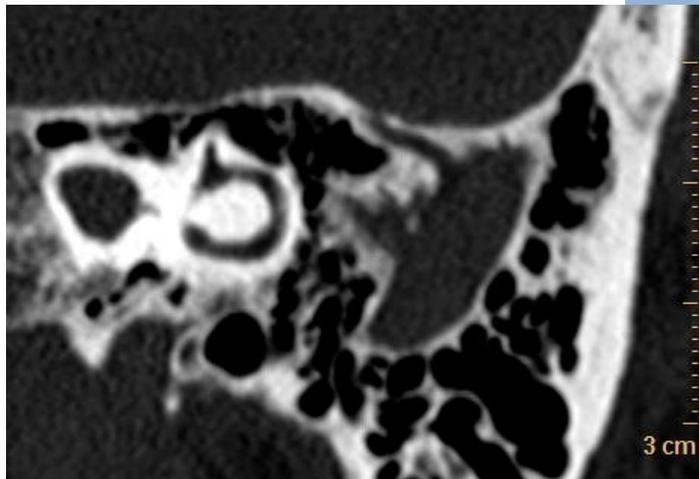




UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
DEPARTAMENTO DE ANATOMÍA E
HISTOLOGÍA HUMANAS

**DESARROLLO DE LA OSIFICACIÓN DEL
CANAL SEMICIRCULAR POSTERIOR:
ESTUDIO TOMOGRÁFICO**

**OSSIFICATION DEVELOPMENT OF THE
POSTERIOR SEMICIRCULAR CANAL:
TOMOGRAPHIC STUDY**



MARTA HERREROS SÁENZ

TUTORES: Dr. JAIME WHYTE OROZCO

Dr. JESÚS OBÓN NOGUÉS

ÍNDICE

1. JUSTIFICACIÓN.....	2
2. OBJETIVO DEL TRABAJO.....	2
3. RESUMEN	3
4. INTRODUCCIÓN.....	5
5. MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
6. RESULTADOS	15
7. ICONOGRAFÍA.....	20
8. DISCUSIÓN.....	27
9. CONCLUSIONES	31
10. BIBLIOGRAFÍA	32

1. JUSTIFICACIÓN

Al inicio de las prácticas en el sexto curso de la carrera, me surgió la posibilidad de rotar por el Servicio de Otorrinolaringología del HUMS, donde pude observar más detalladamente la anatomía del oído interno, parte de la anatomía muy interesante y que podía tener en cuenta en un posterior período de investigación.

Desde el comienzo de la carrera he tenido interés por la asignatura de Anatomía y Embriología humana por lo que en la elección del Trabajo Final de Grado me decidí por ese Departamento.

El Dr. Whyte me dio la oportunidad de unirme a su equipo y realizar un trabajo de investigación acerca de la osificación ontogénica del canal semicircular posterior.

Nos decantamos por este canal, ya que la información sobre él es reducida. Para ello escogimos realizar un estudio de imagen mediante tomografías computarizadas de la ontogenia del canal.

2. OBJETIVO DEL TRABAJO

Estudiar la osificación del canal semicircular posterior en fetos humanos mediante Tomografía Computarizada y establecer periodos críticos en su formación.

3. RESUMEN

Hemos realizado un estudio sobre la osificación del canal semicircular posterior en fetos humanos mediante Tomografía Computarizada, utilizando 39 series embriológicas en edades comprendidas entre 19 semanas y 38 semanas.

Los primeros signos de osificación del canal semicircular posterior se aprecian en la semana 19. En este proceso intervienen varios núcleos de osificación, el primero en aparecer es el núcleo vestibular o anterior (19 semanas), posteriormente el núcleo mastoideo o posterior (20 semanas).

En este proceso hay que añadir la intervención de la rama común de los canales verticales y el centro compacto; este último contribuye a la formación de las paredes del canal laberíntico. El centro compacto presenta en su interior una estructura cartilaginosa que va siendo progresivamente sustituida por hueso.

La osificación del canal semicircular posterior sigue una secuencia cronológica bien definida, pero con un ritmo de osificación variable.

En el estudio tomográfico hemos observado como los canales semicirculares posteriores están completamente osificados a las 25 semanas.

Palabras clave:

Canal semicircular posterior, Tomografía computarizada, Ontogénesis.

ABSTRACT:

We have performed study about the ossification of the posterior semicircular canal in human fetuses by Computed Tomography, using 39 series embryological ages between 19 weeks and 38 weeks.

The first signs of ossification of the posterior semicircular canal are seen in week 19. In this process there are multiple nuclei of ossification, the first to appear is the vestibular nucleus, or earlier (19 weeks), then the kernel mastoid or later (20 weeks).

In this process, there is also the intervention of the branch common of the vertical channels and the compact centre, which the latter contributes to the formation of the walls of the canal. The compact centre presents in its interior a structure of cartilage, which is progressively replaced by bone.

Ossification of the posterior semicircular canal follows well-defined chronological sequence, but with a variable ossification rate.

In the study tomographic we observed as the semicircular canals posterior are completely ossified by 25 weeks.

Key words:

Posterior semicircular canal, Computed Tomography, Ontogeny,

4. INTRODUCCIÓN

El oído es el responsable de la audición y el equilibrio. El oído humano se encuentra dividido en oído externo, oído medio y oído interno, siendo este último el primer órgano del cuerpo que se desarrolla, alcanza la configuración y el tamaño del adulto a mitad de la gestación (Anson, 1988).

Anson (1982), Olaizola (1982) y Horna (1990) describen cronológicamente el desarrollo embriológico del oído interno.

1. Desarrollo del oído interno membranoso

La formación del oído interno comienza cuando el embrión tiene una longitud vértice-cóccix de 1.5-2mm, en la tercera semana de gestación, con la aparición de unos engrosamientos del ectoblasto superficial en forma de placa denominados placodas óticas, situadas a cada lado del romboencéfalo y por encima del primer surco braquial dando lugar al epitelio del oído interno y las neuronas sensoriales.

En la cuarta semana, las placodas óticas se invaginan con gran rapidez para formar las fosas óticas, mediante los mecanismos de crecimiento e invaginación activa del mesodermo que los rodea. Entre los días 23 y 25 las placodas se sitúan superficialmente, mientras que en los días 25 y 27 se sitúan en profundidad, donde se produce un estrechamiento y fusión de sus labios dando origen al otocisto o vesícula ótica entre los días 27 y 29, cuya forma se mantiene hasta el día 30 ó 31. El otocisto se encuentra lleno de líquido y está revestido por ectodermo, y constituye el laberinto endolinfático o membranoso primitivo. Al final de la cuarta semana y principio de la quinta, la vesícula auditiva aumenta de tamaño.

En esta quinta semana (embrión de 6-7 mm) el otocisto se alarga y empieza la diferenciación de las partes del laberinto membranoso u ótico. Se forman tres pliegues: los primordios del laberinto anterior (coclear), laberinto posterior (vestibular) y saco endolinfático (proyección corta y digitiforme desde la superficie dorso-medial del otocisto).

Los dos tercios inferiores del otocisto se diferencian en dos porciones, una dorsolateral o utricular que da lugar al utrículo y los canales semicirculares, y otra ventromedial o sacular que da origen al sáculo, conducto coclear y *ductus reuniens*. El punto de unión entre estas dos porciones se denomina atrio.

A partir del día 29 un grupo de células ectodérmicas que se desarrollan en las paredes del otocisto, se distancian de la vesícula ótica para constituir las neuronas ganglionares; posteriormente se empiezan a establecer conexiones con las células ciliadas sensoriales primitivas y el ganglio auditivo emigra medialmente hacia el tubo neural.

En la sexta semana (embrión de 8-11 mm) surgen de la pared utricular del otocisto los conductos semicirculares, como divertículos o evaginaciones, en forma de bolsas aplanadas. La bolsa situada en el margen dorsal del otocisto da lugar a los conductos superior y posterior, y la bolsa situada en el margen lateral formará el conducto externo (Bergeron, 1991).

Las porciones centrales de las paredes de estas bolsas se hunden y se fusionan dando lugar a una placa epitelial que terminará reabsorbiéndose. La porción periférica de cada bolsa conserva la luz para constituir el conducto, con una abertura en cada extremo del utrículo en el conducto lateral y una abertura común en la parte posterior del utrículo que comparten los conductos superior y posterior.

Se han descrito tres genes importantes en el desarrollo del laberinto posterior según Hadrys (1998): el gen Nkx 5-1 actúa en la formación del vestíbulo, el Dlx-5 se encarga de la formación de los conductos semicirculares verticales y el gen Otx-1 para la formación del conducto semicircular lateral.

Para Arnold (2001) el laberinto membranoso determina la forma del hueso petroso al final de la semana séptima. Y dicho laberinto alcanza el tamaño adulto en la mitad del periodo de gestación (Nemzek, 1996).

2. Desarrollo del laberinto óseo

El crecimiento activo del cartílago de la cápsula ótica hace que la morfología y el crecimiento se adapten al desarrollo del laberinto membranoso y, por tanto, éste hace de guía para su desarrollo. La osificación empieza en la cóclea y posteriormente en la división de los conductos semicirculares de la cápsula ótica (Nemzek, 1996).

En la sexta semana comienza el desarrollo de la cápsula ótica mesenquimal. Su origen está en el tejido mesodérmico que rodea al otocisto. Con la diferenciación de la vesícula ótica, el mesénquima se condensa y se transforma en precartilago, éste madurará hasta convertirse en cartílago embrionario (octava-novena semana).

Según Anson y Donaldson (1992) el crecimiento del laberinto óseo se desarrolla mediante dos procesos: la regresión del cartílago que rodea los canales semicirculares, acompañada de un importante crecimiento de tejido conectivo. A la vez, el cartílago de los arcos de los canales semicirculares se convierte en indiferenciado, mientras que el cartílago del margen se reconstruye.

Simultáneamente, a la formación de los canales la zona de mesénquima próxima al laberinto membranoso se hace más laxa y se reabsorbe por vacuolización, para formar el espacio perilinfático. Estos espacios aumentan de tamaño y se fusionan hasta que dan lugar a un laberinto perilinfático continuo.

En la duodécima semana el laberinto ha alcanzado ya la forma adulta, siendo las ampollas más prominentes y los canales semicirculares más largos (Nemzek, 1996).

Durante las semanas decimosexta y decimoséptima comienza la osificación en la cápsula ótica.

Se ha descrito la osificación de la cápsula ótica a partir de 4 centros cartilagosos (según Anson y Davies, 1982): el opisótico (forma la parte inferior del peñasco, el suelo del oído medio y la envuelta del conducto carotídeo), el proótico (genera la parte ósea de la cóclea, vestíbulo, pared medial del oído medio y el canal semicircular superior), el pterótico (genera el techo del antro y del oído medio) y el epiótico (es el último que aparece y constituye la apófisis mastoides).

La osificación de la cápsula ótica transcurre entre las semanas 18 y 24; mientras que la mastoides, conducto auditivo interno, acueducto vestibular y conducto auditivo externo continúan su crecimiento después del nacimiento (Nemzek, 1996). Dzieciolowska-Baran (2007) afirma que entre las semanas 18 a la 24 en el vestíbulo óseo se encuentran distintas formas morfológicas.

La osificación se realiza de diferentes maneras. En los pericondrios aparecen osteoblastos y puentes vasculares, donde se depositan sustancias calcáreas, y posteriormente se transformarán en el endostio y el periostio,

continuando con la aparición de sistemas haversianos. Brotes osteogénicos producen invasión de la cápsula cartilaginosa lo que provoca espacios de necrosis, y los osteoblastos se depositan y forman hueso. Las áreas de cartílago que quedan se convierten en hueso intracondral, siendo la formación de hueso perióstico mucho más rápida que el reemplazo de cartílago. El hueso endocondral permanece de por vida debido a que la cápsula ótica alcanza su tamaño definitivo antes de que se produzca la osificación.

La osificación es uniforme y completa en la cápsula ótica, salvo en el área que se encuentra alrededor de la ventana oval, en la *fistula ante fenestram* y en la zona lateral del conducto semicircular externo. A mitad de la gestación está porción del canal semicircular lateral desaparece. Alrededor de la decimotercera semana desaparece la capa periostal y parte de la capa endocondral media, terminando todo este proceso con la reconstrucción del hueso periostal con un grosor variable (Bergeron, 1991).

La osificación de la capsula ótica sigue una secuencia gradual bien definida (Bach-Peterson, 1993), siendo un proceso continuo que termina de completarse solo después del nacimiento (Richard, 2010).

Canto y colaboradores en 2011 identifican con Resonancia Magnética el aparato vestibular a las 23 semanas en el 72% de los individuos, y en todos los individuos a partir de las 33 semanas, describiendo un período crítico hasta las 25 semanas, ya que en su estudio no se detectan malformaciones hasta la semana 26.

A través del estudio de diferentes fetos con Tomografía Computarizada, Porowski (2003) demuestra que los constituyentes del laberinto óseo son claros en la semana 38.

2.1 Desarrollo de los canales semicirculares

Sobre el día 49, en la séptima semana, los tres canales semicirculares han adquirido la forma y posteriormente seguirán creciendo hasta el tamaño adulto, que se alcanza a la vigesimosegunda semana de desarrollo (Mejdoubi, 2015).

Jeffery, en 2004, observa como en el desarrollo de los canales hay importantes diferencias en la velocidad de osificación, ya que los canales superiores están completamente rodeados de hueso a las 19 semanas, los posteriores entre la 21 y 22 semanas, y los laterales entre la 21 y 23 semanas.

Según cita Testut en su tratado de anatomía humana, Schönemann (1906) no encontró cambios en la morfología de los canales semicirculares, mientras que Hyrtl (1845) y Tremble (1929) coinciden en que los canales semicirculares mantienen un crecimiento constante de su longitud en el período postnatal. En la actualidad Toyoda y cols (2015) están de acuerdo en que los canales presentan un crecimiento lineal tras el nacimiento.

Los textos clásicos de anatomía citan en el desarrollo de la cápsula ótica hasta 26 centros de osificación para el hueso temporal, 17 centros primarios, de los cuales 6 son para los canales semicirculares y 9 centros complementarios de los que 3 son para los canales semicirculares.

Smith-Agreda (1985) presenta en su libro *Atlas: tratado de anatomía del sistema nervioso* un esquema de los puntos de osificación del temporal. Cita que en los canales semicirculares existen dos centros primarios y uno secundario en cada canal. Detallando estos puntos para el canal semicircular lateral, son uno externo y otro interno, para el canal semicircular superior, uno superior e inferior o vestibular, y para el canal

semicircular posterior, uno anterior o vestibular y posterior o mastoideo; más puntos secundarios o accesorios en las ampollas.

Anson (1988) observa que la osificación de la cápsula ótica comienza a partir de 14 centros que aparecen de manera consecutiva, aumentan de tamaño y se fusionan con centros preexistentes. El primer centro aparece en la parte externa de la cápsula, después aparecen los otros: cerca de la ampolla del canal posterior, cerca de la ampolla de los canales semicirculares superior y lateral, cerca de la ventana redonda, sobre la superficie lateral del conducto auditivo interno, en el interior de la cápsula coclear, en la pared superomedial del conducto auditivo interno, por encima del trayecto del conducto coclear, en el margen medial inferior del conducto auditivo interno, en el arco posterior del canal semicircular superior, en la porción superolateral de la cóclea, entre la cóclea y la entrada de la rama superior del nervio vestibular, inmediatamente debajo de este último centro y finalmente en el arco lateral del canal semicircular posterior, que se observa sobre la semana veintiuno.

Nemzek (1996) mediante Tomografía Computarizada realizada a 18 fetos entre 13.5 y 24.4 semanas, aprecia que a las 19 semanas y 3 días la rama común está rodeada por un parcial anillo de osificación, sin embargo el canal semicircular superior no es visible todavía. A las 21 semanas y 4 días el hueso forma un anillo completo alrededor de la rama común y rodea el canal semicircular superior.

Richard (2010) señaló que existen distintos ritmos de crecimiento entre los canales semicirculares, así el canal semicircular superior alcanza su tamaño final a las 23 semanas, el posterior a las 24 semanas, el lateral a las 25 semanas. Estos datos los corrobora con sus estudios histológicos, encontrando como el canal semicircular superior está rodeado por el hueso

a las 23 semanas, mientras que el tejido que rodea a los canales posterior y lateral no es hasta las 24 y 25 semanas, respectivamente, cuando muestran una osificación completa.

Por lo tanto la mineralización comienza en momentos diferentes entre 23 y 25 semanas estando completa la osificación al nacer. Lo que es contrario a la opinión de Guerrier (1988) que dice que la mineralización de la cápsula ótica no se consigue hasta los 6 meses de gestación y Carey (2000) que demostró histológicamente como el hueso, que cubre el canal semicircular superior se engrosa gradual y paulatinamente hasta los tres años de edad.

Whyte (2013) estudiando un caso de dehiscencia del canal semicircular posterior demuestra como el canal presenta su cobertura ósea completa en toda su extensión a las 24 semanas de desarrollo y a partir de ese momento crece mediante mecanismos aposicionales, en lo que se añaden nuevas capas de tejido óseo sobre la superficie preexistente.

Yus (2014) demostró histológicamente en el canal semicircular superior, que los centros de osificación siguen una secuencia cronológica bien definida, pero con un ritmo de osificación variable.

5. MATERIAL Y MÉTODOS

Nuestro estudio se basa en el desarrollo del canal semicircular posterior en embriones y fetos humanos.

El número total de series estudiadas se cifra en 39, distribuidas de la siguiente manera: 17s (1), 18s (1), 19s (4), 20s (5), 21s (4), 22s (2), 23s (4), 24s (3), 25s (2), 26s (1), 27s (1), 28s (1), 30s (1), 31s (1), 32s (2), 33s (1), 35s (1), 36s (1), 38s (3).

Para datar la edad de los fetos hemos empleado las tablas de O Rahilly y Muller, que se basan en relacionar distintas medidas (longitud máxima, longitud cráneo-talón, longitud del pie, diámetro biparietal, circunferencia abdominal y circunferencia cefálica) y pesos corporales.

La tomografía computarizada permite una detallada visualización del material en estructuras de pequeño tamaño, para lo cual se ha utilizado un escáner helicoidal multi-empalme (Philips Brillance 6). Los protocolos radiológicos para la adquisición y formato de las imágenes utilizados que han sido: 20,6 mm de colimación, 0,65 mm de espesor de corte y empalme, 0,32 de aumento de empalme, 0,75 segundos tiempo de rotación, 0,38 pitch 120 CV, 300 mAS, 1024x1024 matriz, 180 mm de campo de visión, 0,5 mm de espesor de la reconstrucción y 0,5mm de aumento de reconstrucción. Las reconstrucciones llevadas a cabo han sido coronales y en el plano del canal semicircular posterior en cada hueso temporal.

El estudio se ha realizado con la aprobación por parte del Comité de Ética de este centro, de acuerdo con las pautas marcadas de la Declaración de Helsinki de 1964.

Además hemos revisado la colección de preparaciones histológicas de temporales del Departamento de Anatomía e Histología Humanas de la Universidad de Zaragoza para poder correlacionar la imagen tomográfica con su estructura, en aquellos casos que nos han presentado duda, con el fin de verificarlos.

6. RESULTADOS

En el feto de 17 semanas de desarrollo hemos observado cómo la Tomografía Computarizada evidencia la porción escamosa del temporal (1) de la que arranca la apófisis cigomática (2) que se dirige hacia adelante. Sin embargo, no hemos visto la presencia de depósito óseo en la futura área de la apófisis petrosa o peñasco (***) (Figura 1a y 1b). En los cortes transversales de la base del cráneo de este mismo periodo se puede observar como también se están osificando los cartílagos orbito-esfenoidal (OE), ali-esfenoidal (AE), hipofisario (H) y trabécular (T).

Los primeros signos de osificación de la apófisis petrosa del temporal los hemos observado a las 18 semanas del desarrollo. Véase en la Figura 2a y 2b cómo la cóclea (CO) y el vestíbulo (VE) están en diferentes fases de osificación, mientras que la cóclea muestra una cubierta ósea completa, el vestíbulo sólo muestra distintas zonas óseas diseminadas por la parte posterior.

Así a las 19 semanas se observa en los cortes transversales de toda la base del cráneo (Figura 1e) el gran desarrollo de la cóclea (CO) y cómo en el vestíbulo (VE) se aprecian distintos puntos de actividad ósea. Este hecho nos permite hacer reconstrucciones en el plano del conducto semicircular posterior a partir de esta fecha de desarrollo.

En los fetos de 19 semanas (Figuras 2a, 2b, 2c y 2d) se aprecia con claridad la presencia de un centro primario de osificación anterior o vestibular situado en la zona inferior del vestíbulo (**), un centro de osificación complementario en las proximidades del futuro tejido compacto de la cápsula laberíntica (NC), el cual formará la pared interna del arco del

conducto semicircular posterior, y el comienzo de la osificación de la rama común con el canal semicircular superior (flecha).

En una preparación histológica (Figura 2e) podemos apreciar el conducto semicircular posterior (CoSP) y cómo alrededor de él aparece el núcleo de osificación vestibular (**), mientras que el resto del conducto está rodeado por tejido cartilaginoso.

A las 20 semanas de desarrollo la osificación muestra en el estudio tomodensitométrico (Figura 3a y 3b) como desde el núcleo vestibular del canal la osificación va progresando hacia atrás (flecha blanca). A su vez la aparición del núcleo posterior o mastoideo (NM) situado en la zona media del arco del canal y cómo se está formando la rama común con el canal semicircular superior.

En estas fechas no hemos apreciado signos de actividad ósea en la parte interior del arco del canal, ni la zona donde se realizará la fusión de los núcleos primarios del canal, ni de la rama común con el CSS.

Todos estos hechos los hemos podido comparar con preparaciones histológicas de un feto de la misma edad cronológica. Destacamos en la Figura 3c cómo el arco exterior del canal está en vías de osificación por hueso esponjoso, mientras que la cubierta interior está constituida por tejido cartilaginoso (****).

A las 21 semanas de desarrollo los hechos que resaltamos en la osificación del canal semicircular posterior son los siguientes:

- La aparición de la cubierta interior del arco del canal (1), por osificación desde el tejido de la entrecruzada de los distintos canales de la cápsula laberíntica.

- La progresión de la osificación desde los núcleos mastoideos y vestibular, pero sin terminar su transformación ósea tanto a nivel caudal como apical (fechas rojas).
- En una preparación histológica (Figura 2b) de un corte horizontal se muestra como el canal está rodeado por una fina capa perióstica interna (3), una capa media (2) en proceso de osificación endocondral con grandes lagunas entre las que se van formando trabéculas óseas, y una capa perióstica externa (1) también delgada.
- El análisis de varios fetos de 21 semanas (Figura 4c y 4d) nos ha permitido observar que en el desarrollo del canal semicircular posterior la osificación pueda ocurrir con distintos ritmos, aunque el patrón de osificación siempre sigue una secuencia cronológica bien definida, cuyo resultado será la formación de sus cubiertas óseas. Nótese como la cubierta interna no está del todo osificada (flecha blanca).

A las 22 semanas del desarrollo los núcleos de osificación vestibular y mastoideo a nivel de la cubierta exterior del canal se han fusionado a nivel caudal. No pasa lo mismo a nivel craneal, donde el núcleo mastoideo todavía no ha terminado de unirse con la rama común (flechas rojas). (Figura 5a y 5b).

En el centro compacto de la cápsula laberíntica la zona periférica está osificada, aunque en algunas reconstrucciones presenta zonas con una sutil lámina ósea, que sólo se distingue cuando magnificamos la imagen. En cambio, notamos como la zona central todavía presenta estructura cartilaginosa.

A las 23 semanas del desarrollo el canal semicircular está bien conformado, ya que en estas fechas hemos observado cómo se ha producido la fusión entre la cubierta exterior del canal y la rama común, y el canal se muestra cerrado (Figuras 5c y 5d).

A las 24 semanas de desarrollo las Tomografías Computarizadas (Figuras 5e y 5f) exhiben un canal cerrado pero con una cubierta tenue y fina, y con un grosor muy similar a lo largo del mismo. El tejido compacto que rodea al canal no ha terminado su osificación quedando en el centro una estructura que todavía conserva su naturaleza cartilaginosa. Este hecho esto lo apreciamos en un corte histológico donde se ve claramente como la pared interior del canal semicircular posterior se forma a partir del centro compacto del laberinto. En dicha preparación (figura 5f) se observa como la zona periférica del centro compacto esta osificada (1) mientras que la central sigue presentando una estructura cartilaginosa (2)

Desde este momento los estudios de imagen (Figura 6) confirman la integridad del desarrollo del canal semicircular, que presenta la cobertura ósea completa en toda su extensión, y está formada por una capa ósea cada vez más compacta y cuyo grosor es muy similar a lo largo del mismo.

Un corte histológico de una sección de un temporal de 38 semanas de desarrollo (Figura 6h) muestra cómo las paredes de dicho canal están formadas por tejido óseo compacto bien conformado, constituido por sistemas de laminillas concéntricas circundantes con las lagunas (osteoblastos), que contienen osteocitos y conductos de Volkman, en cuyo interior observamos vasos sanguíneos y fibras nerviosas.

Queremos resaltar varios aspectos que nos han llamado la atención. En primer lugar ha sido que, aunque el patrón de osificación del canal semicircular posterior siempre sigue una secuencia cronológica bien

definida y cuyo resultado será la formación de sus cubiertas óseas, éste puede tener un ritmo distinto. Nosotros hemos observado cómo se muestra en la Figura 7 variaciones del aspecto tomodensitométrico dentro de un mismo periodo de tiempo. Nótese en la Figura 7a cómo a las 20 semanas no hay indicios de núcleo de osificación mastoideo, en la Figura 7b un feto de 21 semanas de desarrollo con un canal completamente cerrado, en la Figura 7c como un feto de 23 semanas no ha completado la fusión de sus núcleos de osificación y en la Figura 7d la falta de cierre del canal por la no-fusión del centro mastoideo con la rama común en un feto de 24 semanas.

Otro detalle que queremos resaltar lo muestra la Figura 7e, donde se observa una reconstrucción en la que el canal semicircular posterior está completamente cerrado a las 27 semanas, pero su cubierta superficial presenta diferentes grosores.

Por último presentamos un defecto de cobertura ósea del canal semicircular posterior en un feto de 32 semanas de desarrollo (Figura 7f), defecto que queda abierto al espacio intracraneal en la fosa posterior y se corresponde con una dehiscencia.

7. ICONOGRAFÍA

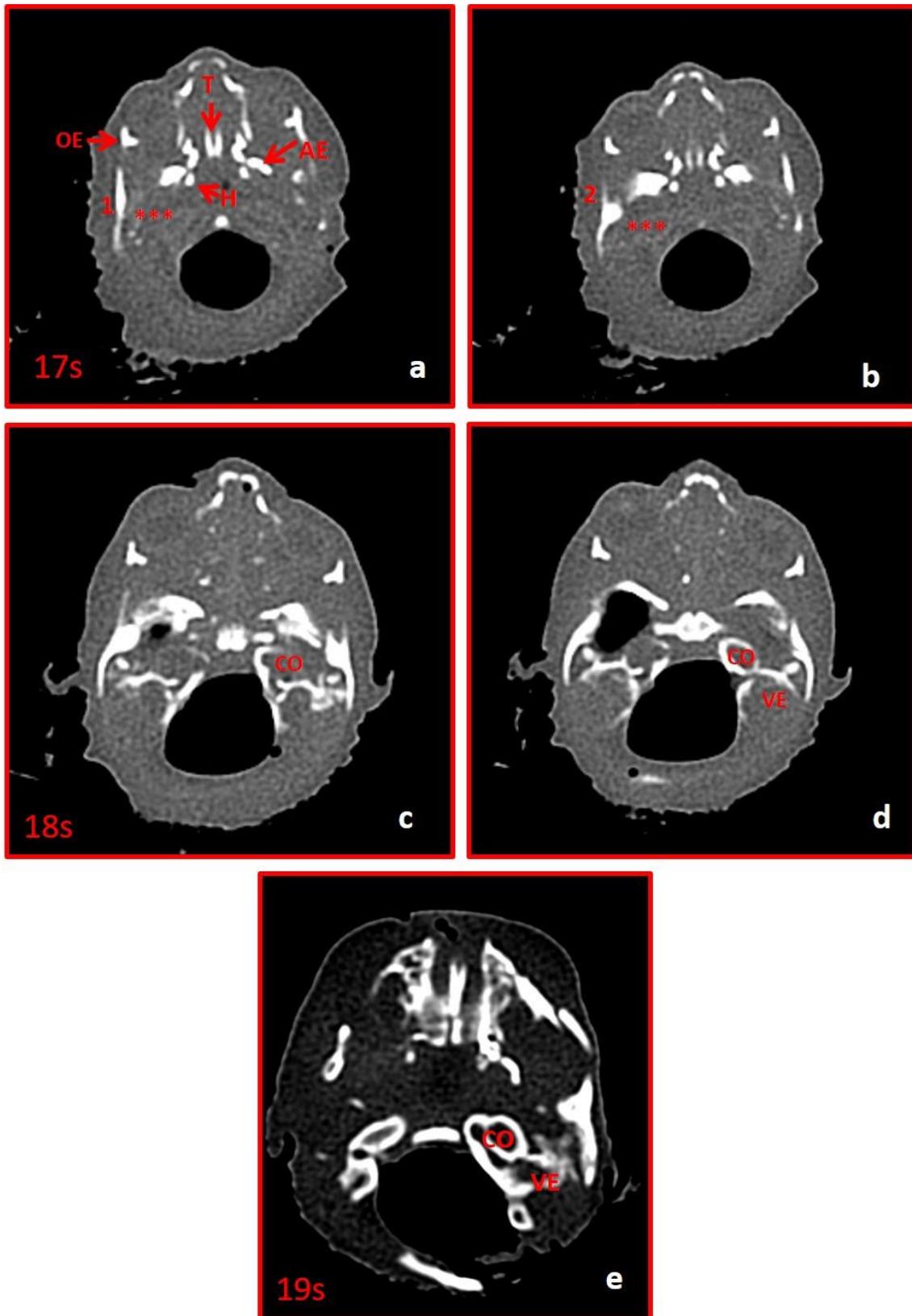


Figura 1

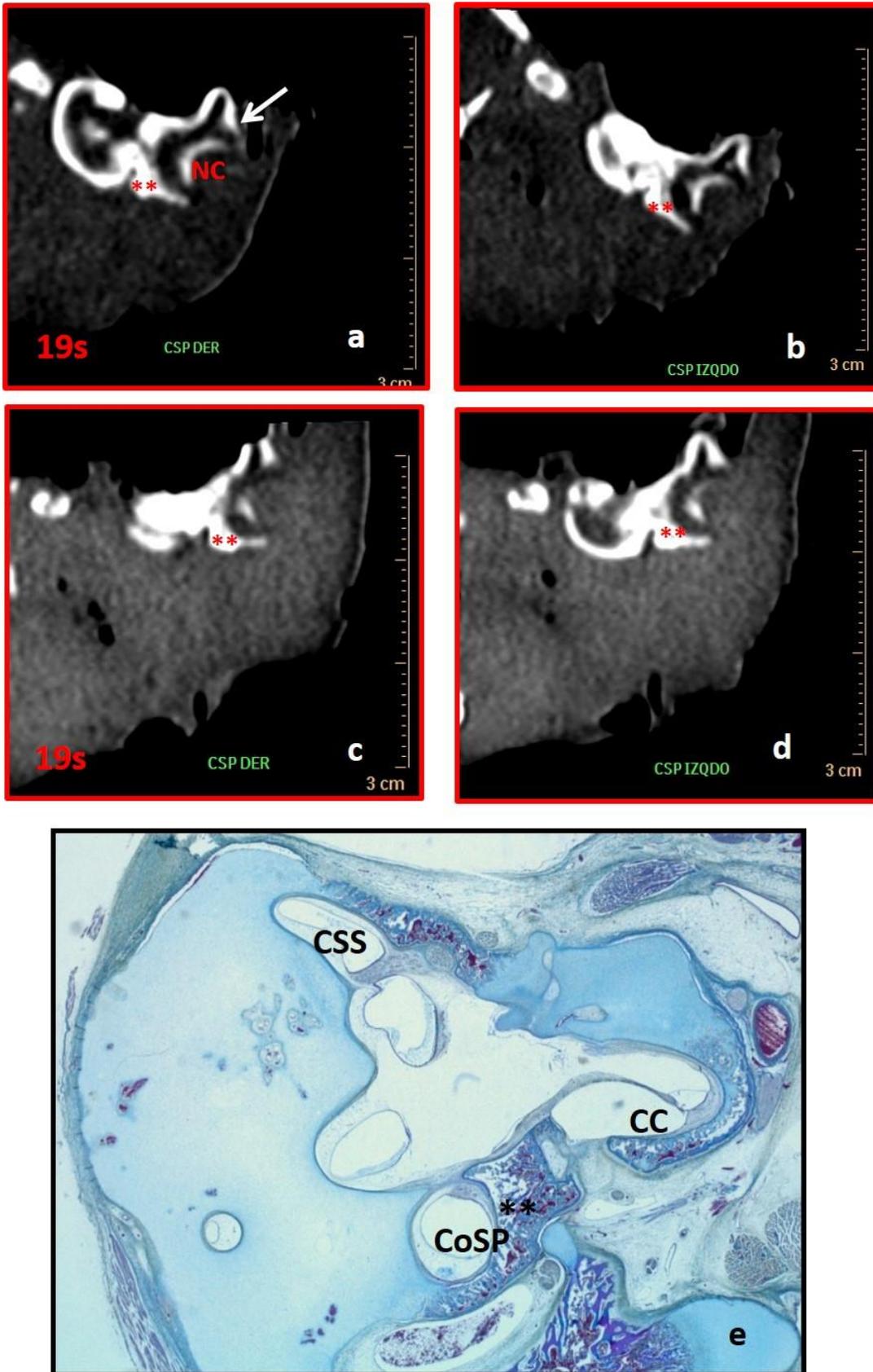


Figura 2

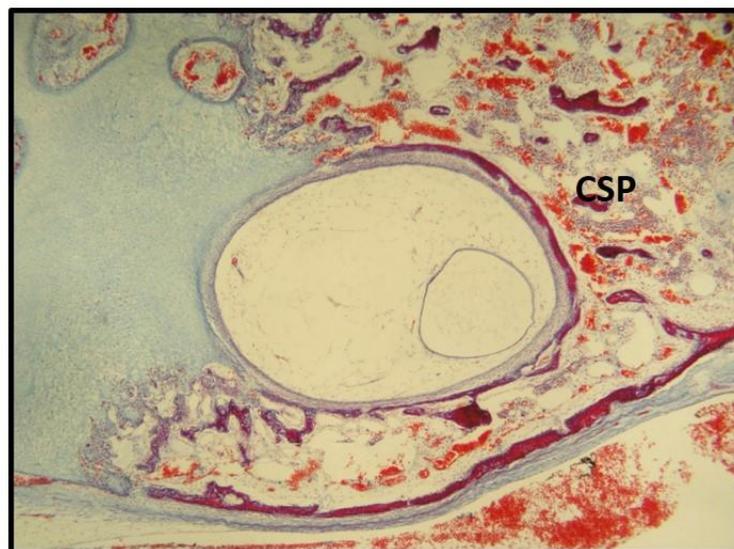
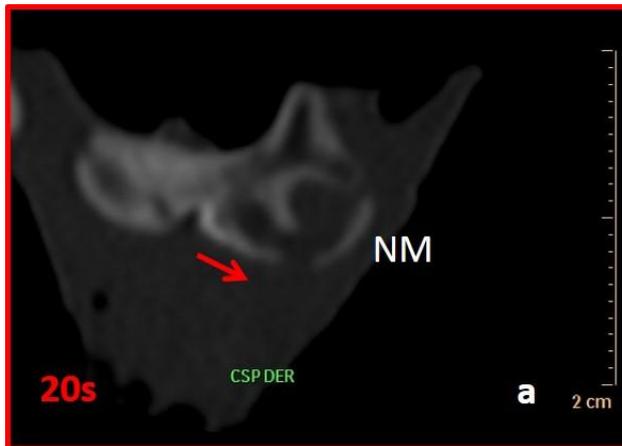


Figura 3

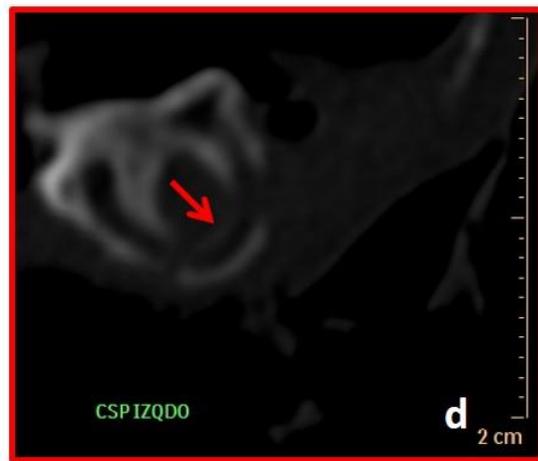
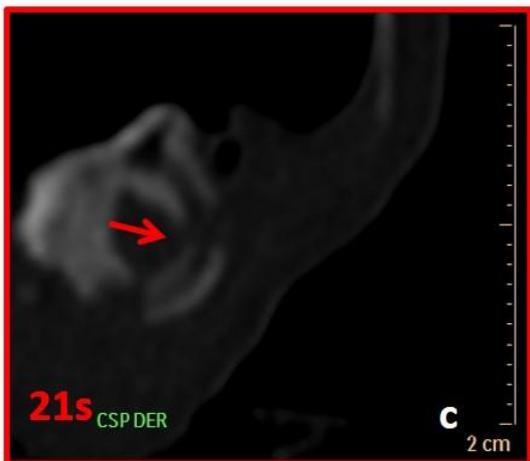
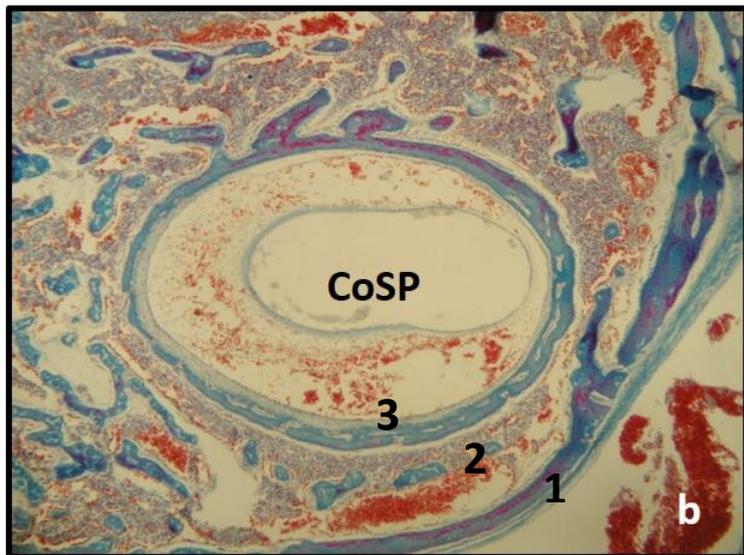


Figura 4

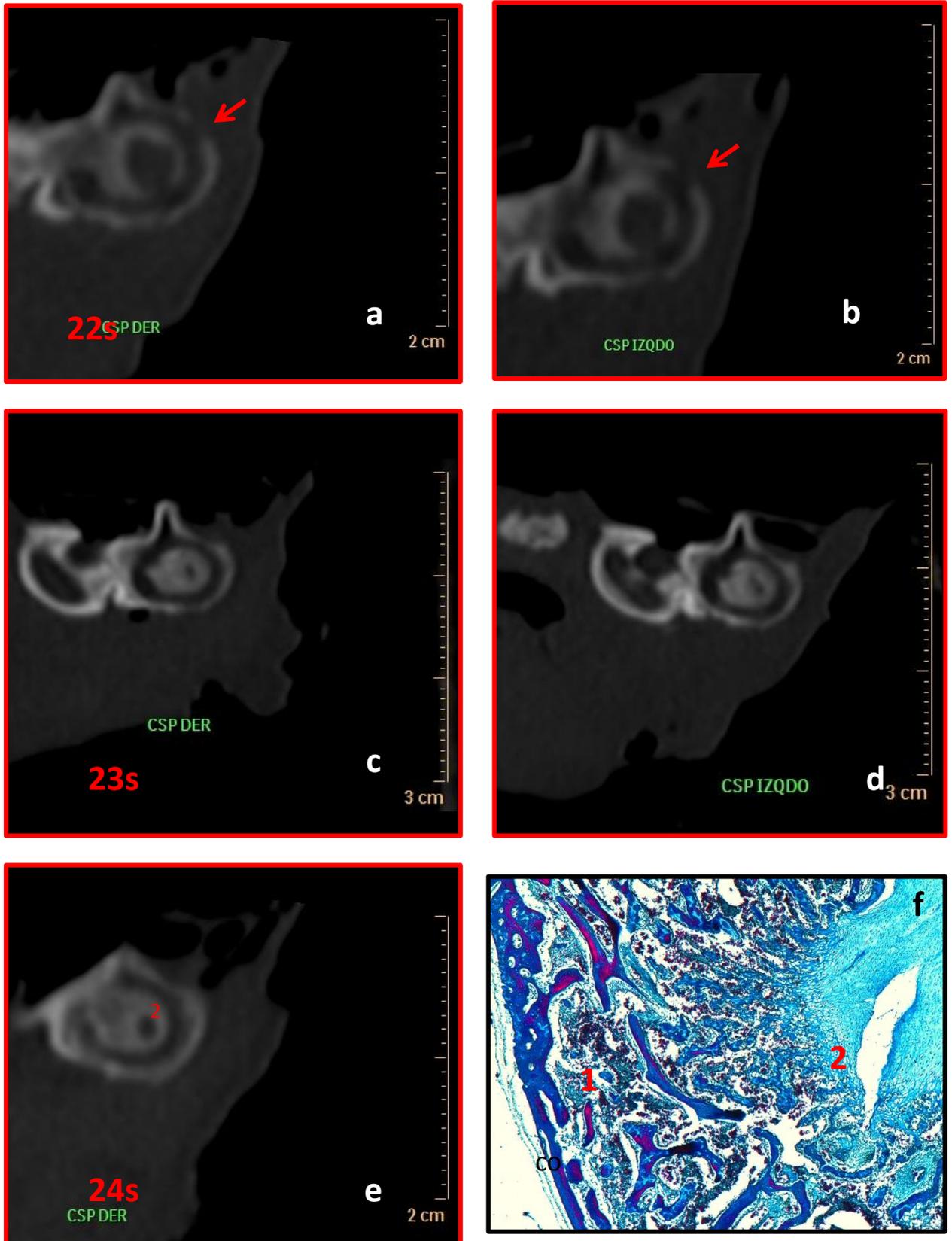


Figura 5

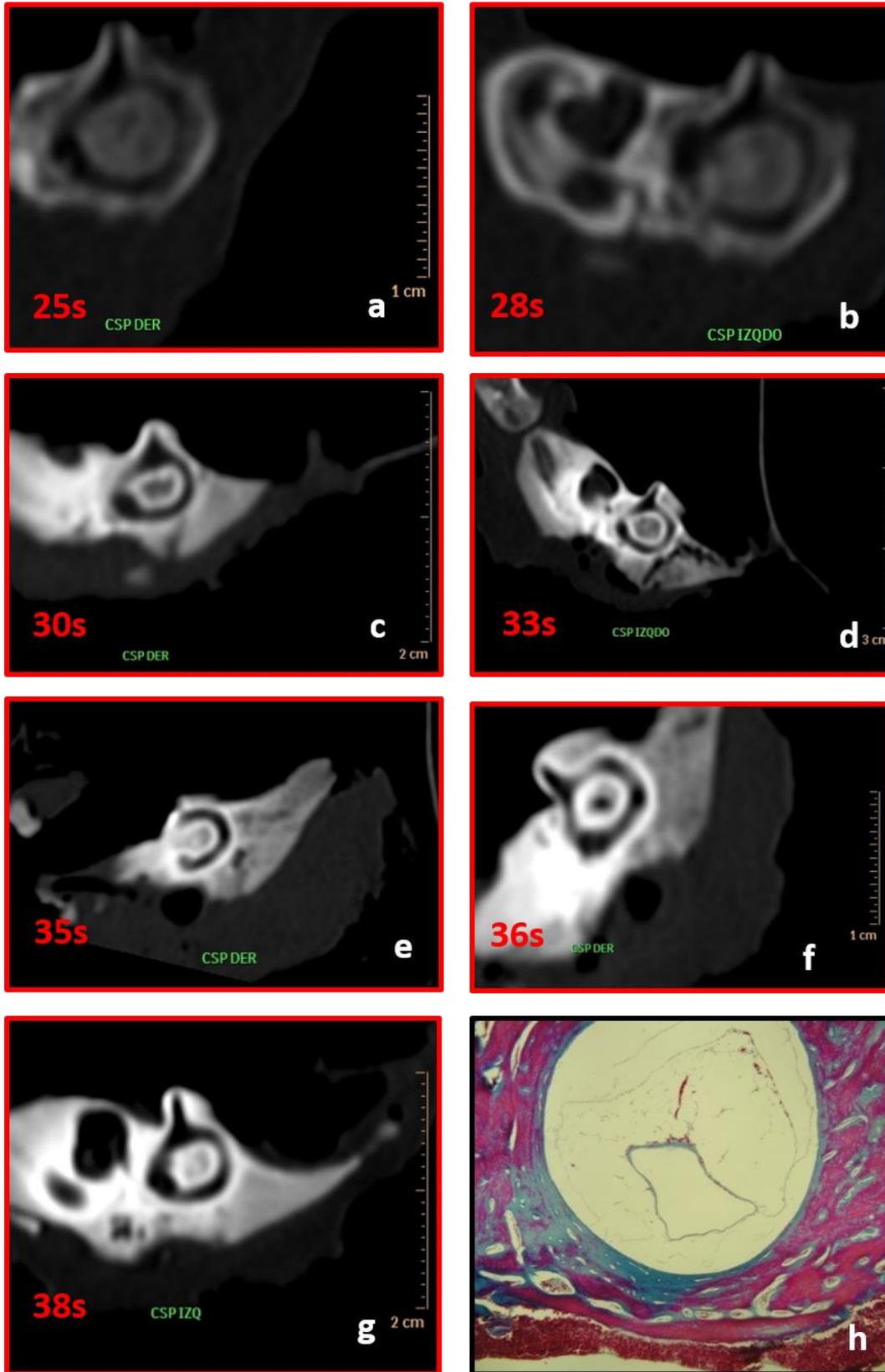


Figura 6

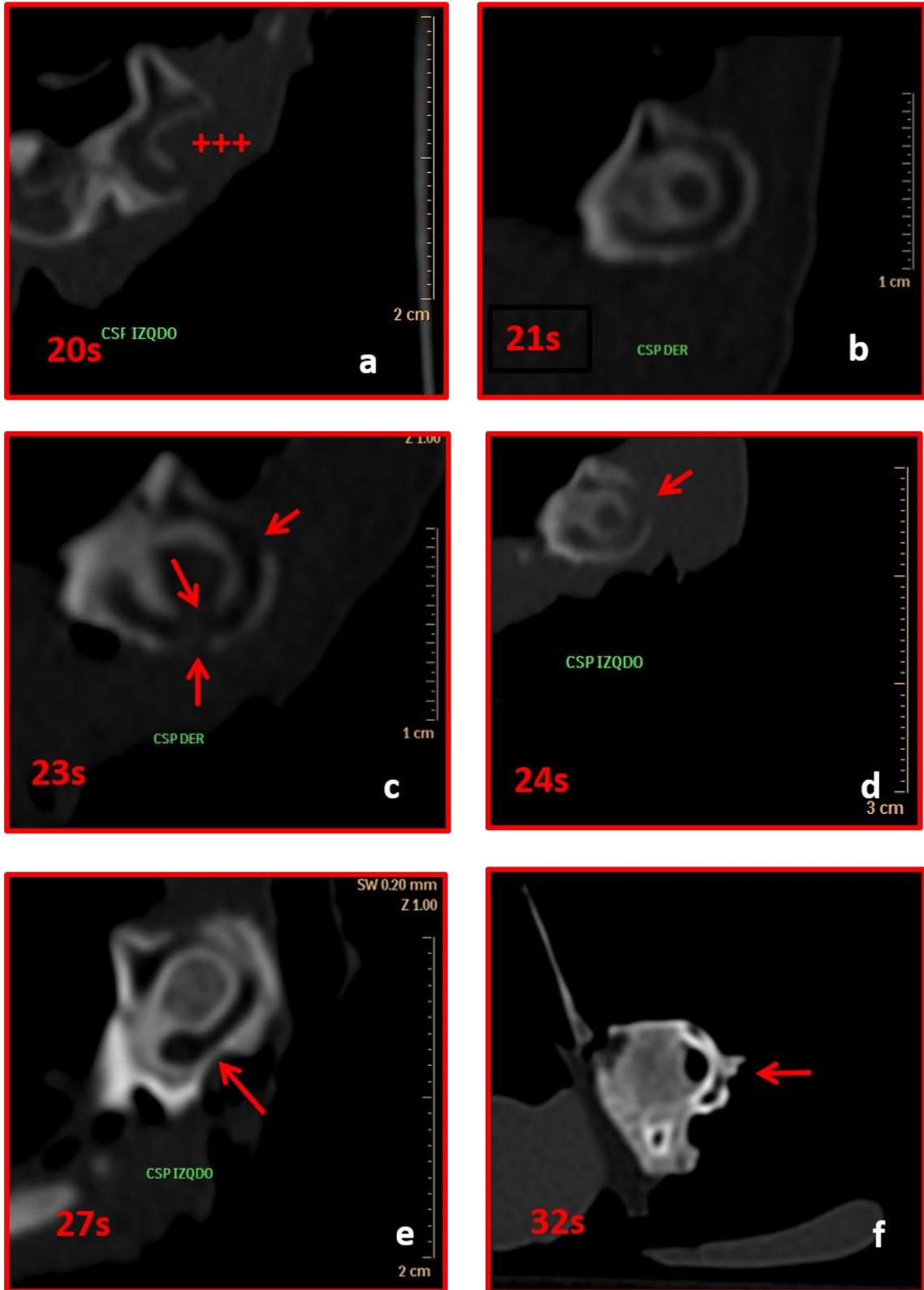


Figura 7

8. DISCUSIÓN

El laberinto membranoso ha sido estudiado desde el punto de vista ontogénico por Arnold en 2001, Hashimoto en 2005, Toyoda en 2015, describiendo su desarrollo, posición, longitud, angulación y orientación en el espacio. En cambio los trabajos sobre el laberinto óseo son escasos y solamente se refieren al comienzo y finalización de su osificación (Porowki en 2003 y Richard 2010). Esto es debido a la dificultad de obtener material humano mientras que la realización de resonancia magnética durante el embarazo no supone riesgo para el feto, no sucede lo mismo con la tomografía computarizada y para el estudio del laberinto óseo tenemos desafortunadamente que obtener el material de autopsias médico-legales.

En la actualidad la descripción por Minor (1998) del síndrome de dehiscencia del canal semicircular superior ha motivado a la comunidad científica a realizar trabajos sobre origen, clínica, diagnóstico y tratamiento de esta patología, centrándose sobre todo en el canal semicircular superior, siendo menos numerosos los trabajos sobre el canal semicircular posterior. Nosotros hemos realizado un estudio ontogénico del desarrollo tomográfico del canal semicircular posterior, que unas veces han venido a corroborar hallazgos descritos anteriormente, y en otras han dado puntos de vista diferentes.

El conducto semicircular posterior surge de la pared dorsal utricular del otocisto en la sexta semana (embrión de 8-11 mm), como una evaginación o divertículo en forma de disco común para los canales verticales (superior y posterior).

El tejido mesodérmico que rodea al laberinto membranoso, se condensa y transforma en precartilago, para posteriormente transformarse en cartílago de la cápsula ótica.

El cartílago que rodea al conducto semicircular posterior formará el canal óseo mediante una osificación de tipo endocondral.

Con la tomografía computarizada los primeros signos de osificación del vestíbulo los observamos a las 18 semanas del desarrollo, pero no ha sido hasta la semana 19 cuando hemos apreciado el comienzo de la osificación del canal semicircular posterior, este hecho también lo ha descrito Newzek (1996) y Jeffery (2004).

La reconstrucción en el plano del canal nos ha permitido tener una visión de todo el arco del canal, hecho que nos permite observar en un misma visión todos los puntos de osificación.

En nuestro estudio hemos observado como en la osificación del canal semicircular posterior intervienen varios núcleos de osificación, el primero en aparecer es el núcleo vestibular o anterior a las 19 semanas, será en esta semana cuando también apreciamos la aparición de hueso en la rama común con el canal semicircular superior. Posteriormente en la semana 20, surge el núcleo mastoideo o posterior.

Hay discrepancias sobre la aparición y nombre de los núcleos de osificación del canal posterior, para Anson (1988) existe un núcleo primario a nivel de la ampolla del canal que es el primero en aparecer mientras que Smith-Agreda (1985) lo localiza en la zona inferior y anterior del vestíbulo y describe para la osificación de la ampolla un núcleo secundario accesorio. En cambio los dos autores están de acuerdo con la aparición en segundo lugar del núcleo que osificará para formar el arco del

canal, aunque lo denominan de distinta forma: núcleo lateral del canal semicircular posterior o núcleo mastoideo o posterior respectivamente.

A la osificación del canal hay que añadir la intervención de la rama común de los canales verticales (superior y posterior) que se origina en el núcleo inferior o vestibular del canal semicircular superior y termina fusionándose con el arco del canal semicircular posterior.

Con respecto a la rama común, Nemzek (1996) al igual que nosotros observa en la semana 19 un anillo parcial de osificación alrededor de ella que se interrumpe en la zona craneal del canal posterior. Al estudiar preparaciones histológicas de fetos de 19 semanas hemos apreciado como esa interrupción es debido a que la zona de unión entre la rama y el canal semicircular presenta una estructura cartilaginosa. Este autor no cita cuando se completa dicha osificación. Nosotros hemos observado que se realiza a las 23 semanas.

Un papel fundamental en la osificación de canal semicircular posterior y que no hemos visto reflejado en la bibliografía es el futuro centro compacto del canal, ya que contribuirá a la formación sus paredes.

La osificación del centro compacto la hemos observado en la semana 19. De la semana 19 a la 22, vemos como este núcleo va formando la pared interior del canal y es en la semana 23 cuando dicha pared está formada. Sin embargo, el núcleo compacto en su interior presenta una estructura cartilaginosa que desaparecerá progresivamente siendo sustituido por hueso.

Nosotros hemos apreciado que la osificación del canal semicircular posterior sigue una secuencia cronológica bien definida, pero con un ritmo de osificación variable; este hecho hace que hayamos observado cómo

diferentes fetos de una misma edad cronológica presentan fases distintas en estadios de osificación tal y como se puede observar en la figura 7a, b, c y d. Este hecho también lo han descrito Bach-Peterson (1993) en la osificación de la apófisis petrosa del temporal o Yus en el 2014 en el canal semicircular superior.

Nosotros hemos visto como el cierre del canal en el estudio tomográfico es a las 23 semanas, un poco antes de lo que describe Richard (2010). Aunque como hemos comentado con anterioridad hemos podido observar que existen excepciones, ya que tenemos un feto que a la semana 21 tiene el canal cerrado (7 b) y otros a las 24 semanas (7d) está todavía sin terminar su osificación, ya que no se ha producido la fusión de la rama común de los canales verticales con el núcleo mastoideo. Esto nos hace pensar que existe un periodo crítico en el desarrollo de la osificación del canal que fijamos entre las semanas 21 a las 25 fechas en las que el canal se cierra. Este hecho pensamos que es debido a la rapidez y la complejidad de los cambios que se producen durante su desarrollo.

Para terminar queremos reflexionar sobre dos peculiaridades que hemos percibido en nuestro trabajo y que pudieran tener una repercusión clínica. La primera es que hemos observado un feto de 27 semanas (Figura 7e) que aunque el canal estaba cerrado presentaba una zona con un importante adelgazamiento de la pared, y la segunda es un feto de 32 semanas (Figura 7f) cuya pared estaba abierta hacia la fosa cerebral posterior. Estos hechos nos han llevado a pensar que en el primer caso debido a la delgada pared, se podría producir una ruptura de dicha pared y producirse así una dehiscencia adquirida, y en el segundo que la pared no llegue a cerrarse, produciendo una dehiscencia congénita.

9. CONCLUSIONES

La osificación del canal semicircular posterior se realiza a partir de dos centros primarios, uno anterior o vestibular que aparece a las 19 semanas, y otro posterior o mastoideo a las 20 semanas.

Para completar su osificación intervienen el núcleo inferior del canal semicircular superior, que forman la rama común, y el centro compacto del laberinto.

Los canales semicirculares posteriores siguen una secuencia cronológica bien delimitada, pero con un ritmo de osificación variable.

En el estudio tomográfico hemos observado como los canales semicirculares posteriores están completamente osificados a las 25 semanas.

10. BIBLIOGRAFÍA

ANSON BJ, DAVIES J. Embriología del oído. En: Otorrinolaringología. Paparella-Shumrick. Buenos Aires: Ed. Médica Panamericana: 1982

ANSON BJ. Anatomía y embriología. En: Enfermedades de la nariz, garganta, oído, cabeza y cuello. *Ballenger JJ. Ed. Salvat, 1988.*

ARNOLD WH, LANG T. Development of the membranous labyrinth of human embryos and fetuses using computer aided 3D-reconstruction. *Ann Anat. 2001 183(1):61-6.*

BACH-PETERSON S, KJAER I. Ossification of lateral components in the prenatal cranial base. *J Craniofac Genet Dev Biol 1993; 13: 76-82.*

BERGERON RT. Introduction to the temporal bone. En: Head and Neck Imaging. *Som PM, Bergeron RT. Ed. Mosby 1991: 927-934.*

CANTO M, TEIXEIRA J, RAININKI R, WIKSTROM J. The ear in fetal MRI: what can we really see?. *Neuroradiology.2011-53:1001-1008*

CAREY JP, MINOR LB, NAGER GT. Dehiscence or thinning of bone overlying the superior semicircular canal in a temporal bone survey. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg 2000; 126: 137-147.*

CARLSON B. Embriología Humana y Biología del Desarrollo. ED Harcourt, 2000.

DZIECIOŁOWSKA-BARAN E. Development of the osseous structures of internal ear in human foetuses. *Ann Acad Med Stetin. 2007; 53 (3):10-9.*

GUERRIER Y. Anatomie a l'usage des oto-rhino-laryngologistes et des chirurgiens cervico-faciaux. 1, anatomie chirurgicale de l'os temporal, de l'oreille et de la base du crane. *La Simarre.1988.*

HADRY S T. Nkx-5 controls semicircular canal formation in the mouse inner ear. *Development 125:33-39, 1998.*

HAMILTON WJ, BOYD JD, MOSSMAN HW. Embriología humana. Buenos aires, Ed. Intermédica, 1973.

HASHIMOTO S, NAGANUMA H, TOKUMASU K. Three-dimensional reconstruction of the human semicircular canals and measurement of each membranous canal plane defined by Reid's stereotactic coordinates. *Ann Otol Rhinol Laryngol. 2005;114(12):934-8*

HORNA J, GAMBOA J, JORDA JV, OLAIZOLA F. Embriología del oído. En: Malformaciones genéticas de oído y su tratamiento. Olaizola F. Madrid, Ed. Garsi, 1990: 19-30.

JAMES A. DONALDSON, LARRY G. DUCKERT, PAUL M. LAMBERT, AND EDWIN W. RUBEL. Anson-Donaldson Surgical Anatomy of the Temporal Bone (ed 4) *New York, NY, Raven Press, 1992, 562 pages*

JEFFERY N, SPOOR F. Prenatal growth and development of the modern human labyrinth. *J Anat 2004; 204(2): 71-92.*

LANGMAN J. Embriología Médica. Buenos Aires, Ed. Panamericana, 1981.

MEJDOUBI M, DEDOUT F, MOKRANE FZ, TELMON N. Semicircular canal angulation during fetal life: a computed tomography study of 54 human fetuses. *Otol Neurotol. 2015;36(4):701-4.*

MINOR LB, SOLOMON D, ZINREICH JS, ZEE DS. Sound- and/or pressure-induced vertigo due to bone dehiscence of the superior semicircular canal. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1998; 124: 249-258.

MOORE K, PERSAUD TVN. Embriología Clínica. McGraw-Hill Interamericana 1999.

NEMZEK WR, BRODIE HA, CHONG BW, BABCOCK CJ, HECHT ST, SALAMAT S, ELLIS WG, SEIBERT JA. Imaging Findings of the Developing Temporal Bone in Fetal Specimens. *Am J Neuroradiol* 1996; 17: 1467-1477.

O'RAHILLY R y MULLER F. Embriología y Teratología Humanas. Ed MASSON. Barcelona 1998.

OLAIZOLA F, HORNA J. Embriología del oído. *Acta Otolaringol Esp* 1982; 33: 11-29.

POROWSKI L, RADZIEMSKI A, PIOTROWSKI A, SKÓRZEWSKA A, WOZNIAK W. The fetal development of the human osseus labyrinth in a computed tomographic study. *Folia Morphol* 2003; 62(3): 281-283.

RICHARD C, LAROCHE N, MALAVAL L, DUMOLLARD JM, MARTIN CH, PEOCH M, VICO L, PRADES JM New insight into the bony labyrinth: a microcomputed tomography study. *Auris Nasus Larynx*. 2010; 37 (2): 155-61.

SIEBENMANN F. Die Blutgefäße im Labyrinth des menschlichen Ohres. Wiesbaden 1894; 1-33.

SMITH-AGREDA V, FERRES TORRES E Y MONTESINOS CASTRO-GIRONA M. Atlas-Tratado de Anatomía del Sistema Nervioso con introducción a la clínica y EEG. *Ed Gregori. Valencia* 1985.

TESTUT L, LATARJET A. 1951. Tratado de Anatomía Humana. Barcelona: Ed. Salvat; 1951.

TOYODA S, SHIRAKI N, YAMADA S, UWABE C, IMAI H, MATSUDA T, YONEYAMA A, TAKEDA T, TAKAKUWA T. Morphogenesis of the Inner Ear at Different Stages of Normal Human Development. *Anat Rec (Hoboken)*. 2015 298 (12):2081-90.

WHYTE J, CISNEROS A, MARTÍNEZ C, GRACIA-TELLO B, WHYTE A, CROVETTO R Y CROVETTO M. Congenital dehiscence in the posterior semicircular canal *Otology & Neurootology*. 2013; 34 (6) 1134-1137.

YUS C, CISNEROS A, OBÓN J, CROVETTO R; FRAILE J CROVETTO MA Y WHYTE, J. Peculiaridades en el desarrollo del canal semicircular superior. *Acta Otorrinolaringol Esp*. 2014. 65: 237-241