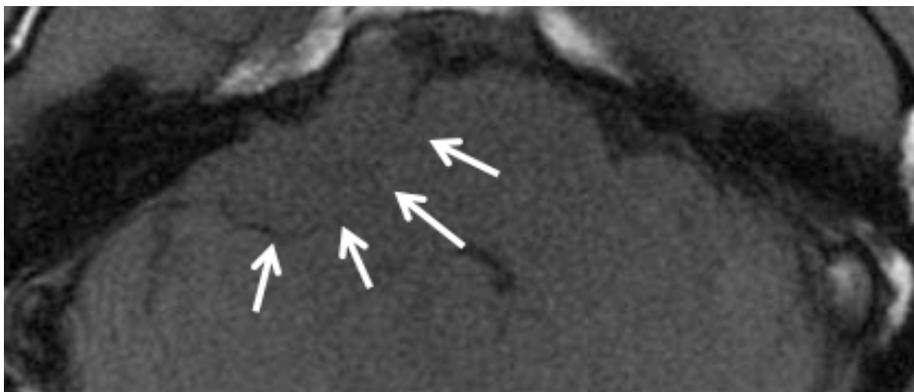
En este apartado vamos a ilustrar el carcinoma epidermoide (figs. 168-171), por ser la neoplasia maligna más frecuente en el hueso temporal, y las lesiones del ángulo pontocerebeloso, siendo el meningioma y el neurinoma del VIII nervio craneal las más frecuentes y que presentan un patrón de crecimiento benigno.



Figs. 168, 169, 170 y 171. Imágenes de TC, plano coronal y axial (primera y segunda imagen) e imágenes de RM potenciadas en secuencia T1, plano axial y coronal, con gadolinio (tercera y cuarta), de un paciente con un carcinoma epidermoide. En las imágenes de TC se observa una gran destrucción ósea con pérdida de la estructura normal de la caja timpánica (fechas) y con erosión del *tegmen tympani*. En las imágenes de RM apreciamos una gran masa de partes blandas con intenso realce (flechas blancas) que se extiende en la caja timpánica, existiendo invasión de la fosa cerebral media con afectación meníngea (flecha negra). Este es un ejemplo del empleo conjunto de TC y RM para la valoración de la patología en la vía auditiva, visualizando las alteraciones óseas en la TC y la valoración de partes blandas con RM.

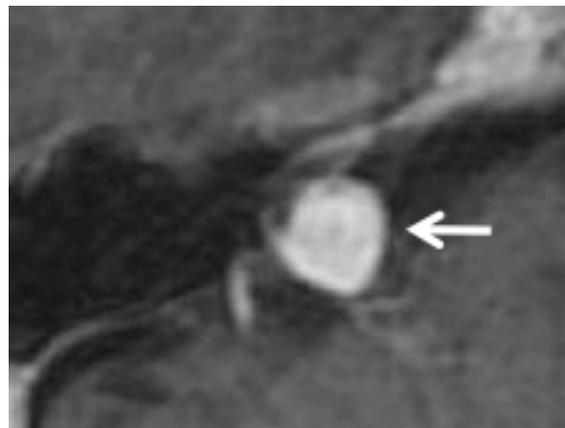
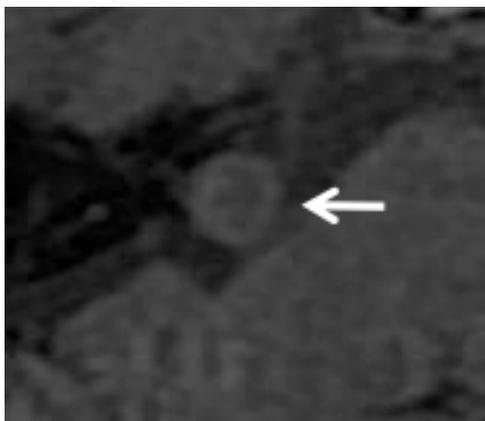
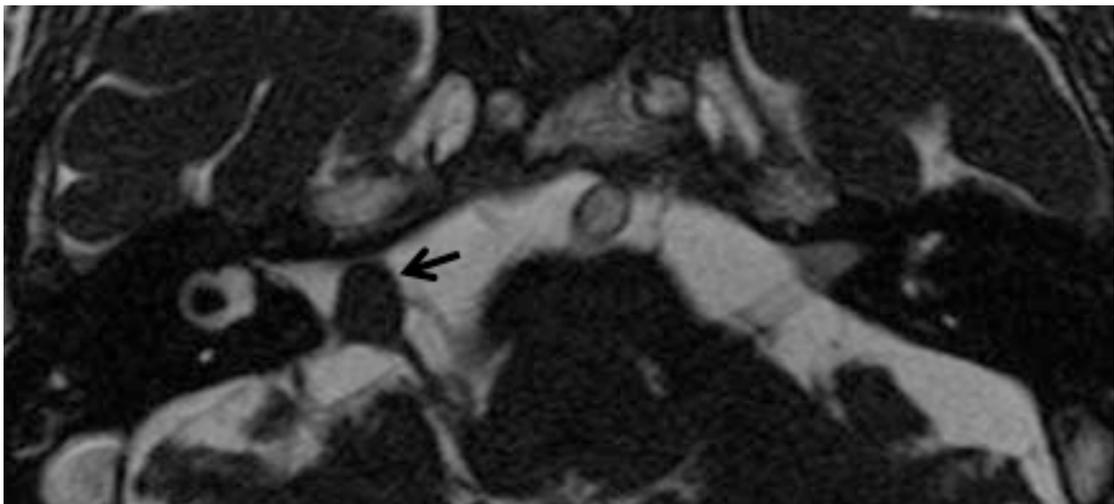
Vamos a ilustrar las lesiones del ángulo pontocerebeloso mas frecuentes y describiremos el resto de lesiones que se presentan con menor frecuencia.

Meningiomas: Son masas que se originan en las células aracnoideas meningoteliales, la mayoría presentan características benignas. Son lesiones redondeadas, bien definidas con presencia de cola dural y con intensa captación tras la inyección de contraste (figs. 172 y 173). La mayoría son un hallazgo incidental y predominan en el sexo femenino.



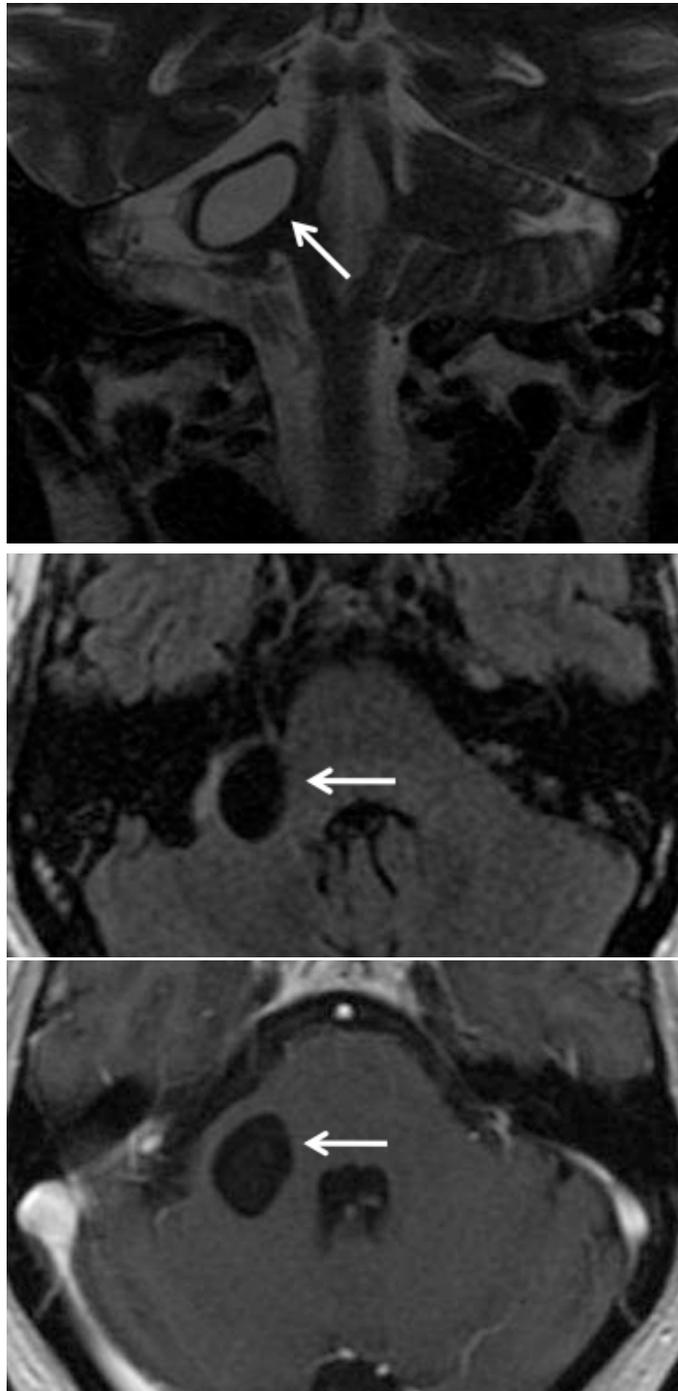
Figs. 172 y 173. Imágenes de RM en el plano axial potenciadas en secuencia T1 sin (superior) y con contraste (inferior), donde apreciamos una lesión localizada en el ángulo pontocerebeloso derecho (flechas blancas), que presenta bordes lisos con implantación y cola dural (flecha negra), la lesión presenta un intenso realce homogéneo (asterisco).

Neurinomas: El nervio craneal más afectado es el VIII o vestibulococlear. En la TC podemos observar un ensanchamiento del CAI por el crecimiento de la lesión, aunque la técnica de elección para su estudio es la RM. En la RM suelen ser lesiones isointensas o hipointensas en secuencias potenciadas en T1 y, tras la administración de contraste muestran intensa captación (figs. 174-176).



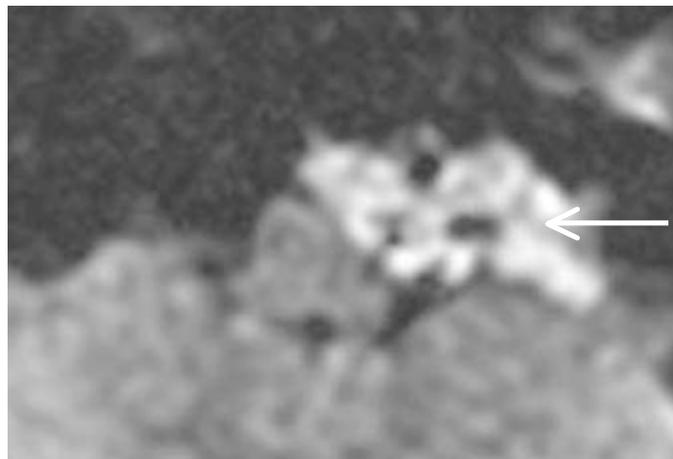
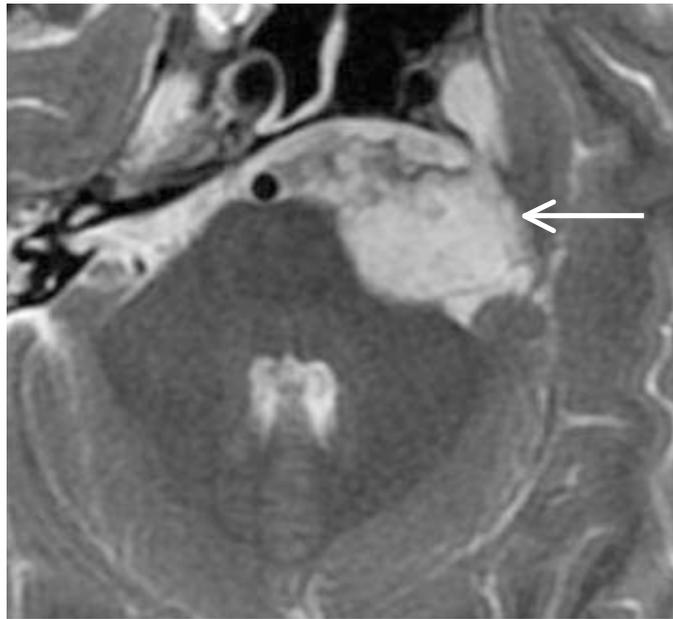
Figs. 174, 175 y 176. Imágenes de RM en el plano axial, secuencias 3D FIESTA (superior) y secuencias potenciadas en T1 sin y con contraste (inferior). Se aprecia una masa hipointensa de bordes bien definidos y que sigue el eje del VIII nervio craneal; tras la administración de gadolinio presenta intensa captación, compatible con neurinoma.

Quiste aracnoideo: Son colecciones de líquido cefalorraquídeo que se desarrollan entre las capas de la membrana aracnoidea. Pueden comprimir estructuras adyacentes si su tamaño es considerable (figs. 177-179).



Figs. 177, 178 y 179. Imágenes de RM, en el plano coronal, potenciada en T2 (imagen superior), en el plano axial, T1 (imagen central) y T1 con contraste (imagen inferior), donde apreciamos una formación (flechas) localizada en el ángulo pontocerebeloso, bien delimitada y de bordes lisos, hiperintensa en T2, hipointensa en T1 y sin captación de contraste tras la administración del mismo.

Quiste epidermoide: Es el tercer tumor más frecuente en el ángulo pontocerebeloso. Se origina a partir de la inclusión de células epiteliales durante el cierre del tubo neural. Su crecimiento se debe a la acumulación de queratina y colesterol. Tiene un lento crecimiento englobando y desplazando estructuras adyacentes (figs. 180 y 181).



Figs. 180 y 181. Imágenes de RM en el plano axial, secuencia potenciada en T2 (imagen superior) y difusión (imagen inferior), donde apreciamos un quiste epidermoide (flechas) en el ángulo pontocerebeloso. En secuencia potenciada en T2 se muestra hiperintenso, similar al líquido cefalorraquídeo, muy parecido al quiste aracnoideo, aunque presenta alguna zona heterogénea y es hiperintenso en difusión, características que lo diferencian del quiste aracnoideo con el que hay que hacer el diagnóstico diferencial.

En las siguientes tablas (tablas 4-7) se resumen las diferentes lesiones que afectan al ángulo pontocerebeloso.

Tabla 4. Comportamiento en RM de lesiones cisternales cerebelopontinas.

| | SEÑAL EN T1 | SEÑAL EN T2 | CAPTACIÓN | HALLAZGOS |
|--------------------|--------------|----------------------------|-----------|--|
| QUISTE EPIDERMÓIDE | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | NO | HIPERINTENSO EN DWI |
| TUMOR DERMOIDE | HIPERINTENSO | HIPOINTENSO | NO | GRASA Y CALCIFICACIONES NIVELES LÍQUIDO GRASA |
| QUISTE ARACNOIDEO | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | NO | HIPOINTENSO EN DWI ISOINTENSO CON EL LCR |
| LIPOMA | HIPERINTENSO | ISOINTENSO CON LA GRASA | NO | MISMO COMPORTAMIENTO QUE LA GRASA SUBCUTÁNEA EN TODAS LAS SECUENCIAS |
| SCHWANOMA | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | SI | SIGUE EL CURSO ANATÓMICO DEL NERVIO |
| ANEURISMA | HIPOINTENSO | HIPOINTENSO | VARIABLE | LESIÓN HIPOINTENSA BIEN DEFINIDA EN IMÁGENES POTENCIADAS EN T2 |
| MELANOMA | HIPERINTENSO | VARIABLE | SI | LESIÓN HIPERINTENSA EN IMÁGENES POTENCIADAS EN T1 |
| SARCOIDOSIS | HIPOINTENSO | VARIABLE | SI | PREFERENTEMENTE HIPOINTENSA EN IMÁGENES POTENCIADAS EN T2 |

Tabla 5. Comportamiento en RM de lesiones intraaxiales e intraventriculares que invaden el ángulo pontocerebeloso.

| | SEÑAL EN T1 | SEÑAL EN T2 | CAPTACIÓN | HALLAZGOS |
|---------------------------------|-------------|--------------|-----------|---|
| GLIOMA | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | VARIABLE | EMERGE DEL TRONCO DEL ENCÉFALO |
| PAPILOMA DE PLEXOS COROIDEOS | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | INTENSO | SE EXTIENDE DESDE EL FORAMEN DE LUSCHCKA |
| LINFOMA | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | SI | EDEMA. CONTEXTO DE INMUNODEFICIENCIA |
| HEMANGIOBLASTOMA | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | INTENSO | POSIBLE COMPONENTE QUÍSTICO. ENFERMEDAD DE VON HIPPLE-LINDAU |
| EPENDIMOMA | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | SI | IRREGULAR HETEROGÉNEO |
| MEDULOBLASTOMA | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | SI | NACE DE HEMISFERIO CEREBELOSO |
| DNET | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | SI | COMPONENTE QUÍSTICO EROSIÓN ÓSEA |

Tabla 6. Comportamiento en RM de las lesiones cerebelopontinas derivadas de la base craneal.

| | SEÑAL EN T1 | SEÑAL EN T2 | CAPTACIÓN | HALLAZGOS |
|------------------------------|--------------|--------------|-----------|---|
| GRANULOMA DE COLESTEROL | HIPERINTENSO | HIPERINTENSO | NO | ANILLO HIPOINTENSO EN T1 Y T2 |
| PARAGANGLIOMA | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | SI | APARIENCIA EN SAL Y PIMIENTA |
| TUMOR CONDRAL | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | VARIABLE | SE ORIGINA DE UNA SINCONDROSIS |
| CORDOMA | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | SI | SEPTOS INTRATUMORALES |
| TUMOR DEL SACO ENDOLINFÁTICO | VARIABLE | HIPERINTENSO | SI | PRESENCIA DE QUISTES HIPERINTENSOS EN T1 Y T2 |
| PETROSITIS APICAL | HIPOINTENSO | HIPERINTENSO | SI | HISTORIA DE OTITIS MEDIA |

Tabla 7. Cuadro resumen de las lesiones que afectan al ángulo pontocerebeloso, según su origen, realce y localización.

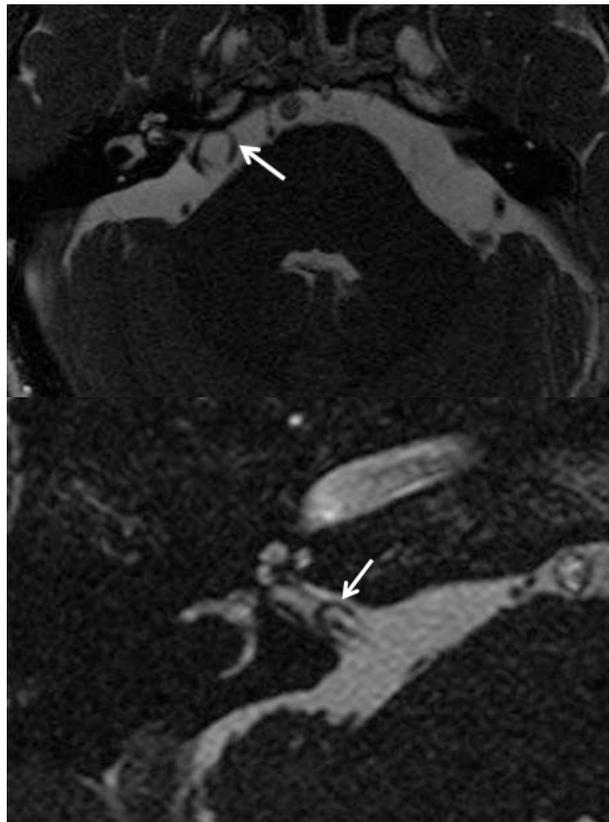
| LESIONES DEL ÁNGULO PONTOCEREBELOSO | | | | |
|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| REALZAN | | | NO REALZAN | |
| EXTRAAXIAL | INTRAAXIAL- INTRAVENTRICULAR | BASE CRANEAL | ALTA SEÑAL T1 | BAJA SEÑAL T1 |
| Schwanoma trigeminal | Linfoma | Paraganglioma | | |
| Schwanoma facial | Glioma | T. Condrales | Lipoma | Quiste epidermoide |
| Sch varios nervios (foramen yugular) | Metástasis | Cordoma | Quiste dermoide | Quiste aracnoideo |
| Schwanoma vestibular | Hemangioblastoma | Tumor saco endolinfático | Quiste neuroentérico | Cisticercosis |
| Metástasis | Meduloblastoma | | | |
| Melanoma | Papiloma | | | |
| Sarcoidosis | Ependimoma | | Granuloma de colesterol | |
| Meningioma | DNET | | | |
| Tuberculosis | | | | |
| Erdheim-Chester | | | | |
| Aneurisma | | | | |

Nervios - Meninges – Arterias – Ventrículos-Cerebelo - Base craneal – Cisternas

6.3.5 ALTERACIONES VASCULARES

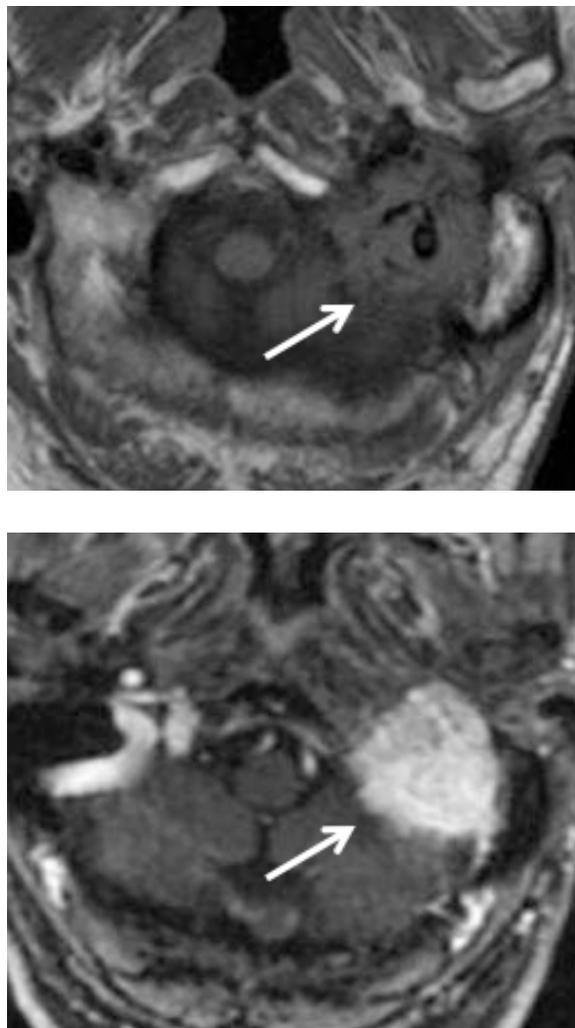
Las alteraciones vasculares que van a producir clínica auditiva, principalmente tinnitus pulsátil o no pulsátil, incluyen cruces neurovasculares, bulbo yugular prominente y glomus yugular; otras alteraciones vasculares que podemos encontrar de manera incidental son los cavernomas y angiomas venosos.

Cruces neurovasculares: Es una entidad frecuente en los estudios de neuroimagen, son cruces entre estructuras vasculares y nerviosas de etiología benigna, pero debido al contacto directo entre estas estructuras, pueden producir sintomatología neurológica. Es necesario reportarlas en el informe radiológico para descartar otras etiologías de mayor valor patológico (figs. 182 y 183).



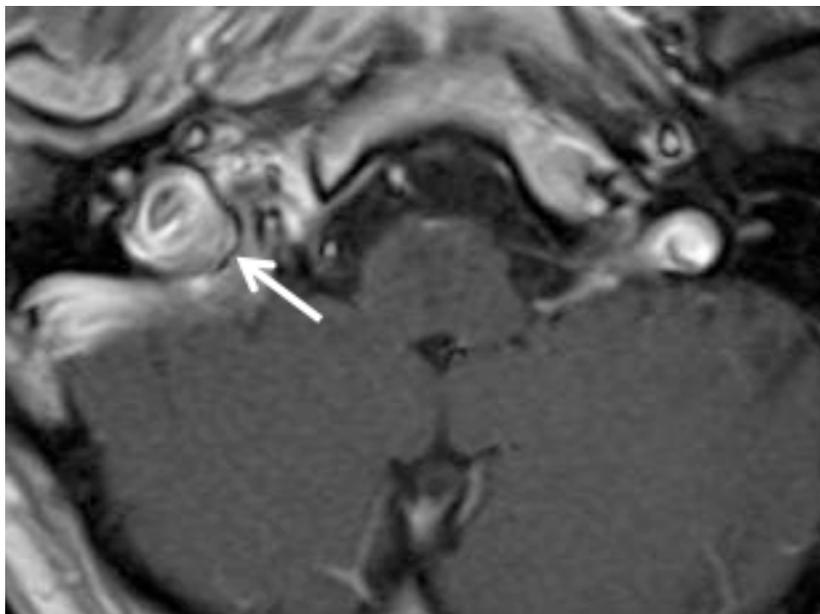
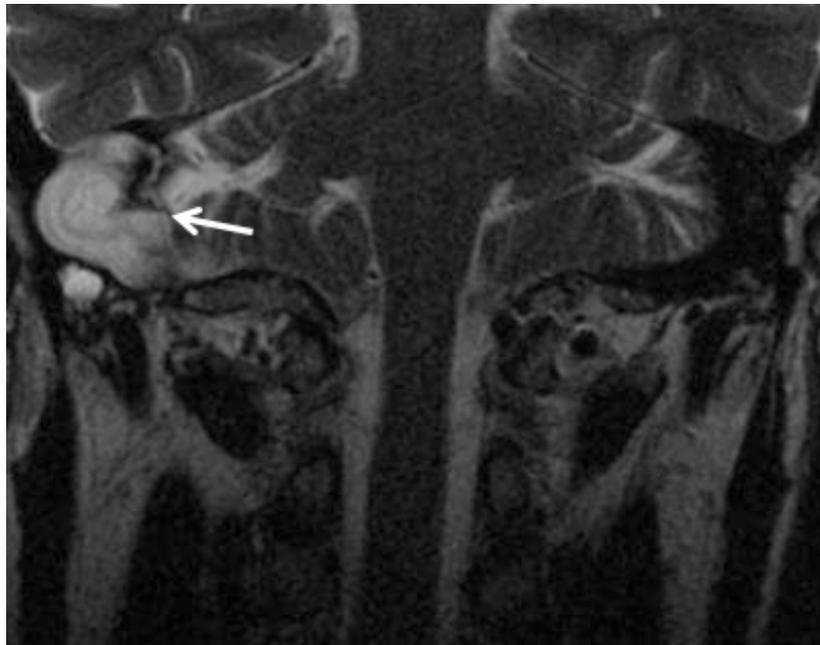
Figs. 182 y 183. Imágenes de RM en el plano axial con secuencia potenciada en 3D FIESTA, donde apreciamos un bucle vascular (flechas) que engloba el paquete facioestatoacústico a nivel del conducto auditivo interno. La estructura implicada suele ser la arteria cerebelosa anteroinferior.

Paragangliomas: Son tumores generalmente benignos altamente vascularizados, que se originan a partir de las células de la cresta neural embrionaria que se ubican a lo largo de arterias y nervios craneales de los arcos branquiales. La mayoría se ubican en la glándula suprarrenal y solo un pequeño porcentaje lo hace en la región de cabeza y cuello. La TCMD es la técnica de elección en paragangliomas de pequeño tamaño, como los paragangliomas timpánicos. En otras localizaciones la RM se muestra superior y permite analizar las relaciones con las estructuras adyacentes. Ambas técnicas se complementan en la afectación de la base del cráneo (figs. 184 y 185).



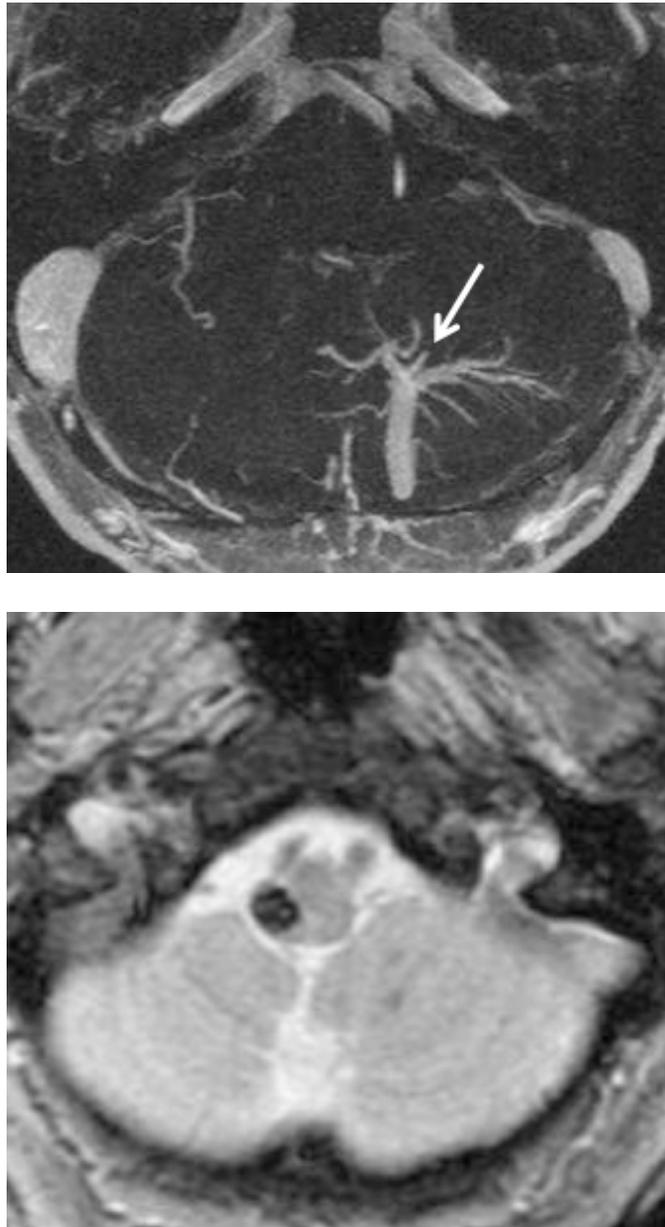
Figs. 184 y 185. Imágenes de RM en el plano axial, secuencia potenciada en T1 sin (imagen superior) y con gadolinio (imagen inferior), donde se visualiza una lesión a nivel del agujero rasgado posterior y extensión a estructuras del oído medio, y que muestra importante realce tras administración de contraste (flechas). Hallazgos radiológicos compatibles con paraganglioma yugular.

Megagolfo de la yugular: Es una variante anatómica donde existe una yugular prominente y alta y, que puede producir acúfenos en el paciente (figs. 186 y 187).

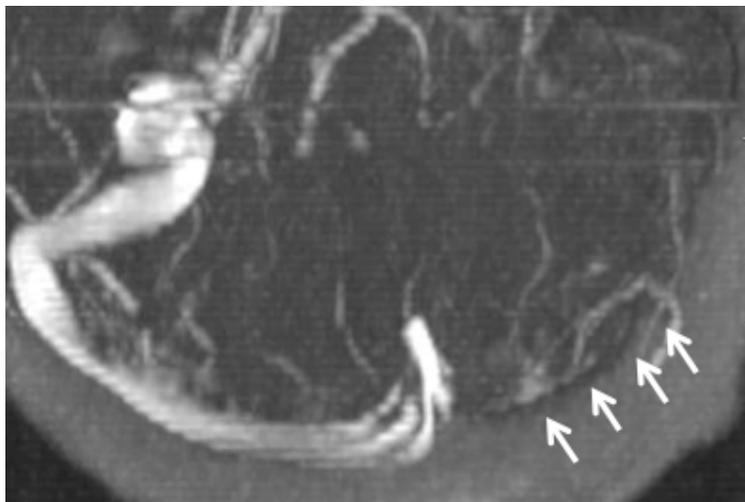
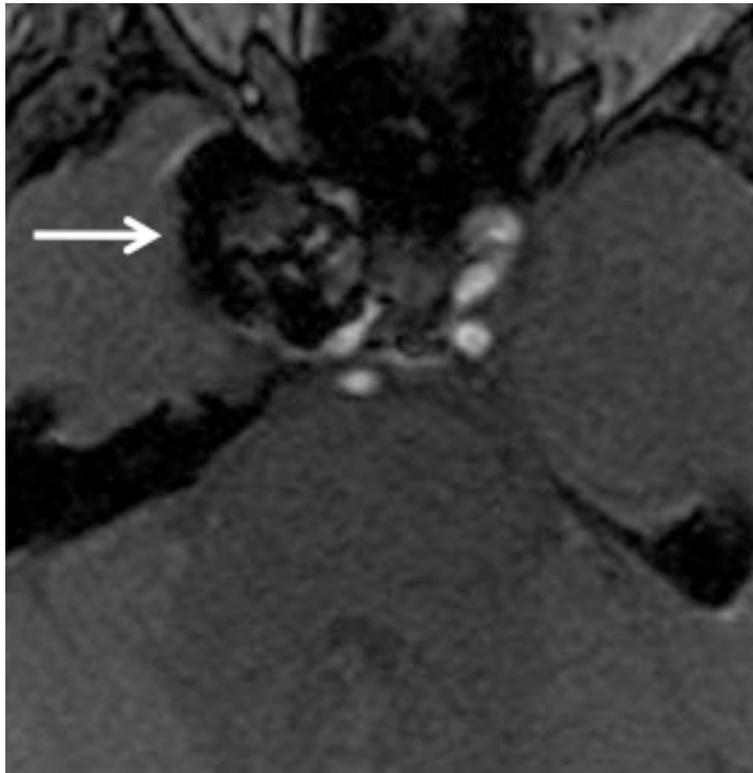


Figs. 186 y 187. Imágenes de RM potenciada en T2 en el plano coronal (imagen superior) y potenciada en T1 con gadolinio en el plano axial (imagen inferior), donde apreciamos un bulbo de la yugular prominente y alto (flechas) en un paciente con clínica de acufenos.

Otras alteraciones vasculares: No podemos dejar de considerar a los angiomas venosos y cavernomas, que en algunos casos pueden ir asociados (figs. 188 y 189). También, aunque menos frecuentes, hay que tener en cuenta la existencia de aneurismas (fig. 190) y las trombosis vasculares, como la del seno transversal (fig. 191).



Figs. 188 y 189. Imágenes de RM, angio RM venoso (superior) y secuencia potenciada en gradiente en el plano axial (inferior). En la imagen superior apreciamos una alteración vascular compatible con angioma venoso (flecha). En la imagen inferior apreciamos una formación redondeada, con ausencia de señal, centrada en el tronco del encéfalo, compatible con cavernoma. Dichas lesiones pueden ir asociadas en determinados síndromes y pueden producir alteraciones auditivas dada su localización.



Figs. 190 y 191. Imágenes de RM, secuencia potenciada en T1 con gadolinio en el plano axial (superior) y angio RM venoso (inferior). En la imagen superior se aprecia un aneurisma de la arteria carótida interna (flecha) trombosado en su totalidad en un paciente con acufeno derecho de larga evolución. En la imagen inferior se aprecia un amplio defecto de llenado del seno transversal izquierdo.

DISCUSIÓN

7. DISCUSIÓN

El desarrollo de las técnicas de imagen, fundamentalmente a partir de los años 80, ha permitido una gran evolución en el campo del diagnóstico por la imagen, beneficiando por ende a todas y cada una de las especialidades médico-quirúrgicas, siendo fundamentales para la toma de decisiones en la actividad médica.

A priori, esta gran evolución puede hacernos pensar que la complejidad del acto médico puede haberse incrementado, pero en realidad lo que se ha conseguido es una mayor especialización y subespecialización de todos los campos de la medicina, también en el ámbito que presentamos en el trabajo, la radiología, que se ha ido diferenciando en diversos apartados para satisfacer las necesidades de los diferentes especialistas y así mejorar el acto médico.

Los avances en el diagnóstico por imagen han afectado de manera importante a todas las especialidades relacionadas con la neurorradiología, fundamentalmente neurología, neurocirugía y en el caso de este trabajo incluimos también la especialidad de otorrinolaringología por dedicarse al estudio de la vía auditiva.

La rápida evolución en el campo del diagnóstico por la imagen nos obliga a un constante reciclaje, no solo del especialista en diagnóstico por imagen, sino también de los diferentes especialistas, ya que el enfoque terapéutico también se ha ido modificando. Es por ello, que es necesaria una formación constante para adecuarnos a las necesidades que se van originando con la aparición de nuevas técnicas, siendo imprescindible la actuación multidisciplinar entre las diversas especialidades y que tiene su mayor representación en los comités hospitalarios donde las pruebas de neuroimagen adquieren su mayor protagonismo (CROVETTO y cols., 1996; ALGABA y cols., 1998; CROVETTO DE LA TORRE y cols., 2002; SOM y CURTIN, 2004; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

Todo esto, va encaminado a reducir la morbi-mortalidad de los pacientes, ya que las diferentes pruebas de neuroimagen van a permitir tomar, en cada momento, la decisión más adecuada en cada caso, evitando la realización de procedimientos invasivos y agresivos, siempre intentando causar el menor daño al paciente (BORRAS, 2006).

El hueso temporal, que engloba los componentes más importantes de la vía auditiva, muestra una compleja anatomía, caracterizada por comprender múltiples estructuras de pequeño tamaño, dentro de un área relativamente compacta; además, estas estructuras muestran una orientación multiespacial compleja y una intrincada relación de las mismas. Todo ello condiciona una evaluación de esta región muy dificultosa.

Dentro de esta anatomía tan compleja existen múltiples orificios que establecen una importante interrelación entre las estructuras adyacentes, como la caja del tímpano, el conducto auditivo interno y el conducto auditivo externo. Es por ello que, fundamentalmente, en el estudio de la vía auditiva, las técnicas de neuroimagen empleadas incluyen la tomografía computarizada y la resonancia magnética, con sus estudios vasculares, si son necesarios, tanto angio-TC como angio-RM (LAINE y cols., 1990; LUSTRIN y cols., 1994; DAVIDSON, 2002; SOM y CURTIN, 2004; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

El objetivo principal de este trabajo fue estudiar todos y cada uno de los componentes que conforman la vía auditiva así como las estructuras adyacentes, mediante diversas técnicas de neuroimagen y así ofrecer una visión actualizada y completa de las diferentes partes del oído.

Podemos afirmar que, en la actualidad, poseemos herramientas de alto valor diagnóstico para el estudio de la vía auditiva, con las limitaciones que se comentarán posteriormente.

Hasta la fecha, y después de revisar la abundante bibliografía, hay que reseñar que las publicaciones sobre la vía auditiva, si bien son abundantes, únicamente se centran en aspectos patológicos enfocados hacia una entidad. Los estudios que se refieren a los aspectos anatómicos de la vía auditiva son escasos y la mayoría están desactualizados, por lo que no se muestra el potencial de las actuales técnicas de neuroimagen. Por otro lado, tampoco hemos encontrado en la literatura ninguna publicación que aúne en el mismo estudio ambas técnicas diagnósticas, tomografía computarizada y resonancia magnética, por lo que nos pareció de gran interés sumar las ventajas de cada una de ellas por separado, para incrementar el impacto clínico que ambas pruebas, de manera conjunta, puedan aportar en la toma de decisiones en la práctica clínica habitual. Finalmente, hacemos una revisión de las ventajas y desventajas de cada una de ellas en el estudio de los diferentes componentes de la vía auditiva, mostrando de la forma más detallada posible la anatomía radiológica a diferentes niveles.

El empleo de la tomografía computarizada, en nuestro trabajo, ha abarcado, prácticamente, todas las partes de la vía auditiva, ya que el componente óseo del hueso temporal engloba tanto al oído externo, oído medio y oído interno. La tomografía computarizada permite la visualización de los detalles anatómicos de los componentes óseos; es la técnica de elección ya que es un método rápido, no invasivo, económico y de alta disponibilidad, además de su alta sensibilidad para caracterizar la anatomía normal y patológica. Permite hacer reconstrucciones en los tres planos del espacio y, posteriormente, reconstrucciones en tres dimensiones como comentaremos más adelante. No hemos empleado de rutina el contraste intravenoso para el estudio de la patología de la vía auditiva, únicamente en los casos que necesitábamos visualizar el componente vascular o para valorar algunas lesiones muy específicas.

La visualización de los diferentes elementos óseos, mediante tomografía computarizada, se realiza utilizando de manera preferente determinados planos que comentaremos a continuación.

El oído externo se visualiza tanto en el plano axial como en el coronal, donde apreciamos la forma de “S” itálica del conducto auditivo externo, tanto su porción ósea como fibrocartilaginosa.

En el oído medio tenemos que distinguir, principalmente entre dos partes: el continente, la caja del tímpano y; el contenido, incluyendo la cadena de huesecillos y sus ligamentos.

Los detalles de las diferentes paredes que conforman el oído medio se evalúan adecuadamente en el plano axial, a excepción de la ventana oval en la pared medial, donde es recomendable emplear el plano coronal debido a su mayor extensión anteroposterior, que dificulta la visualización axial. También es recomendable el plano coronal para la valoración de la pared superior e inferior, que nos permite visualizar, de manera adecuada, la existencia de dehiscencias de la pared ósea.

En cuanto a la cadena de huesecillos, hemos empleado planos dobles oblicuos, de forma que en el caso del martillo obtuvimos un plano doble oblicuo coronal a partir de un corte axial a 150° y otro sagital a 85°; en el caso del yunque, de la misma manera, obtuvimos un plano doble oblicuo coronal a partir de un corte axial a 150° y otro sagital a 60°; y en el caso del estribo un plano doble oblicuo sagital a partir de un corte axial a 60° y otro coronal a 120°, coincidiendo con los resultados de la bibliografía seleccionada. De esta manera, los planos dobles oblicuos nos aportan una información óptima para la visualización de la cadena osicular, difícil de valorar en el plano axial dada su orientación multiespacial (RODT y cols., 2002; SOM y CURTIN, 2004; FATTERPEKAR y cols., 2006; LANE y cols., 2006; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

En nuestro estudio, únicamente, se consiguieron visualizar los ligamentos maleolar superior en el 76% de los estudios y el maleolar lateral en el 80% de los mismos. Ambos ligamentos se visualizan en el plano coronal. Nuestros

resultados quedan un poco alejados de los publicados en la bibliografía revisada, al igual que existen otros ligamentos que no se visualizan, probablemente debido a la falta de resolución de la tomografía computarizada. Podemos afirmar que los ligamentos maleolares son de mejor visualización que los incudales, siendo el ligamento maleolar lateral el que se aprecia con mayor facilidad. La bibliografía revisada determina que en la mayor parte de estudios no es posible visualizar la totalidad de los ligamentos y concluyen que una visualización “demasiado buena” de estas estructuras en la tomografía computarizada de alta resolución, suele traducir la existencia de patología, como la presencia de calcificaciones que disminuyen la movilidad natural de la cadena de huesecillos y, por tanto, son causa de sordera de conducción (LEMMERLIN y cols., 1997).

Como hemos comentado, la existencia de líquido en el interior de las estructuras del oído interno permite una adecuada visualización de las mismas debido al contraste del agua sobre las estructuras sólidas; de manera que el empleo de secuencias fuertemente potenciadas en T2, nos permite una adecuada visualización del laberinto membranoso; motivo por el que el papel de la resonancia magnética es tan importante en la valoración del oído interno.

No podemos pasar por alto que nos encontramos en el seno del hueso temporal y, por tanto, el papel de la tomografía computarizada es clave para la valoración de los elementos óseos, como comentaremos a continuación.

La cóclea posee un eje largo con cierta inclinación lateroinferior, por ello no se aprecia adecuadamente en planos coronales o axiales estrictos, de manera que la técnica de dobles oblicuos nos va a permitir la visualización del eje corto y del eje largo de la cóclea con doble oblicua coronal y el plano sagital, respectivamente.

El acueducto vestibular se aprecia de forma óptima mediante una proyección de Pöschl modificada, que consiste en obtener las imágenes sagitales a 45° en el sentido del eje largo de la cóclea.

Los canales semicirculares son perfectamente ortogonales entre ellos, de manera que la técnica de dobles oblicuos nos va a dar información sobre los mismos, siendo el canal semicircular superior el más afectado por patología, por lo que para su visualización se adopta la proyección de Pöschl. El canal semicircular lateral se visualiza prácticamente en su totalidad en el plano axial.

El vestíbulo lo apreciamos adecuadamente en los tres planos del espacio, siendo la técnica de dobles oblicuos la que nos permite una mejor valoración de toda su extensión.

El recorrido del nervio facial lo hemos realizado en los planos axiales y coronales, siendo los primeros los más adecuados para las dos primeras porciones del facial y dejando el plano coronal para la tercera porción. Podemos emplear la técnica de dobles oblicuos para apreciar, en una imagen, la segunda y tercera porción unidas por su rodilla (SOM y CURTIN, 2004; SAREMI y cols., 2005; DE FOER y cols., 2006; GROSMANN y YOUSEM, 2007; DE FOER y cols., 2008; DEL CURA y cols., 2009; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

En nuestro trabajo hemos empleado reconstrucciones volumétricas en 3D para obtener imágenes del peñasco desde diferentes ángulos, así como de las paredes del conducto auditivo externo. También conseguimos aislar por completo el martillo y el yunque, con más interés en este último, puesto que es más complejo de apreciar con la técnica de dobles oblicuos. La anatomía del martillo se consigue apreciar correctamente con la técnica de dobles oblicuos, como observamos en el apartado de resultados. Tras muchos intentos no conseguimos aislar el estribo, debido a su menor tamaño y a la falta de resolución de la tomografía computarizada; sin embargo en la bibliografía revisada, hemos

comprobado la visualización del mismo, probablemente por el empleo de un aparato de tomografía computarizada de mayor calidad.

En los últimos años, el empleo de las técnicas de reformato en 3D han visto aumentadas sus posibilidades debido al desarrollo del software. Este tipo de reconstrucciones nos ayudan a entender la compleja anatomía del hueso temporal y permiten realizar disecciones de varias zonas, incluso de los elementos más pequeños, como son la cadena de huesecillos. Por lo que esta técnica demuestra su utilidad en el diagnóstico radiológico, planificación quirúrgica y como instrumento docente. De forma que una combinación de las clásicas imágenes en 2D con las imágenes en 3D permiten una adecuada referencia a la hora de abordar determinadas zonas de la vía auditiva (CHAKERES y SPIEGEL, 1984; GREEN y cols., 1990; RODT y cols., 2002; SOM y CURTIN, 2004; LORENZ, 2005; BARTON y BRANSTETTER, 2006; FATTERPEKAR y cols., 2006; LANE y cols., 2006; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

En cuanto a las limitaciones para obtener imágenes en 3D, nos hemos encontrado con un aumento del tiempo de trabajo a la hora de obtener dichas imágenes, debido a que es necesario un tiempo de aprendizaje para sacarle el máximo partido al software, si bien es cierto que cada casa comercial tiene un software distinto, existiendo algunos programas más intuitivos que otros en su manejo. Otra limitación que nos hemos encontrado ha sido la dificultad para el estudio de determinados elementos, como el estribo, que ya hemos comentado, y que, fundamentalmente, se debe a la falta de resolución de la tomografía computarizada.

La mayoría de autores consideran la resonancia magnética el “gold standard” para el correcto estudio de los nervios craneales.

Las secuencias tradicionales de RM, no permiten identificar el trayecto de los nervios craneales, VII y VIII, en el interior del conducto auditivo. Para ello se ha

comprobado que empleando secuencias potenciadas en T2 con alta resolución espacial, en nuestro caso la secuencia 3D FIESTA (Fast Imaging Employing Steady-State Acquisition), nos aportan una alta resolución espacial y, debido a su alta potenciación en T2, ofrece un contraste excelente entre los líquidos y las partes blandas. En el caso del conducto auditivo interno, el contraste se obtiene a partir del líquido cefalorraquídeo y, en el caso de las estructuras del oído interno, a partir del líquido endolinfático y perilinfático, lo que nos permite visualizar el laberinto membranoso del oído interno. Los nervios craneales, en el conducto auditivo interno, se aprecian como estructuras lineales hipointensas rodeadas por líquido, definiendo adecuadamente sus contornos. Los vasos a nivel de la cisterna del ángulo pontocerebeloso se visualizan de la misma manera, por lo que podemos apreciar algún bucle vascular a ese nivel.

Por lo tanto, en nuestro trabajo, al igual que los autores mencionados, coincidimos en el empleo de estas secuencias, 3D FIESTA (General Electric), 3D CISS (Siemens) o 3D-bFFE (Philips), como las idóneas para la correcta identificación del trayecto de los nervios craneales en el conducto auditivo interno y su trayecto cisternal, por el elevado contraste con el líquido cefalorraquídeo ya comentado (YOUSRY y cols., 2000; YOSHINO y cols., 2003; SOM y CURTIN, 2004; BORGES y CASSELMAN, 2010; GORRIÑO y cols., 2010).

La valoración de las estaciones de la vía auditiva a nivel del tronco del encéfalo la hemos realizado mediante imágenes de RM de 7 Teslas. Respecto a los imanes de RM empleados en la práctica clínica habitual de 1.5 o 3 Teslas, nos aportan una mayor resolución de las estructuras visualizadas, permitiendo una mejor delimitación de los núcleos de la vía auditiva; aunque todavía no se ha conseguido obtener imágenes que permitan valorar la cito y mieloarquitectura a nivel troncoencefálico; probablemente este problema se solucione con el tiempo con el empleo de imanes de mayor campo. No obstante, el empleo de imanes de 7 Teslas permiten una mejor valoración de los núcleos troncoencefálicos respecto

a las técnicas de imagen habitual, y permite, junto con el empleo de sistemas de neuronavegación, una mejora terapéutica de enfermedades como la enfermedad de Parkinson. Otra aplicación importante, por la mayor resolución de estos estudios, es que el abordaje de las lesiones troncoencefálicas se ve facilitado en la práctica neuroquirúrgica, mejorando la seguridad de los procedimientos de microcirugía. La evolución constante de las técnicas de imagen pronto hará posible el empleo imanes de 7 o incluso 9 Teslas en la práctica clínica habitual, aunque siempre teniendo en cuenta las limitaciones referentes a la seguridad por el empleo de altos campos magnéticos y el uso de radiofrecuencia.

Por todo ello, los estudios de 7 Teslas permiten una mejor valoración de los núcleos y, por tanto, un mejor estudio de la patología de la vía auditiva en el tronco del encéfalo. A este nivel la patología más frecuente suele ser de carácter vascular (accidente cerebrovascular), de carácter inflamatorio (enfermedades desmielinizantes) o de carácter neoplásico (tumores que afecten por proximidad a dichos centros) (JACOBS y cols., 2007; SORIA y cols., 2011; PRATS-GALINO y cols., 2012).

Actualmente existen dos aplicaciones en el campo de la RM que se pueden emplear en la valoración de la vía auditiva: por un lado, la tractografía y, por otro, la RM funcional, ya descritas previamente. La tractografía nos permite realizar un estudio de los tractos de la sustancia blanca a nivel de la corteza, en nuestro caso de las radiaciones acústicas. La RM funcional nos va a permitir localizar las regiones dedicadas a la audición, área 41 y 42 de Brodman. La combinación de ambas técnicas facilita el estudio de la localización de un tumor y la afectación de los tractos de la sustancia blanca o de las regiones corticales dedicadas a la audición y así, realizar una cirugía más conservadora y menos lesiva sobre los centros elocuentes cerebrales.

La tractografía y RMf no se realizan de manera rutinaria en la práctica clínica debido a que la tecnología necesaria no se encuentra disponible en la mayor parte

de centros hospitalarios con RM , sobre todo la RM funcional, quedando dichos estudios reservados, fundamentalmente, a centros hospitalarios donde existe una gran actividad neuroquirúrgica y donde es necesario un mapeo de las diferentes áreas corticales para llevar a cabo una adecuada intervención (SCHMIDT y cols., 2001; JELLISON y cols., 2004; MENENDEZ-COLINO y cols., 2004, QIU y cols., 2012; RECIO y cols., 2013).

El empleo de la angio RM y de la angio TC, no se realiza de manera sistemática en el estudio de la vía auditiva, únicamente se realiza para la valoración del tinnitus ya que permite la visualización de algunas de sus causas como la existencia de fistulas arteriovenosas, aneurismas y malformaciones arteriovenosas. Ante la existencia de tinnitus pulsátil se recomienda realizar angio RM inicialmente, si esta prueba no es concluyente se recomienda realizar TC para descartar la existencia de dehiscencia del bulbo de la yugular o de tumoraciones de pequeño tamaño, tales como paragangliomas, o de persistencia de la arteria estapedial (SOM y CURTIN, 2004; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

En nuestro trabajo, únicamente encontramos un glomus de la yugular y un angioma venoso, ambos producían sintomatología auditiva, y justificaron la realización de un estudio con contraste de estas características.

En base a los comentarios anteriores, podemos afirmar que el empleo de la TCMD y de la RM para el estudio de la vía auditiva son complementarias para una adecuada visualización de todos los componentes de la misma. El empleo de TCMD sirve, principalmente, para el estudio de los trastornos que afectan a espacios aéreos y hueso cortical, ya que esta técnica nos aporta un gran contraste entre dichos espacios, siempre empleando matrices de alta resolución y cortes finos, como los empleados en nuestro estudio. Por el contrario, la RM nos aporta una gran resolución para la valoración de masas de partes blandas; también es el mejor método para obtener información del laberinto membranoso del oído interno así como de la valoración de los nervios craneales en el conducto auditivo

interno y región cisternal. El empleo de contraste intravenoso para la valoración de la patología de la vía auditiva es muy limitado, prácticamente todos los estudios se realizan sin contraste puesto que no es necesario para llegar a un diagnóstico correcto. La RM aporta una mayor sensibilidad para detectar realce con contraste en determinadas patologías, ya sean neoplásicas, como tumores epidermoides, o patología inflamatoria, como por ejemplo en la zona del vestíbulo donde la ausencia de señal ósea permite visualizar mejor un posible realce. El empleo de técnicas con contraste, angio TC y angio RM, en el ámbito de la vía auditiva, queda reservado para la valoración del tinnitus, siendo preferible inicialmente el empleo de angio RM. Finalmente, como hemos comentado, las modernas técnicas de RM como la tractografía y la RM funcional quedan reservadas para casos muy específicos donde necesitamos evidenciar las zonas corticales auditivas, realizándose de manera exclusiva en grandes centros neuroquirúrgicos o centros de investigación.

Consideramos que cada técnica debe ser empleada en función de la patología que queramos despistar, así como también estará sujeto a la disponibilidad de cada centro. No podemos olvidar que el empleo de cada técnica estará condicionado por las limitaciones de cada una de ellas, sobre todo en el caso de la RM, donde la existencia de marcapasos, desfibriladores, implantes cocleares u otros dispositivos, hacen que sea incompatible. También hay que considerar que las exploraciones de RM son mucho más prolongadas por lo que es más fácil la existencia de artefactos y pueden producir claustrofobia en el paciente. Por todo ello, es necesaria una adecuada selección de los pacientes y realizar la técnica más adecuada para evitar el mayor daño y molestia a los mismos (GROSMANN y YOUSEM, 2007; DE FOER y cols., 2008; DEL CURA y cols., 2009; SWARTZ y LOEVNER, 2009).

Después de revisar la literatura médica de los últimos años, buscando trabajos sobre la morfometría de diferentes elementos de la vía auditiva, para poder realizar un análisis comparativo, dichas publicaciones son escasas (MUKHERJI

y cols., 1998; YOUNG y cols., 2006; BOEMO y cols., 2007; MORIYAMA y cols., 2007; VIJAYASEKARAN y cols., 2007; OZGEN y cols., 2008; CONNOR y cols., 2009; MARU y cols., 2010). Han publicado artículos donde se hace referencia a la morfometría de ciertos elementos, dos de ellos mediante el estudio de la pieza anatómica del recorrido del nervio facial (BOEMO y cols., 2007; MARU y cols., 2010), en el primero se habla de la morfometría del tercer segmento del facial, realizando múltiples mediciones aunque, curiosamente, no se incluye el diámetro, que es la medición que hemos realizado. El segundo artículo referido si publica las mediciones de los diámetros de los diferentes segmentos del canal del facial, coincidiendo nuestros diámetros con los publicados.

Respecto a la valoración morfométrica, el conducto auditivo interno, la distancia coclear y el intervalo carótido coclear se visualizaron en el 100% de los pacientes, el acueducto coclear en el 24% de los pacientes y el acueducto vestibular en el 84% de los mismos.

Con relación a los estudios mencionados con anterioridad, nuestros resultados entran en el rango de los diámetros publicados, con diferencias milimétricas en algunos de ellos, probablemente debido a diferencias en la realización del estudio.

Consideramos que para el análisis de la morfometría de las estructuras descritas, la técnica de elección, es la tomografía computarizada, con cortes finos y ventana ósea, puesto que no dejan de ser estructuras óseas que engloban diferentes partes blandas del oído interno.

Muchas de las asimetrías, sobre todo en tamaño, pueden estar en relación con entidades patológicas como el intervalo carótido coclear, acueducto coclear y acueducto vestibular, ya que pueden estar implicadas en patologías como la sordera, fundamentalmente en niños. Por otro lado, los avances en el desarrollo

de nuevas técnicas quirúrgicas de mínimo acceso al oído interno obligan a conocer su morfometría, de ello depende en muchas ocasiones el éxito del procedimiento, como lo es el conocimiento del intervalo carótido coclear para evitar la entrada al canal carotídeo durante la cirugía del implante coclear. El conocimiento de la distancia coclear también es importante ya que permite realizar una estimación de la longitud coclear para la implantación del electrodo del implante (KRAUS y DUBOIS, 1979; KODAMA y SANDO, 1982; SWARTZ y cols., 1985; DIMOPOULOS y cols., 1996; MUKHERJI y cols., 1998; YOUNG y cols., 2006; MORIYAMA y cols., 2007; VIJAYASEKARAN y cols., 2007; OZGEN y cols., 2008; CONNOR y cols., 2009).

También consideramos la medición de las estructuras nerviosas relacionadas con la vía auditiva, tanto el VII como el VIII nervios craneales, que fueron visualizados en el 100% de los pacientes, en los trayectos cisternales e intracanaliculares, mediante la secuencia 3D FIESTA. Realizamos la medición de sus diámetros en la región cisternal obteniendo unos diámetros que entran en el rango de los estudios previamente descritos. Por lo que consideramos que es posible la medición de estructuras nerviosas mediante RM, con la secuencia potenciada en T2, 3D FIESTA, por el alto contraste que nos ofrece entre las estructuras nerviosas y el líquido cefalorraquídeo.

Con todo lo anteriormente descrito, nuestro objetivo principal ha sido poner a disposición de los profesionales de la salud una amplia revisión iconográfica de toda la vía auditiva, desde el pabellón auricular hasta la corteza, con el empleo de las técnicas de neuroimagen más actuales, comprobando que determinadas herramientas pueden ser útiles, no solo para el diagnóstico y tratamiento si no, también como complemento docente. Por otro lado, hemos realizado un estudio morfométrico de diferentes estructuras del oído interno que tienen implicación tanto en la clínica como en el tratamiento de determinadas patologías.

Esperamos que en un futuro cercano, gracias al avance de nuevas tecnologías, podamos visualizar e identificar todos los componentes de la vía auditiva, fundamentalmente, los núcleos del tronco del encéfalo.

CONCLUSIONES

8. CONCLUSIONES

El análisis de los resultados de este estudio y su comparación con los datos de la literatura científica consultada nos ha permitido, a nuestro juicio, formular las siguientes conclusiones:

1ª.- La tomografía computarizada multidetector fue la técnica de elección para el estudio morfológico y morfométrico de las estructuras óseas del oído externo, oído medio y oído interno, aportando una mayor sensibilidad y especificidad en la identificación y medición de los componentes óseos.

2ª.- La resonancia magnética, fundamentalmente a expensas de la secuencia 3D FIESTA y análogas, debido a su alta resolución espacial y gran potenciación en T2, es la técnica de elección para el estudio del laberinto membranoso en el oído interno así como de la región del ángulo pontocerebeloso.

3ª.- Las técnicas angiográficas, angio RM y angio TC, únicamente nos sirvieron para la valoración de causas del tinnitus y de procesos neoplásicos.

4ª.- El empleo de reconstrucciones volumétricas en 3D mostraron su utilidad en el diagnóstico radiológico, planificación quirúrgica y como instrumento docente. Por lo que una combinación de las clásicas imágenes en 2D con las imágenes en 3D permiten una adecuada referencia a la hora de abordar determinadas zonas.

5ª.- El estudio morfométrico demostró su importancia en la valoración de algunas estructuras del oído interno, ya que las dimensiones de las mismas se han relacionado con determinadas patologías así como con ciertos procedimientos terapéuticos.

6^a.- La utilización de equipos de RM de 1.5 Teslas, no permitieron la identificación de los núcleos troncoencefálicos relacionados con la vía auditiva. Solamente con el empleo de RM de 7 Teslas y posteriores reconstrucciones hemos podido visualizarlos.

7^a.- y **última**. La aplicación del tensor de difusión fue la técnica no invasiva que nos permitió visualizar los tractos de la sustancia blanca a nivel cortical, aportándonos información sobre las radiaciones auditivas.

BIBLIOGRAFÍA

9. BIBLIOGRAFÍA

- 1- ADAMS J.C. (1976) Single unit studies on the dorsal and intermediate acoustic striae. *J Comp Neurol.* 170:97-106.
- 2- ADAMS J.C. (1983) Multipolar cells in the ventral cochlear nucleus project to the dorsal cochlear nucleus and the inferior colliculus. *Neurosci Lett.* 37:205-8.
- 3- ALGABA L.; CENJOR C. y CIGES M. (1998) Manual de otorrinolaringología. Mc Graw-Hill Interamericana, Madrid.
- 4- ALI Q.M.; ULRICH C. y BECKER H. (1993) Three-dimensional CT of the middle ear and adjacent structures. *Neuroradiology.* 35:238-41.
- 5- ANDERSEN R.A.; SNYDER R.L. y MERZENICH M.M. (1980) The topographic organization of corticocollicular projections from physiologically identified loci in the AI, AII, and anterior auditory cortical fields of the cat. *J Comp Neurol.* 191:479-94.
- 6- ANSON B.J. y DONALDSON J.A. (1973) Surgical anatomy of the temporal bone and ear. WB Saunders. Philadelphia.
- 7- ANSON B.J. y DAVID J. (1980) Developmental anatomy of the ear. In: Paparella MM, Shumrick DA, eds. *Otolaryngology.* Vol. 1. Basic sciences and related disciplines. WB Saunders. Philadelphia.
- 8- ARNESEN A.R. y OSEN K.K. (1978) The cochlear nerve in the cat: topography, cochleotomy and fiber spectrum. *J Comp Neurol.* 178:661-78.

- 9- AYDIN K.; MAYA M.M.; LO W.W.M.; BRACKMANN D.E. y KESSER B. (2000) Jacobson's nerve schwannoma presenting as middle ear mass. *AJNR AM J Neuroradiol.* 21:1331-3.
- 10-BAGGER-SJOBACK D.; JANSSON B. y FRIBERG U. (1990) Three dimensional anatomy of the human endolymphatic sac. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 116:345-9.
- 11-BAJO V.M.; ROUILLER E.M.; WELKER E.; CLARKE S.; VILLA A.E.; DE RIBAUPIERRE Y. y DE RIBAUPIERRE F. (1995) Morphology and spatial distribution of corticothalamic terminals originating from the cat auditory cortex. *Hear Res.* 83:161-74.
- 12-BARTON F. y BRANSTETTER I.V. (2006) Superior semicircular canal dehiscence: oblique reformatted CT images for diagnosis. *Radiology.* 238:938-42.
- 13-BERRETTINI S.; FORLI F. y BOGAZZI F. (2005) Large vestibular aqueduct syndrome: audiological, radiological, clinical and genetic features. *Am J Otolaryngol.* 26:363-71.
- 14-BLACKSTAD T.W.; OSEN K.K. y MUGNAINI E. (1984) Pyramidal neurones of the dorsal cochlear nucleus: a Golgi and computer reconstruction study in cat. *Neuroscience.* 13:827-54.
- 15-BOEMO R.L.; NAVARRETE M.L.; PUMAROLA F.; DOMÉNECH J.M. y PERELLÓ E. (2007) Estudio morfométrico del tercer segmento del nervio facial. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 58:178-81.
- 16-BONNEVILLE F.; SARRAZIN J.L.; MARSOT-DUPUCH K.; IFFENECKER C.; CORDOLIANI Y.S.; DOYON D. et al (2001) Unusual

- lesions of the cerebellopontine angle: a segmental approach. *Radiographics*. 21:419-38.
- 17-BOOTH T.N.; VEZINA L.G.; KARCHER G. y DUBOVSKY E.C. (2000) Imaging and clinical evaluation of isolated atresia of the oval window. *AJNR AM J Neuroradiol*. 21:171-4.
- 18-BORGES A. y CASSELMAN J. (2010) Imaging the trigeminal nerve. *Eur J Radiol*. 74:323-40.
- 19-BORRAS C. (2006) El papel de la radiología diagnóstica y terapéutica en el campo de la salud pública. *Rev Panam Salud*. 2:81-83.
- 20-BOUDREAU J.C. y TSUCHITANNI C. (1968) Binaural interaction in the cat superior olive S segment. *J Neurophysiol*. 31:442-54.
- 21-BOURK T.R.; MIELCARZ J.P. y NORRIS B.E. (1981) Tonotopic organization of the anteroventral cochlear nucleus of the cat. *Hear Res*. 4:215-41.
- 22-BRADLEY W.G. (1991) MR of the brain stem: A practical approach. *Radiology*. 179:319-32.
- 23-BRODIE H.A. y THOMPSON T.C. (1997) Management of complications from 820 temporal bone fractures. *Am J Otol*. 18:188-97.
- 24-BRODMANN K. (1909) Vergleichende Lokalisationslehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues. Barth JA. Leipzig.

- 25-BROWNELL W.E. (1982) Cochlear transduction: an integrative model and review. *Hear Res.* 6:335-60.
- 26-CABRERO F.J. (2002) Fundamentos físicos y técnicos del diagnóstico por la imagen. Ed. Universidad de Salamanca.
- 27-CACACE A.T.; COUSINS J.P.; PARNES S.M.; SEMENOFF D.; HOLMES T.; MC FARLAND D.J., et al. (1999) Cutaneous-evoked tinnitus. Phenomenology, psychophysics and functional imaging. *Audiol Neurootol.* 4:247-57.
- 28-CAICEDO O.H. y ALDANA C.A. (2010) Resonancia magnética funcional: evolución y avances en clínica. *Tecnura.* 25:91-106.
- 29-CALFORD M.B. (1983) The parcellation of the medial geniculate body of the cat defined by the auditory response properties of single units. *J Neurosci.* 3:2350-64.
- 30-CALFORD M.B. y AITKIN L.M. (1983) Ascending projections to the medial geniculate body of the cat: evidence for multiple, parallel auditory pathways through thalamus. *J Neurosci.* 3:2365-80.
- 31-CALHOUN P.S.; KUSZYK B.S.; HEAT D.G.; CARLEY J.C. y FISHMAN E.K. (1999) Three-dimensional volumen rendering of spiral CT data: theory and method. *Radiographics.* 19:745-64.
- 32-CANT N.B. (1981) The fine structure of two types of stellate cells in the anterior division of the anteroventral cochlear nucleus of the cat. *Neuroscience.* 6: 2643-55.

- 33-CANT N.B. y MOREST D.K. (1979) Organization of the neurons in the anterior division of the anteroventral cochlear nucleus of the cat. Light-microscopic observations. *Neuroscience*. 4:1909-23.
- 34-CARPENTER M. (1991) The cerebral cortex. Core text of neuroanatomy. 4th edition. Williams & Wilkins.
- 35-CHADWELL J.B.; HALSTED M.J.; CHOO D.I.; GREINWALD J.H. y BENTON C. (2004) The cochlear cleft. *AJNR AM J Neuroradiol*. 25:21-4.
- 36-CHAKERES D.W. y SPIEGEL P.K. (1984) A systematic method for comprehensive evaluation of the temporal bone. *AJNR*. 5:297-302.
- 37-CHUANG M.T.; CHIANG I.C.; LIU G.C. y LIN W.C. (2006) Multidetector row CT demonstration of inner and middle ear structures. *Clin Anat*. 19:337-44.
- 38-CLARKE S.; DE RIBAUPIERRE F.; BAJO V.M.; ROUILLER E.M. y KRAFTSIK R. (1995) The auditory pathway in cat corpus callosum. *Exp Brain Res*. 104: 534-40.
- 39-CONNOR S.E.J.; LEUNG R. y NATAS S. (2008) Imaging of the petrous apex: a pictorial review. *Br J Radiol*. 81:427-35.
- 40-CONNOR S.E.J.; BELL D.J.; O'GORMAN R. y FITZGERALD-O'CONNOR A. (2009) CT and MR imaging cochlear distance measurements may predict cochlear implant length required for a 360 insertion. *AJNR AM J Neuroradiol*. 30:1425-30.

- 41-CORTÉS M.D.P.; LONGRIDGE N.S.; LEPAWSKY M. y NUGENT R.A. (2005) Barotrauma presenting as temporal lobe injury secondary to temporal bone rupture. *AJNR AM J Neuroradiol.* 26:1218-9.
- 42-CROVETTO DE LA TORRE M.A.; GRANDE ICARAN J.; OLEAGA ZUFIRÍA L. y GRANDE ICARAN D. (2002) El oído. Diagnóstico por la imagen y correlación audiológica. *Prous science.*
- 43-CROVETTO M.A.; FIZ L. y SÁNCHEZ J.M. (1996) Anatomical and functional results in surgery of chronic otitis media. Our experience. *Transplants and implants. Otology III.* Kugler, Amsterdam/New York.
- 44-DAGLI M.S.; INGEHOLM J.E. y HAXBY J.V. (1999) Localization of cardiac-induced signal change in fMRI. *Neuroimage.* 9:407-15.
- 45-DANIELS D.L.; SWARTZ J.D.; HARNSBERGER H.R.; ULMER J.L.; SHAFFER K.A. y MARK L. (1996) Hearing, I: The Cochlea. *AJNR AM J Neuroradiol.* 17:1237-41.
- 46-DAVIDSON H.C. (2002) Imaging of the temporal bone. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 10:573-613.
- 47-DAVIDSON S.P.; FACER G.W.; MC GOUGH P.F.; MC CAFFREY T.V. y REDER P.A. (1997) Use of magnetic resonance imaging and magnetic resonance angiography in diagnosis of sigmoid sinus thrombosis. *Ear Nose Throat J.* 76:436-41.
- 48-DE FOER B.; VERCRUYSSSE J.P. y PILET B. (2006) Single shot, turbo spin-echo, diffusion-weighted imaging versus spin-echo-planar, diffusion-weighted imaging in the detection of acquired middle ear cholesteatoma. *AJNR AM J Neuroradiol.* 27:1480-2.

- 49-DE FOER B.; VERCRUYSSSE J.P. y BERNAERTS A. (2008) Detection of postoperative residual cholesteatoma with non-echo-planar diffusion-weighted magnetic resonance imaging. *Otol Neurotol.* 29:513-17.
- 50-DE FOER B.; KENIS C.; VAN MELKEBEKE D.; VERCRUYSSSE J.P.; SOMERS T.; POUILLON M. et al (2010) Pathology of the vestibulocochlear nerve. *Eur J Radiol.* 74:349-58.
- 51-DEL CURA J.L.; PEDRAZA S. y GAYETE A. (2009) Radiología esencial. Sociedad Española de Radiología Médica. Ed. Panamericana.
- 52-DIMOPOULOS P.A.; SMEDBY O. y WILBRAND H.F. (1996) Anatomical variations of the human vestibular aqueduct. Part I. A radioanatomical study. *Acta Radiol Supple.* 403:21-32.
- 53-DONALDSON J.A.; DUCKERT L.G.; LAMBERT P.M. y RUBEL E.W. (1992) Surgical anatomy of the temporal bone. 4th ed. Raven.
- 54-DVORKIN M.A. y CARDINALI D.P. (2003) Best y Taylor. Bases fisiológicas de la práctica médica. 13ª Edición. Panamericana.
- 55-ECOMO C.F. (1929) The cytoarchitectonics of the human cerebral cortex. Oxford medical publications. London. 32:129-33.
- 56-ERIKSSON S.H.; RUGG-GUNN F.J.; SYMMS M.R.; BARKER G.J. y DUNCAN J.S. (2001) Diffusion tensor imaging in patients with epilepsy and malformations of cortical development. *Brain.* 124:617-26.
- 57-EVANS E.F. (1972) The frequency response and other properties of single fibers in the guinea pig cochlear nerve. *J Physiol.* 226:263-87.

- 58-EVANS E.F. (1978) Place and time coding of frequency in the peripheral auditory system: some physiological pros and cons. *Audiology*. 17:369-420.
- 59-EVANS E.F. y NELSON P.G. (1973) The responses of single neurones in the cochlear nucleus of the cat as a function of their location and the anaesthetic state. *Exp Brain Res*. 17:402-27.
- 60-FATTERPEKAR G.M.; DOSHI A.H.; DUGAR M.; DELMAN B.N.; NAIDICH T.P. y SOM P.M. (2006) Role of 3D CT in the evaluation of the temporal bone. *Radiographics*. 26:117-32.
- 61-FATTERPEKAR G.M.; MUKHERJI S.K.; ALLEY J.; LIN Y. y CASTILLO M. (2000) Hypoplasia of the bony canal for the cochlear nerve in patients with congenital sensorineural hearing loss: initial observations. *Radiology*. 215:243-6.
- 62-FEKETE D.M.; ROUILLER E.M.; LIBERMAN M.C. y RYUGO D.K. (1984) The central projections of intracellularly labeled auditory nerve fibers in cats. *J Comp Neurol*. 229:432-50.
- 63-FILIPPI M.; CERCIGNANI M.; INGLESE M.; HORSFIELD M.A. y COMI G. (2001) Diffusion tensor magnetic resonance imaging in multiple sclerosis. *Neurology*. 56:304-11.
- 64-FRIAUF E. y OSTWALD J. (1988) Divergent projections of physiologically characterized rat ventral cochlear nucleus neurons as shown by intra-axonal injection of horseradish peroxidase. *Exp Brain Res*. 73:263-84.

- 65-FRIEDMAN D.P. y RAO V.M. (1991) MR and CT of squamous cell carcinoma of the middle ear and mastoid complex. *AJNR AM J Neuroradiol.* 12:872-4.
- 66-GENIEC P. y MOREST D.K. (1971) The neuronal architecture of the human posterior colliculus. A study with the Golgi method. *Acta Otolaryngol Suppl.* 295:1-33.
- 67-GESCHWIND N. y LEVITSKY W. (1968) Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. *Science.* 16:1186-7.
- 68-GLASTONBURY C.M.; FISCHBEIN N.J.; HARNSBERGER H.R.; DILLON W.P. y KERTESZ T.R. (2003) Congenital bifurcation of the intratemporal facial nerve. *AJNR AM J Neuroradiol.* 24:1334-7.
- 69-GLENDENNING K.K.; BRUNSO-BECHTOLD J.K.; THOMPSON G.C. y MASTERTON R.B. (1981) Ascending auditory afferents to the nuclei of the lateral lemniscus. *J Comp Neurol.* 197:673-703.
- 70-GOODWIN W.J. (1983) Temporal bone fractures. *Radiol Clin North Am.* 16:651-9.
- 71-GORRIÑO M.; SÁDABA F.; OLEAGA L.; GORRIÑO O.; GOMEZ J. y BERMEJO N. (2010) Estudio por resonancia magnética del contacto neurovascular en el espasmo hemifacial esencial: empleo de secuencias CISS y angiografía por resonancia magnética. *Neurología.* 25:287-94.
- 72-GREEN J.D.; MARION M.S. y ERICKSON B.J. (1990) Three dimensional reconstruction of the temporal bone. *Laryngoscope.* 100:1-4.
- 73-GROSMANN R.I. y YOUSEM D.M. (2007) *Neurorradiología.* Marban.

- 74-GUYTON C.G. y HALL, J.E. (2006) Tratado de fisiología médica. 11ª Edición. Elsevier.
- 75-HAMAMOTO M.; MURAKAMI G. y KATAURA A. (2000) Topographical relationships among the facial nerve, chorda tympani nerve and round window with special reference to the approach route for cochlear implant surgery. *Clin Anat.* 13:251-6.
- 76-HANGMANN P.; JONASSON L.; MAEDER P.; THIRAN J.P.; WEEDEN V.J. y MEULI R. (2006) Understanding diffusion MR imaging techniques: from scalar diffusion-weighted imaging to diffusion tensor imaging and beyond. *Radiographics.* 26:205-223.
- 77-HEIMER L. (1995) *The human Brain and Spinal Cord.* 2ª ed. Springer-Verlag.
- 78-HENDRICK R.E. (1994) Basic physics of MR imaging: An introduction. *Radiographics.* 14:829-46.
- 79-HENKEL C.K. (1997) Axonal morphology in fibrodendritic laminae of the dorsal nucleus of the lateral lemniscus: afferent projections from the medial superior olivary nucleus. *J Comp Neurol.* 380:136-44.
- 80-HERMAN P.; GUICHARD J.P.; VAN DEN ABBEELE T.; TAN C.T.; BENSIMON J.L.; MARIANOWSKI R. et al (1996) Traumatic luxation of the stapes evidenced by high resolution CT. *AJNR AM J Neuroradiol.* 17:1242-4.
- 81-HOWARD J.D.; ELSTER A.D. y MAY J.S. (1990) Temporal bone: three-dimensional CT II. Patologic alterations. *Radiology.* 177:427-30.

- 82-HUFFMAN R.F. y HENSON O.W. (1990) The descending auditory pathway and acousticomotor systems: connections with the inferior colliculus. *Brain Res Rev.* 15:295-323.
- 83-IMIG T.J. y MORET A. (1983) Organization of the thalamocortical auditory system in the cat. *Annu Rev Neurosci.* 6:95-120.
- 84-IMIG T.J. y MORET A. (1985) Tonotopic organization in lateral part of posterior group of thalamic nuclei in the cat. *J Neurophysiol.* 53:836-51.
- 85-ISHMAN S.L. y FRIEDLAND D.R. (2004) Temporal bone fractures: traditional classification and clinical relevance. *Laryngoscope.* 114:1734-41.
- 86-IWAHORI N. (1986) A Golgi study of the dorsal nucleus of the lateral lemniscus in the mouse. *Neurosci Res.* 3:196-212.
- 87-JACKLER R.K. y DILLON W.P. (1998) Computed tomography and magnetic resonance imaging of the inner ear. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 99:494-504.
- 88-JACOBS M.A.; IBRAHIM T.S. y OUWERKERK R. (2007) AAPM/RSNA Physics tutorial for residents. MR imaging: brief overview and emerging applications. *Radiographics.* 27:1213-29.
- 89-JELLISON B.J.; FIELD A.S.; MEDOW J.; LAZAR M.; SALAMAT M.S. y ALEXANDER A.L. (2004). Diffusion tensor imaging of cerebral white matter: a pictorial review of physics, fiber tract anatomy, and tumor imaging patterns. *AJNR Am J Neuroradiol.* 25:356-69.

- 90-JONES E.G. (1981) Anatomy of cerebral cortex: columnar input-output organization. En: Schmitt FO, Worden FG (ed). The organization of the cerebral cortex. Cambridge, Massachussetz.
- 91-JUN B.C.; SONG S.W. y CHO J.E. (2005) Three-dimensional reconstruction base don images from spiral high resolution computed tomography of the temporal bone: anatomy and clinical application. J Laryngol Otol. 119:693-8.
- 92-KANE E.C. (1973) Octopus cells in the cochlear nucleus of the cat: heterotypic synapses upon homeotypic neurons. Int J Neurosci. 5:252-79.
- 93-KARMODY C.S. y ANNINI D.J. JR. (1995) Embriology and anomalies of the external ear. Facial Plast Surg. 11:251-6.
- 94-KODAMA A. y SANDO I. (1982) Dimensional anatomy of the vestibular aqueduct and the endolymphatic sac (rugose portion) in human temporal bones. Statistical analysis of 79 bones. Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl. 96:13-20.
- 95-KRAUS E.M. y DUBOIS P.J. (1979) Tomography of the vestibular aqueduct in ear disease. Arch Otolaryngol. 105:91-8.
- 96-KRAUS N. y GEE T. (1992) Electrophysiology auditory pathway: neurophysiology. Springer-Verlag.
- 97- KROMBACH G.A.; HONNEF D.; WESTHOFEN M.; DI MARTINO E. y GÜNTHER R.W. (2008) Imaging of congenital anomalies and acquired lesions of the inner ear. Eur Radiol. 18:319-30.

- 98-KWONG K.K.; BELLIVEAU J.W.; CHESLER D.A.; GOLDBERG I.E.; WEISKOFF R.M.; PONCELET B.P. et al. (1992) Dynamic magnetic resonance imaging of human brain activity during primary sensory stimulation. *Proc Natl Acad Sci.* 89:5675-9.
- 99-LAINE F.J.; NADEL L. y BRAUN I.F. (1990) CT and MR imaging of the central skull base Part 1: Techniques, embriologic development and anatomy. *Radiographics.* 10:591-602.
- 100-LAINE F.J.; NADEL L. y BRAUN I.F. (1990) CT and MR Imaging of the central skull base Part 2: Pathologic spectrum. *Radiographics.* 10:797-821.
- 101-LAINE F.J. y UNDERHILL T. (2002) Imaging of the lower cranial nerves. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 10:433-49.
- 102-LANE J.I.; LINDELL E.P.; WITTE R.J.; DELONE D.R. y DRISCOLL C.L.W. (2006) Middle and inner ear: improved depiction with multiplanar reconstruction of volumetric CT data. *Radiographics.* 26:115-124.
- 103-LANGMAN J. y SADLER T.W. (2008) *Embriología médica.* 10ª ed. Panamericana.
- 104-LECLERQ D.; DUFFAU H.; DELMAIRE C.; CAPELLE L.; GATIGNOL P.; DUCROS M. et al. (2010) Comparison of diffusion tensor imaging tractography of language tracts and intraoperative subcortical stimulations. *J Neurosurg.* 112:503-11.
- 105-LEMMERLING M.M.; STAMBUCK H.E.; MANCUSO A.A.; ANTONELLI P.J. y KUBILIS P.S. (1997) CT of the normal suspensory

- ligaments of the ossicles in the middle ear. *AJNR AM J Neuroradiol.* 18:471-7.
- 106-LEMMERLING M.; VANZIELEGHEM B.; DHOOGHE I.; VAN CAUWENBERGE P. y KUNNEN M. (2001) CT and MRI of the semicircular canals in the normal and diseased temporal bone. *Eur Radiol.* 11:1210-9.
- 107-LEMMERLING M.M.; DE FOER B.; VERBIST B.M. y VAN DE VYVER V. (2009) Imaging of inflammatory and infectious diseases in the temporal bone. *Neuroimaging Clin N Am.* 19:321-37.
- 108-LIBERMAN M.C. (1980) Morphological differences among radial afferent fibers in the cat cochlea: an electron-microscopic study of serial sections. *Hear Res.* 3:45-63.
- 109-LIBERMAN M.C. (1982) Single neuron labelling in the cat auditory nerve. *Science.* 216:1239-41.
- 110-LIBERMAN M.C. (1982) The cochlear frequency map for the cat: labeling auditory-nerve fibers of known characteristic frequency. *J Acoust Soc Am.* 72:1441-1449.
- 111-LIBERMAN M.C. y BROWN M.C. (1986) Physiology and anatomy of single olivocochlear neurons in the cat. *Hear Res.* 24:17-36.
- 112-LO W.; DANIELS D.L.; CHAKERES D.W.; LINTHICUM F.H.; ULMER J.L.; MARK L. y SWARTZ J.D. (1997) The endolymphatic duct and sac. *AJNR AM J Neuroradiol.* 18:881-7.

- 113-LO W. y PETRUS L.V. (1997) The anterior epitympanic recess: CT anatomy and pathology. *AJNR AM J Neuroradiol.* 18:1109-14.
- 114-LORENZ J.M. (2005) CT of the normal temporal bone: comparison of multi and single detector row CT. *Radiology.* 235:133-41.
- 115-LUSTRIN E.S.; ROBERTSON R.L. y TILAK S. (1994) Normal anatomy of the skull base. *Neuroimaging Clin N Am.* 4:465-78.
- 116-MALMIERCA M.S.; BLACKSTAD T.; OSEN KK.; KARAGULLE T. y MOLOWNY R.L. (1993) The central nucleus of the inferior colliculus in rat: a Golgi and computer reconstruction study of neuronal and laminar structure. *J Comp Neurol.* 333:1-27.
- 117-MALMIERCA M.S.; LE BEAU FE y REES A. (1996) The topographical organizations of descending projections from the central nucleus of the inferior colliculus in guinea pig. *Hear Res.* 93:167-180.
- 118-MALONEK D. y GRINVALD A. (1996) Interactions between electrical activity and cortical microcirculation revealed by imaging spectroscopy: implications for functional brain mapping. *Science.* 272:551-4.
- 119-MAROLDI R.; FARINAD P. y PLAVARINI L. (2001) Computed tomography and magnetic resonance imaging of pathologic conditions of the middle ear. *Eur J Radiol;* 40:78-93.
- 120-MARTIN R.L.; WEBSTER W.R. y SERVIERE J. (1988) The frequency organization of the inferior colliculus of the guinea pig: A (14C)-2-deoxyglucose study. *Hear Res.* 33:245-55.

- 121-MARU N.; CHEITA A.C.; MOGOANTA C.A. y PREJOIANU B. (2010) Intratemporal course of facial nerve: morphological, topographic and morphometric features. *Rom J Morphol Embriol.* 51:243-8.
- 122-MAYER T.E.; BRUECKMANN H.; SIEGERTE R.; WITT A. y WEERDA H. (1997) High resolution CT of the temporal bone in displasia of the auricle and external auditory canal. *AJNR AM J Neuroradiol.* 18:53-65.
- 123-MELI F.; ROMERO C.; CARPINTIERO S.; SALVÁTICO R.; LAMBRE H. y VILA J. (2005) Imágenes con tensor de difusión en resonancia magnética. Aplicaciones clínicas. *Rev Argent Radiol.* 69:69-75.
- 124-MENEDEZ-COLINO L.M.; FALCON C.; TRASERA J.; BERENGUER J.; PUJOL T.; HERRERA O. et al. (2004) Vanguardia en el estudio del córtex auditivo. Demostración de su activación mediante resonancia magnética funcional. *Acta Otorrinolaringol Esp.* 55:247-51.
- 125-MOREST D.K. y OLIVER D.L. (1984) The neuronal architecture of the inferior colliculus in the cat: defining the functional anatomy of the auditory midbrain. *J Comp Neurol.* 222:209-36.
- 126-MORI S.; CRAIN B.J.; CHACKO V.P. y VAN ZIJL P.C. (1999) Three-dimensional tracking of axonal projections in the brain by magnetic resonance imaging. *Ann Neurol.* 45:265-9.
- 127-MORIYAMA H.; ITOH M.; SHIMADA K. y OTSUKA N. (2007) Morphometric analysis of fibers of the human vestibular nerve: sex differences. *Eur Arch Otorhinolaryngol.* 264:471-5.

- 128-MOSER T.; VEILLON F.; SICK H. y RIEHM S. (2008) The hypodense focus in the petrous apex: a potential pitfall on multidetector CT imaging of the temporal bone. *AJNR AM J Neuroradiol.* 29:35-9.
- 129-MUKHERJEE P.; BERMAN J. y CHUNG S. (2008) Diffusion tensor MR imaging and fiber tractography: theoretic underpinnings. *AJNR.* 29:632-41.
- 130-MUKHERJEE P.; CHUNG S. y BERMAN J. (2008) Diffusion tensor MR imaging and fiber tractography: technical considerations. *AJNR.* 29:843-52.
- 131-MUKHERJI S.K.; BAGGETT H.C.; ALLEY J. y CARRASCO V.H. (1998) Enlarged cochlear aqueduct. *AJNR AM J Neuroradiol.* 19:330-2.
- 132-NEMZEK W.R.; BRODIE H.A.; CHONG B.W.; BACOOK C.J.; HECHT S.T.; SALAMAT S. et al. (1996) Imaging findings of the developing temporal bone in fetal specimens. *AJNR Am J Neuroradiol.* 17: 1467-77.
- 133-NEWTON J.M.; WARD N.S.; PARKER G.J.; DEICHMANN R.; ALEXANDER D.C.; FRISTON K.J. et al. (2006) Non-invasive mapping of corticofugal fibres from multiple motorareas-relevance to stroke recovery. *Brain.* 129:1844-58.
- 134-OGAWA S.; TANK D.W.; MENON R.; ELLERMAN J.M.; KIM S.G.; MERKLE H. et al. (1992) Intrinsic signal changes accompanying sensory stimulation: functional brain mapping with magnetic resonance imaging. *Proc Natl Acad Sci.* 89:5951-5.

- 135-OGAWA S.; MENON R.S.; KIM S.G. y UGURBIL K. (1998) On the characteristics of functional magnetic resonance imaging of the brain. *Annu Rev Biophys Biomol Struct.* 27:447-74.
- 136-OLIVER D.L. (1984) Neuron types in the central nucleus of the inferior colliculus that project to the medial geniculate body. *Neuroscience* 11:409-24.
- 137-OLIVER D.L. y MOREST D.K. (1984) The central nucleus of the inferior colliculus in the cat. *J Comp Neurol.* 222:237-64.
- 138-OLIVER D.L.; KUWADA S.; YIN T.C.; HABERLY L.B. y HENKEL C.K. (1991) Dendritic and axonal morphology of HRP-injected neurons in the inferior colliculus of the cat. *J Comp Neurol.* 303:75-100.
- 139-OSEN K.K. (1969) Citoarchitecture of the cochlear nuclei in the cat. *J Comp Neurol.* 136:453-84.
- 140-OZGEN B.; CUNNANE M.E.; CARUSO P.A. y CURTIN H.D. (2008) Comparison of 45 oblique reformats with axial reformats in CT evaluation of the vestibular aqueduct. *AJNR AM J Neuroradiol.* 29:30-34.
- 141-PHILLIPS G.S.; LOGERFO S.E.; RICHARDSON M.L. y ANZAI Y. (2012) Interactive Web-based learning module on CT of the temporal bone: anatomy and pathology. *Radiographics.* 32:85-105.
- 142-POOLEY R.A. (2005) Fundamental physics of MR imaging. *Radiographics.* 25:1087-99.

- 143-PRATS-GALINO A.; SORIA G.; DE NOTARIS M.; PUIG J. y PEDRAZA S. (2012) Functional anatomy of subcortical circuits issuing from or integrating at the human brainstem. *Clinical Neurophysiology*. 123:4-12.
- 144-QIO M.; ZHANG J.; ZHANG Y.; LI Q.; XIE B. y WANG J. (2012) Diffusion tensor imaging-based research on human white matter anatomy. *The Scientific World Journal*. 1:1-6.
- 145-RAMIREZ-CAMACHO R. (2007) *El manual de otorrinolaringología*. 2ª Edición. Mc Graw-Hill/Interamericana de España.
- 146-RAMÓN Y CAJAL S. (1904) *Histología del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados*. Madrid. ed. N Moya.
- 147-RASCOVSKY S.; DELGADO J.A.; SANZ A. y CASTRILLÓN J.G. (2008) Tractografía guiada por resonancia funcional cerebral: revisión de la técnica y casos representativos. *Rev Colomb Radiol*. 19:2323-8.
- 148-RECIO M.; HERNÁNDEZ D.; HERNÁNDEZ L.C.; MARTÍNEZ DE VEGA V. y CARRASCOSO J. (2013) Imagen de tractografía 3T: anatomía y aplicaciones clínicas. *Radiología*. 55:57-68.
- 149-ROBERT Y.; CARCASSET S.; ROCOURT N.; HENNEQUIN C.; DUBRULLE F. y LEMAITRE L. (1995) Congenital cholesteatoma of the temporal bone: MR findings and comparison with CT. *AJNR AM J Neuroradiol*. 16:755-61.
- 150-RODT T.; RATIU P. y BECKER H. (2002) 3D visualization of the middle ear and adyacent structures using reconstructed multi-slice CT

- datasets, correlating 3D images and virtual endoscopy to the 2D cross-sectional images. *Neuroradiology*. 44:783-90.
- 151-ROMERO C.; GRISI J.P.; MAZZUCCO J. y PERNAK A. (2007) Imágenes con tensor de difusión en resonancia magnética. *Rev Argent Neuroc*. 21:49-52.
- 152-ROUILLER E.M.; DE RIBAUPIERRE Y.; MOREL A. y DE RIBAUPIERRE F. (1983) Intensity functions of single unit responses to tone in the medial geniculate body of cat. *Hear Res*. 11:235-47.
- 153-ROUILLER E.M. y DE RIBAUPIERRE F. (1985) Origin of afferents to physiologically defined regions of the medial geniculate body of the cat: ventral and dorsal divisions. *Hear Res*. 19:97-114.
- 154-ROUVIÈRE H. y DELMAS A. (2005) Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional. 11ª edición. Masson.
- 155-SALDAÑA E.; FELICIANO M. y MUGNAINI E. (1996) Distribution of descending projections from primary auditory neocortex to inferior colliculus mimics the topography of intracollicular projections. *J Comp Neurol*. 371:15-40.
- 156-SARAIYA P.V. y AYGUN N. (2009) Temporal bone fractures. *Emerg Radiol*. 16:255-65.
- 157-SAREMI F.; HELMY M.; FARZIN S.; ZEE C.S. y GO J.L. (2005) MRI of cranial nerve enhancement. *AJR*. 185:1487-97.
- 158-SCHAEFER P.; GRANT E. y GONZALEZ G. (2000) Diffusion-weighted MR imaging of the brain. *Radiology*. 217:331-345.

- 159-SCHEFFLER K.; BILECEN D.; SCHMID N.; TSCHOPP K. y SEELIG J. (1998) Auditory cortical responses in hearing subjects and unilateral deaf patients as detected by functional magnetic resonance imaging. *Cerebr Cortex*. 8:156-63.
- 160-SCHMIDT A.M.; WEBER B.P. y BECKER H. (2001) Functional magnetic resonance imaging of the auditory cortex as a diagnostic tool in cochlear implant candidates. *Neuroimaging Clin N Am*. 11:297-304.
- 161-SCHOFIELD B.R. y CANT N.B. (1997) Ventral nucleus of the lateral lemniscus in guinea pigs: cytoarchitecture and inputs from the cochlear nucleus. *J Comp Neurol*. 379:363-385.
- 162-SCHWARTZ I.R. (1992) The superior olivary complex and lateral lemniscal nuclei. En: Webster DB, Popper AN, Fay RR, eds. *The mammalian auditory pathway: neuroanatomy*. Springer-Verlag.
- 163-SERRA S. (2010) Webfisió. Recuperado el 24 de Enero de 2013, de <http://www.webfisió.es/fisiología/nervioso/textos/audición.htm>.
- 164-SILBERGLEIT R.; QUINT D.J.; MEHTA B.A.; PATEL S.C.; METES J.J. y NOUJAIM S.E. (2000) The persistent stapedial artery. *AJNR AM J Neuroradiol*. 21:572-7.
- 165-SIMM G.M.; RIBAUPIERRE F.; RIBAUPIERRE Y. y ROUILLER E.M. (1990) Discharge properties of single units in auditory part of reticular nucleus of thalamus in cat. *J Neurophysiol*. 63:1010-21.
- 166-SOM P.M. y CURTIN H.D. (2004) *Radiología de cabeza y cuello*. 4ª ed. Elsevier.

- 167-SORIA G.; DE NOTARIS M.; TUDELA R.; BLASCO G.; PUIG J.; PLANAS A.M.; PEDRAZA S. y PRATS-GALINO A. (2011) Improved assesment of ex vivo brainstem neuroanatomy with high resolution MRI and DTI at 7 Tesla. *The Anatomical Record*. 294:1035-44.
- 168-SPANGLER K.M.; WARR W.B. y HENKEL C.K. (1985) The projections of principal cells of the medial nucleus of the trapezoid body in the cat. *J Comp Neurol*. 238:249-62.
- 169-SPOENDLIN H. (1969) Innervation patterns in the organ of corti of the cat. *Acta Otolaryngol*. 67:239-54.
- 170-STEHLING M.K.; TURNER R. y MANSFIELD P. (1991) Echo-planar imaging: magnetic resonance imaging in a fraction of a second. *Science*. 254:43-50.
- 171-SUNAERT S.; DYMARKOWSKI S.; VAN OOSTENDE S.; VAN HECKE P.; WILMS G. y MARCHAL G. (1998) Functional magnetic resonance imaging (fMRI) visualises the brain at work. *Acta Neurol Belg*. 98:8-16.
- 172-SWARTZ J.D. (1983) High resolution computed tomography of the middle ear and mastoid I: normal radioanatomy including normal variations. *Radiology*. 148:449-54.
- 173-SWARTZ J.D.; GOODMAN R.S; MARLOWE F.I. y WOLFSON R.J. (1983) High resolution computed tomography of the middle ear and mastoid II: tubotympanic disease. *Radiology*. 148:455-9.
- 174-SWARTZ J.D.; GOODMAN R.S.; RUSELL K.B.; LANDENHEIM S.E. y WOLFSON R.J. (1983) High resolution computed tomography of the

- middle ear and mastoid III: surgically altered anatomy and pathology. *Radiology*. 148:461-4.
- 175-SWARTZ J.D. y FAERBER E.N. (1985) Congenital malformations of the external and middle ear: high resolution CT findings of surgical import. *AJR Am J Roentgenol*. 144:501-6.
- 176-SWARTZ J.D.; YUSSEN P.S. y MANDELL D.W. (1985) The vestibular aqueduct syndrome: computed tomographic appearance. *Clin Radiol*. 36:241-3.
- 177-SWARTZ J.D.; GLAZER A.U.; FAERBER E.N.; CAPITANIO M.A. y POPKY G.L. (1986) Congenital middle ear deafness: CT study. *Radiology*. 159:187-190.
- 178-SWARTZ J.D.; DANIELS D.L.; HARNSBERGER H.R.; SHAFFER K.A. y MARK L. (1995) The temporal bone. *AJNR AM J Neuroradiol*. 16:2081-4.
- 179-SWARTZ J.D.; DANIELS D.L.; HARNSBERGER H.R.; SHAFFER K.A. y MARK L. (1996) Balance and equilibrium I: The Vestibule and semicircular canals. *AJNR AM J Neuroradiol*. 17:17-21.
- 180-SWARTZ J.D.; DANIELS D.L.; HARNSBERGER H.R.; ULMER J.L.; HARVEY S.; SHAFFER K.A. et al. (1996) Balance and equilibrium II: The retrovestibular neural pathway. *AJNR AM J Neuroradiol*. 17:1187-90.
- 181-SWARTZ J.D.; DANIELS D.L.; HARNSBERGER H.R.; ULMER J.L.; SHAFFER K.A. y MARK L. (1996) Hearing, II: The Retrocochlear auditory pathway. *AJNR AM J Neuroradiol*. 17:1479-81.

- 182-SWARTZ J.D. y LOEVNER L.A. (2009) Imaging of the temporal bone. 4rd ed. Thieme.
- 183-THULBORN K.R.; WATERTON J.C.; MATTHEWS P.M. y RADDA G.K. (1982) Oxygenation dependence of the transverse relaxation time of water protons in whole blood at high field. *Biochim Biophys Acta.* 714:265-70.
- 184-TOLBERT L.P. y MOREST D.K. (1982) The neuronal architecture of the anteroventral cochlear nucleus of the cat in the region of cochlear nerve root: electron microscopy. *Neuroscience.* 7:3053-67.
- 185-TOMANDL B.F.; HASTREITER P.; EBERHARDT K.E.W.; SALAMA C.R.; NARAGHI R.; GREESS H. et al (2000) Virtual labyrinthoscopy: visualization of the inner ear with interactive direct volumen rendering. *Radiographics.* 20:547-58.
- 186-TOS M. (1998) Importance of Eustachian tube function in middle ear surgery. *Ear Nose Throat J.* 77:744-7.
- 187-TURNER R. (1994) Magnetic resonance imaging of the human brain: data acquisition and analysis. *Exp Brain Res.* 123:5-12.
- 188-TURNER R.; HOWSEMAN A.; REES G.E.; JOSEPHS O. y FRISTON K. (1998) Functional magnetic resonance imaging of the human brain: data acquisition and analysis. *Exp Brain Res.* 123:5-12.
- 189-VALVASSORI G.E. (1993) Imaging of otosclerosis. *Otolaryngol Clin North Am.* 26:147-50.

- 190-VATTOTH S.; SHAH R. y CURE J.K. (2010) A compartment-based approach for the imaging evaluation of tinnitus. *AJNR AM J Neuroradiol.* 31:211-8.
- 191-VEILLON F.; RAMOS-TABOADA L.; ABU-EID M.; CHARPIOT A. y RIEHM S. (2010) Imaging of the facial nerve. *Eur J Radiol.* 74:341-8.
- 192-VIJAYASEKARAN S.; HALSTED M.J.; BOSTON M.; MEINZENDER J.; BARDO D.M.E.; GREINWALD J. et al. (2007) When is the vestibular aqueduct enlarged? A statistical analysis of the normative distribution of vestibular aqueduct size. *AJNR AM J Neuroradiol.* 28:1133-8.
- 193-VON BEKESY G. (1966) Pressure and shearing forces as stimuli of labyrinthine epithelium. *Arch Otolaryngol.* 84:122-130.
- 194-WARR W.B. (1975) Olivocochlear and vestibular efferent neurons of the feline brain stem: their location, morphology and number determined by retrograde axonal transport and acetylcholinesterase histochemistry. *J Comp Neurol.* 161:159-81.
- 195-WEBSTER D.B. (1992) An overview of mammalian auditory pathways with an emphasis on humans. En: Webster DB, Popper AN, Fay RR. *The mammalian auditory pathway: Neuroanatomy.* Springer-Verlag.
- 196-WHITLEY J.M. y HENKEL C.K. (1984) Topographical organization of the inferior collicular projections and other connections of the ventral nucleus of the lateral lemniscus in the cat. *J Comp Neurol.* 229:257-70.

- 197-WIEGELL M.R.; LARSSON H.B.W. y WEDEEN V.J. (2000) Fiber crossing in human brain depicted with diffusion tensor MR imaging. *Radiology*. 217:897-903.
- 198-WINER J.A. y MOREST D.K. (1983) The neuronal architecture of the dorsal division of the medial geniculate body of the cat. A study with the rapid Golgi method. *J Comp Neurol*. 221:1-30.
- 199-WOUTERLOOD F.G. y MUGNAINI E. (1984) Cartwheel neurons of the dorsal cochlear nucleus: a Golgi-electron microscopic study in rat. *J Comp Neurol*. 227:136-57.
- 200-YAMADA M.; TSUNODA A.; MUAOKA H. y KOMATSUZAKI A. (1999) Three-dimensional reconstruction of the incudostapedial joint with helical computed tomography. *J Laryngol Otol*. 113:707-9.
- 201-YANG E.; NUCIFORA P.G. y MELHEM E.R. (2011) Diffusion MR imaging: basic principles. *Neuroimaging Clin N Am*. 21:1-25.
- 202-YOSHINO N.; AKIMOTO H.; YAMADA I.; NAGAOKA T.; TETSUMURA A.; KURABAYASHI T. et al (2003) Trigeminal neuralgia: evaluation of neuralgic manifestation and site of neurovascular compression with 3D CISS MR imaging and MR angiography. *Radiology*. 228:539-45.
- 203-YOUNG R.J.; SHATZKES D.R.; BABB J.S. y LALWANI A.K. (2006) The cochlear-carotid interval: anatomic variation and potential clinical implications. *AJNR AM J Neuroradiol*. 27:1486-90.
- 204-YOUSRY I.; CAMELIO S.; SCHMID U.D.; HORSFIELD M.A.; WIESMANN M.; BRÚCKMANN H. et al. (2000) Visualization of

cranial nerves I-XII: values of 3D CISS and T2-weighted FSE sequences. Eur Radiol. 10:1061-7.

205-YUEN H.Y.; AHUJA A.T.; WONG K.T.; YUE V. y VAN HASSELT A.C. (2003) Computed tomography of common congenital lesions of the temporal bone. Clin Radiol. 58: 687-93.

206-ZARAGOZA J.R. (1992) Física e instrumentación médicas. 2ª ed. Masson.

207-ZEIFER B.; SABINI P. y SONNE J. (2000) Congenital absence of the oval window: radiologic diagnosis and associated anomalies. AJNR AM J Neuroradiol. 21:322-7.