

Trabajo Fin de Grado
Grado en Medicina

Estudio sobre la arteria estapedia en la rata blanca, en el hombre y en el gato. Consecuencias clínicas de su persistencia en el hombre. Importancia de la arteria estapedia en el desarrollo embriológico.

Egilea /Autor:

Rut Miguel Gómez

Zuzendaria / Director/a:

Ana Salomé Sánchez Del Rey

© 2018, Izen-abizenak jarriz babes dezakezu, edo, bestela, CC
lizentzia batekin. / Se puede proteger poniendo nombre y
apellidos/o con una Licencia CC:

<http://es.creativecommons.org/blog/licencias/>

ÍNDICE

1. Introducción	1
Recuerdo embriológico del desarrollo del arco aórtico y los sistemas carotídeos en el hombre	2
2. Objeto de este estudio	6
3. Material y métodos	6
Material	6
Métodos	7
4. Hallazgos	8
La arteria estapedia en el feto humano y en el neonato	8
La arteria estapedia en la rata blanca	11
La arteria estapedia en el gato: felis catus	12
5. Discusión	24
6. Conclusiones	31
7. Bibliografía	32

1. INTRODUCCIÓN

La arteria estapedia es un vaso que aparece en el período embrionario humano, en el proceso de formación y desarrollo de los arcos aórticos. Durante el mismo, esta arteria juega un papel importante en el desarrollo de la circulación sanguínea craneal, pero degenera en la décima semana de vida fetal ^[1, 2 3]. En raras ocasiones, esta arteria persiste en humanos, denominándose arteria estapedia persistente, cuya prevalencia oscila entre el 0,02 y el 0,48% ^[1, 2. 4]. La arteria estapedia persistente aparece en diversas especies de mamíferos, de forma o completa o parcial, sin embargo, como ya se ha mencionado, es rara en el hombre ^[1, 3, 5].

La persistencia de la arteria estapedia en humanos se ha relacionado con diversas patologías, como hipoacusia de transmisión, tinnitus pulsátiles y con complicaciones perioperatorias derivadas de la sección de esta arteria, como sangrado profuso durante la cirugía incluso parálisis facial, hemiplejía, tabes dorsalis y deterioro auditivo y vestibular de origen central^[2, 6].

El objetivo de este documento es, por una parte, el estudio de la arteria estapedia en la rata embrionaria y adulta, dado que es el único animal que desarrolla esta arteria como patrón de la normalidad. La segunda parte será establecer un estudio comparado con el hombre y posteriormente con el gato. Por otra parte, se realizará una revisión en la literatura acerca de este vaso y de las consecuencias clínicas derivadas de su persistencia en el ser humano.

Para comprender mejor el papel de la arteria estapedia en la formación de la circulación sanguínea craneal y las consecuencias de su persistencia en el hombre, a continuación se expone un recuerdo embriológico del desarrollo de los arcos aórticos y los sistemas carotídeos en el hombre.

1.1. RECUERDO EMBRIOLÓGICO DEL DESARROLLO DEL ARCO AÓRTICO Y DE LOS SISTEMAS CAROTÍDEOS EN EL HOMBRE

Altmann es el autor que más detalladamente describe el desarrollo de los arcos aórticos, también House et al. y Hogg et al. lo explican, centrándose en el desarrollo de la arteria estapedia:

El embrión humano posee seis arcos faríngeos, separados externamente por las hendiduras faríngeas e internamente por las bolsas faríngeas. En el desarrollo del sistema vascular, seis ramas surgen ventralmente de ambos lados del arco aórtico, atraviesan los arcos faríngeos y desembocan dorsalmente en la aorta dorsal (**Figura 1**). Estos arcos aórticos se desarrollan de adelante hacia atrás, y los seis pares no están presentes al mismo tiempo ^[5].

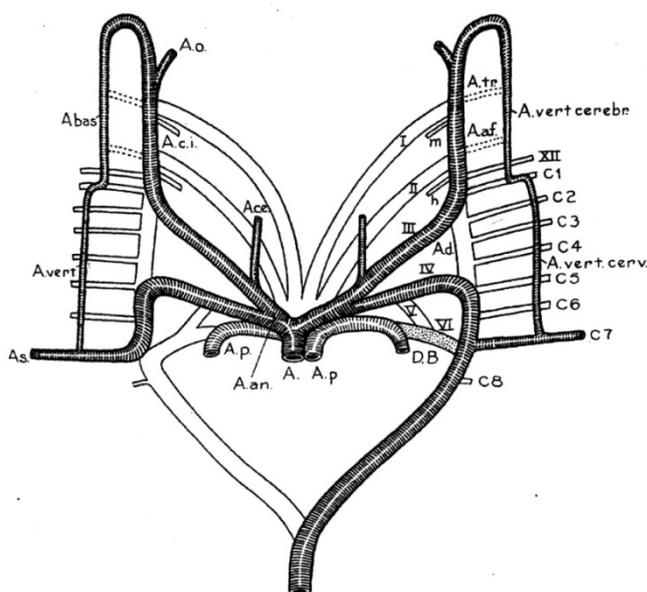


Figura 1. Diagrama que muestra el desarrollo de las arterias del cráneo en el hombre. A. (aorta). A.a.f. (arteria acusticofacial). A.an. (arteria innominada). A.bas. (arteria basilar). A.c.e. (arteria carótida externa). A.c.i. (arteria carótida interna). A.d. (aorta dorsal). A.e. (arteria oftálmica). A.p. (arteria pulmonar). A.s. (arteria subclavia). A.t.r. (arteria trigeminal). A.vert. (arteria vertebral). A.vert.cerebr. (arteria vertebral cerebral). A.vert.cerv. (arteria vertebral cervical). c1-c8 (ocho primeras arterias segmentarias cervicales). D.B. (Ductus Botalli). I-IV (seis primeros arcos aórticos). XII (arteria hipoglosa). Figura procedente del trabajo de Altmann et al ^[5].

En el período de tres a cuatro semanas en el humano y 11.5 a 13 días en la rata, la mayor parte del patrón vascular primitivo de la cabeza está formado. En este período, el tercer arco aórtico se encarga de suplir la región cefálica, mientras que el cuarto y sexto arco irrigan el resto del cuerpo y la placenta. A consecuencia de esto, el segmento de la aorta dorsal entre el tercer y cuarto arco aórtico disminuye su tamaño y se denomina conducto carotídeo^[6].

En embriones mayores de 13mm, la porción de la aorta dorsal entre el tercer y cuarto arco aórtico de cada lado desaparece. El saco aórtico, su cuerno izquierdo y el cuarto arco aórtico izquierdo forman el cayado de la aorta definitiva. El cuerno derecho del saco aórtico se convierte en la arteria anónima^[5].

Del tercer arco aórtico surgen la arteria carótida común (parte proximal del tercer arco aórtico) y la raíz de la arteria carótida interna (parte distal del tercer arco aórtico), mientras que el tallo de la arteria carótida común proviene del segmento de la aorta dorsal entre el tercer y primer arco aórtico^[5].

En embriones de 4mm, la arteria carótida interna se extiende más allá del primer arco aórtico. Primero se dispone hacia delante, luego gira dorsalmente y después caudalmente. Da la rama oftálmica, que irriga la vesícula óptica y luego se divide en una rama anterior (arterias coroidal anterior, cerebral anterior y media) y una posterior. Esta última discurre caudalmente para unirse a las arterias vertebrales cerebrales. Originalmente continúa como la arteria cerebral posterior y después se convierte en la arteria comunicante posterior^[5].

La arteria carótida externa primero se sitúa cerca de la línea media, pero a medida que se desarrolla se va desplazando lateralmente. En cuanto a sus ramas, en embriones de 14 mm se pueden observar las arterias tiroidea superior, lingual y occipital, mientras que en embriones de 15.5mm aparecen también las arterias auricular posterior y temporal superficial^[5].

En la parte segmentada del cuerpo, la aorta dorsal y la arteria carótida interna emiten unas ramas dorsales segmentadas, llamadas arterias segmentarias. En la parte no segmentada de la cabeza, emiten las ramas presegmentarias dorsales. Estas arterias,

en embriones humanos, conectan la arteria carótida interna con la arteria vertebral cerebral [5].

En la región occipital, se forman cuatro arterias segmentarias. Las tres superiores se denominan arterias hipoglosas (por su relación con el nervio hipogloso). La cuarta, arteria postoccipital o cervical I, transcurre por el límite entre la región occipital y la región cervical y se relaciona con el nervio postoccipital o cervical I. En cierto estadio, las arterias carótidas internas se comunican con la aorta dorsal mediante la arteria vertebral cerebral y las arterias hipoglosas, posteriormente, las arterias vertebrales cerebrales se unen para formar la arteria basilar. La arteria vertebral cerebral se comunica caudalmente con la arteria vertebral cervical (que se forma mediante anastomosis longitudinales entre arterias segmentarias cervicales) [5].

El primer y el segundo arco aórtico desaparecen, y sus correspondientes arcos faríngeos son ocupados por dos canales: la arteria mandibular y la arteria hioidea. Estas arterias desembocan en un plexo en la región subfaríngea e irrigan los arcos faríngeos. Sólo la arteria hioidea se puede encontrar en estadios más avanzados y constituye la raíz de la arteria estapedial [5].

La arteria estapedial es un derivado del segundo arco aórtico que conecta con el primer arco. Aparece en el embrión a las 4,5 semanas y termina de desarrollarse a las 6,5 semanas, para desaparecer en el tercer mes de desarrollo fetal humano. Se relaciona estrechamente con el desarrollo de los estribos, ocupando una posición central en el blastema estapedial, lo que permite que se produzca el foramen obturador y la forma anular de los estribos [3].

En embriones de 12- 15 mm, la arteria estapedial se divide en tres ramas, que acompañan a las tres ramas del nervio trigémino (**Figura 2, A**). La rama superior o supraorbitaria se dirige al área que posteriormente será irrigada por la arteria meníngea media y a la órbita, Las ramas infraorbitaria y mandibular se originan de un tronco común, y posteriormente se transformarán en las arterias infraorbitaria y alveolar. En embriones de 15-17 mm, se produce una anastomosis entre la arteria carótida externa y la raíz de la arteria estapedial (en el lugar donde posteriormente se dividirá en la rama infraorbitaria y mandibular). Esta anastomosis se convertirá más

tarde en la arteria maxilar interna (ver **Figura 2, B**). Por otra parte, la parte de la arteria estapedia que se encuentra entre la arteria carótida interna y el origen de la rama supraorbitaria se atrofia. Finalmente, las tres ramas de la arteria estapedia reciben irrigación de la arteria carótida externa (ver **Figura 2, D**). La arteria timpánica anterior, que se origina de la arteria maxilar interna y se dirige a la cavidad timpánica, es posiblemente un remanente de la parte distal del tallo atrofiado de la arteria estapedia^[5].

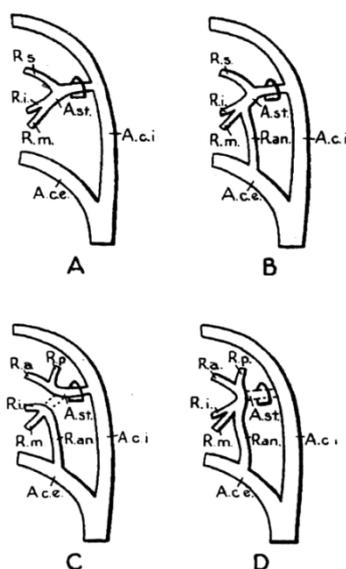


Figura 2. Diagrama que muestra los cambios en el desarrollo de la arteria estapedia y de sus ramas en el hombre. A. Embrión de 12-15mm; B. Embrión de 15-17mm. C. Embrión de 20 mm. D. Estadios posteriores. A.c.e. (arteria carótida externa). A.c.i. (arteria carótida interna). A.st. (arteria estapedia). R.a. (rama anterior de la arteria meníngea media). R.an. (rama anastomótica entre a arteria carótida externa y la arteria estapedia). R.m. (rama mandibular de la arteria estapedia). R.p. (rama posterior de la arteria meníngea media). R.s. (rama supraorbitaria de la arteria estapedia). Figura procedente del trabajo de Altmann et al ^[5]

Como ya se ha mencionado, la persistencia de la arteria estapedia es rara en hombres. Esta situación sucede cuando, durante este proceso, el tronco principal de la arteria estapedia persiste e irriga la rama superior o supraorbitaria, mientras que las dos ramas inferiores pierden su conexión con el tronco principal y reciben irrigación de la arteria carótida externa a través de la arteria maxilar interna (**Figura 2, C**) ^[3]. De la arteria estapedia surge una rama ascendente que se convierte en la arteria meníngea media y después continúa hacia la órbita. La arteria maxilar interna da otras dos ramas. Si esto es cierto, se podría asumir que la porción intracraneal de la arteria meníngea media se desarrolla a partir de la rama ascendente de la arteria

estapedial en un estadio más temprano que la porción extracraneal. Esta última sería una conexión secundaria entre la arteria estapedial y la arteria maxilar interna [5].

2. OBJETO DE ESTE ESTUDIO

En una primera parte estudiaremos la arteria estapedial en la rata embrionaria, especímenes postnatales y rata adulta dado que es el único animal que desarrolla esta arteria como patrón de normalidad. Describiremos la arteria estapedial desde el punto de vista morfológico: la situación de la arteria, sus relaciones anatómicas con otras estructuras del oído medio; y desde el punto de vista morfométrico: sus variaciones en el diámetro con la edad gestacional y su distancia al ganglio geniculado en los diferentes especímenes.

La segunda parte de este estudio tratará de establecer si la arteria estapedial está presente o no también en los fetos humanos y en el recién nacido dado que Hogg et al. observan la arteria estapedial en fetos humanos de 8 a 10 semanas [6]. Asimismo, describiremos el proceso de osificación del canal facial en el desarrollo fetal humano y la posible influencia de la ruta de la arteria estapedial en la caja timpánica en la aparición de dehiscencias en dicho proceso que determinen malformaciones.

Posteriormente se establecerá el estudio comparado con el proceso de maduración de los distintos elementos que integran el oído medio del gato.

3. MATERIAL Y METODOS

3.1. MATERIAL

Se ha utilizado material humano, de rata blanca y de gato (*Felis catus*), para un estudio con microscopía óptica.

En cuanto al material humano, se han empleado especímenes procedentes de abortos espontáneos obtenidos en el Servicio de Ginecología del Hospital de Basurto (Bilbao). El intervalo entre la muerte y la fijación del feto en líquido de Bouin (ácido pícrico, formaldehído más ácido acético) varió entre 8-12 h. Las características de la longitud corono-caudal (c.r.l.) de los especímenes fueron las siguientes: 45, 90, 134,

145 y 270 mm, que corresponden a 9, 14, 17, 18 y 30 semanas. También se incluyó un neonato de 1 día de edad (360mm c.r.l.) que había muerto por un síndrome de muerte repentina. Este último espécimen precisó una decalcificación suplementaria en una solución de 4% de ácido nítrico y alcohol.

El material de rata blanca webster procedía del animalario de la Facultad de Medicina en Leioa. Los embriones tenían la siguiente edad: 16, 18 y 20 días. Las ratas postnatales tenían 3, 6, 10, 13 días y una rata adulta. La edad gestacional de las ratas fue determinada con la técnica del frote vaginal, considerando el primer día de gestación con la observación del flujo mucoide. Las hembras preñadas fueron decapitadas. Seguidamente se practicó una cesárea y los embriones introducidos directamente en el líquido fijador (solución de Bouin). Las ratas postpartum fueron decapitadas y a continuación se aislaron los huesos temporales y se introdujeron en el líquido fijador.

El material de gato se obtuvo de dos gatos doméstico de unos meses de edad, aparentemente sanos, que después de ser anestesiados con una solución de hidrato cloral-morfina intraperitoneal, fueron decapitados. Las cabezas se fijaron en solución de Bouin, para posteriormente aislar los huesos temporales.

3.2. MÉTODOS

Todo este material de rata, humano y de gato, fue incluido en parafina, cortado axial, sagital o coronalmente de una manera seriada y con un espesor de alrededor de 15 a 20 μm . Los planos de corte utilizados en el humano fueron: axial para el espécimen de 45 mm de c.r.l, sagital para los de 74 y de 90 mm y coronal para los de 145, 270 y 360 mm. En lo que al gato adulto se refiere, a la pieza se le practicaron cortes seriados en el plano coronal de espesor entre 10 y 20 μm . Los embriones de rata fueron cortados de forma seriada con un espesor entre 5 y 20 μm en el plano axial.

Posteriormente, se procedió a su tinción con hematoxilina & eosina, ácido periódico de Schiff (PAS), tricrómico de Goldner, tricrómico de Masson y reticulina de Gomori.

Este estudio se ha realizado con un microscopio óptico Eclipse 5 Oi, previamente calibrado micrométricamente y adaptado con una vídeo-cámara Nikon DS-Fi 1.

Los datos histo-morfométricos fueron obtenidos y procesados con un programa semiautomático de análisis de imagen de alta resolución (Nis-elementsBR 3.0). El parámetro más utilizado fue la distancia entre dos puntos que se obtuvo dibujando una línea, con el cursor, entre los dos lugares sujetos a medición, o situando la barra calibradora entre los dos puntos a medir.

4. HALLAZGOS

4.1. LA ARTERIA ESTAPEDIA EN EL FETO HUMANO Y EN EL NEONATO

En el feto humano de 9 semanas, la cápsula cartilaginosa ótica aparece dividida en dos secciones, anterior (coclear) y posterior (vestibular), por un canal mesenquimal (CM) de 1000 μ m de longitud, que se extiende desde el mesénquima del oído medio hasta el espacio endocraneal (**Figura 3**). En su interior se sitúan los nervios facial y vestibular con el ganglio de Scarpa (GS), muy cercano al extremo endocraneal de este canal. El nervio facial tiene una situación rostral y el vestibular dorsal. En el trayecto del nervio facial se observan dos agrupaciones neuronales: una cercana al orificio endocraneal, que llamamos meatal (GGm), y una segunda, timpánica (GGt), con sus neuronas próximas a la cabeza del martillo (M) dentro del mesénquima de la caja timpánica (**Figura 4**).

En los cortes axiales, a nivel del cartílago cordal (CCo) y de la cápsula cartilaginosa ótica (CO), que contiene las espiras apical (EA) y media (EM), se observa la arteria carótida interna (CI) muy cercana a la espira apical (**Figura 5**). En esta arteria se pueden identificar sus capas: íntima, media y adventicia. Su diámetro transversal alcanza las 100 μ m. Lateralmente a esta arteria se sitúa la vena yugular interna (VYI), cuyo diámetro mide 500 μ m, enfrente del ápex de la cápsula ótica. En secciones más craneales aparece un pequeño vaso, entre la cápsula ótica y la pared medial de la vena yugular interna, con solo pared endotelial y cuyo diámetro transversal oscila entre las 10-50 μ m como máximo (**Figuras 6 y 7**). Creemos que se trata de la arteria

estapedia (AE) por su trayecto, dado que avanza hacia las cruras del estribo (E), desde las cuales toma dirección craneal entre el yunque (Y) por fuera y la cabeza del estribo por dentro. A nivel de la cabeza del martillo se dirige hacia la porción timpánica del ganglio geniculado dividiéndose en dos ramas, para rodear al ganglio por delante y por detrás, e introduciéndose después en el canal mesenquimal (**Figura 4**). Dentro de este canal están el VII par con sus dos ganglios (timpánico y meatal) y el nervio vestibular con su ganglio de Scarpa (GS), cercano al extremo endocraneal del canal mesenquimal. En cortes sucesivos comprobamos como la arteria estapedia alcanza el extremo endocraneal de este canal (EE) (**Figura 8**).

En los restantes fetos humanos de esta serie estudiada de 14, 17, 18 y 30 semanas y en el recién nacido no se detectó la arteria estapedia. En cuanto al ganglio geniculado, en estos fetos las neuronas de localización timpánica permanecen, desapareciendo las neuronas de la porción meatal del conducto auditivo interno.

En el feto de 17 semanas hemos observado, dentro del conducto auditivo interno, neuronas emigrantes que se desplazan intraaxonalmente a lo largo del nervio facial, desde el ganglio timpánico hacia el poro endocraneal del conducto auditivo interno (**Figura 9**).

En los fetos de 14 a 17 semanas observamos que el movimiento migratorio neuronal previamente mencionado ha originado que el ganglio geniculado (GG) se haya desplazado desde la caja timpánica hacia un nicho mesenquimal existente en la cara endocraneal de la cápsula ótica (CO), a la altura de la vesícula sacular (S). Por encima de este lugar, se sitúan las cubiertas meníngeas del lóbulo temporal cerebral (LT). En situación rostral están el músculo tensor del tímpano (TT), el segmento cartilaginoso de la trompa de Eustaquio (TE), el ganglio ótico (GO) y el nervio mandibular (NM) (**Figura 10**).

En lo que se refiere al segmento mastoideo del canal facial o de Falopio desde las 13 semanas fetales en adelante, el nervio está inmerso dentro del mesénquima que queda por fuera de la cápsula ótica (CO) y desciende verticalmente por la cara externa de un canal cartilaginoso de dicha cápsula hacia el agujero estilomastoideo (AEM). En este trayecto el nervio facial se sitúa medialmente con respecto a los esbozos

cartilagosos del estribo (E) y del yunque (Y). Un poco más caudal está el primordio de la apófisis estiloides (ApE), que presenta una forma esferoidea. Saliendo del agujero estilo-mastoideo, cuya dimensión es de 500µm, el nervio facial toma una trayectoria anterior y se sitúa por encima del vientre posterior del músculo digástrico (MD). En el mesénquima preestiloideo se distingue el hueso timpanal membranoso (HT), con las inserciones de la capa fibrosa de la membrana timpánica (MT) (**Figura 11**).

En el feto de 18 semanas, cuando ya se ha iniciado la osteogénesis endocondral, hemos comprobado la existencia de una dehiscencia (D) de 1000µm de amplitud en el canal Facial, a nivel del hiato de Falopio, por encima del trayecto de los nervios del canal semicircular superior (NCSS) y utricular (NU). En esta solución de continuidad se encuentra el nervio facial acompañado por el ganglio geniculado. Dicha brecha está siendo ocluida externamente mediante un proceso de osteogénesis membranosa y medialmente por la osteogénesis cartilaginosa que se ha iniciado en la cápsula ótica. Por tanto, creemos que a este nivel coexisten la osteogénesis inducida por el ganglio geniculado y la vinculada al nervio del canal semicircular superior (**Figuras 12 y 13**).

En el feto humano de 30 semanas el proceso de osificación endocondral se extiende por toda la cápsula ótica, desde el fondo del conducto auditivo interno (CAI), apareciendo diversos centros de osificación en las espiras basales de la cóclea (EBC), los canales semicirculares superior (CSS) y externo (CSE), en el promontorio (P), en el canal modiolar, en la crura posterior del estribo (E) y en la cara medial del canal facial mastoideo (VII_m). A este nivel, está el músculo del estribo que ocluye externamente el canal cartilaginoso de la cápsula ótica, por el cual desciende el nervio facial mastoideo (**Figura 14**). En este lugar se van a asociar la osificación endocondral, originada en el centro de osificación facial, y la membranosa, dentro del mesénquima, que recubre el segmento mastoideo del nervio facial.

En un neonato de 1 día de edad el ganglio geniculado tiene relación topográfica con el ápex coclear (AC), situado rostralmente, y con el músculo del martillo (TT), por fuera del canal de Falopio. No obstante, en la cara endocraneal de dicho canal,

también hemos observado la existencia de una importante dehiscencia ósea (D) de 2.000 μm de extensión. El resto del hueso temporal está formado por hueso haversiano muy compacto, y no hemos observado zonas de fusión entre las zonas de osificación membranosa y cartilaginosa. No hay vestigios de la arteria estapedia (**Figura 15**).

4.2. LA ARTERIA ESTAPEDIA EN LA RATA BLANCA

En los embriones de rata de 16, 18 y 20 días, así como en las ratas postnatales de 3, 6, 10 y 13 días, la ruta que sigue la arteria estapedia (AE) es la siguiente: esta arteria, procedente posiblemente de la arteria carótida externa, se introduce en el extremo posterior de la caja timpánica, por una solución de continuidad ósea en su suelo, a la altura de la ventana redonda (VR). Desde este lugar sedesliza en dirección craneal por el mesénquima prepromontorial hasta alcanzar el estribo (E). Al principio del trayecto intratimpánico, la arteria estapedia está en relación, por fuera, con el mango del martillo y la apófisis descendente del yunque (**Figuras 16, 17 y 18**).

Al llegar al estribo se introduce por el foramen obturador y, continuando hacia arriba, penetra dentro del canal facial por una dehiscencia (D) de su pared inferior que se detecta en los especímenes embrionarios y postnatales. La dimensión de dicha dehiscencia en las ratas embrionarias oscila entre las 300-600 μm a nivel de la ventana oval. En la rata adulta la dehiscencia es de unas 300 μm . Este hallazgo, que consideramos importante, es el patrón normal de desarrollo en la rata blanca, dado que aparece en todos los especímenes embrionarios y postparto, hasta en la rata adulta, que hemos estudiado (**Figuras 16, 17 y 18**).

Una vez dentro del canal facial, la arteria estapedia se desplaza externamente situándose en el extremo más lateral del canal facial y alejada del ganglio geniculado, que está situado más medialmente. La distancia que separa ambas estructuras son 500 μm en los embriones de 16, 18 días y en las ratas de 3 y 10 días postnatales. Una vez alcanzado la parte lateral del canal facial, se relaciona con la cabeza del martillo por fuera, rostralmente y hacia adentro con el extremo apical de la cóclea y medialmente y hacia abajo con el músculo tensor del tímpano (**Figuras 19, 20 y 21**).

En los embriones de 16, 18 y de 20 días y en la rata de 3 días postnatal, la arteria estapedia se sitúa lateralmente en el canal facial, cerca del mesénquima de la caja, que a este nivel presenta una dehiscencia ósea cerrada por una pequeña barra conectiva. Este hallazgo es parecido a la dehiscencia ósea que ofrece el gato de nuestro estudio (**Figuras 19, 20 y 21**).

En la rata de 6 días postnatal se inicia la osificación endocondral, que masivamente se extiende por toda la cápsula ótica y los huesecillos del oído medio, sin que se hubiera detectado otros centros de osificación primarios. En este momento evolutivo se cierra la dehiscencia timpánica del canal facial, persistiendo la existente a nivel de la ventana oval. En la rata de 10 días postnatales la arteria estapedia y el ganglio geniculado están dentro de dos espacios óseos independientes, pero en situación más lateral la arteria estapedia, que se relaciona por fuera con la cabeza del martillo, por debajo con el músculo del martillo y por dentro con el ápex coclear (**Figuras 22 y 23**).

En la rata de 13 días postnatal la arteria estapedia está situada lateralmente dentro del canal facial a una distancia de 1000 μm del ganglio geniculado (**Figura 24**).

Esta anatomía continúa en la rata adulta, no obstante, el espacio que ocupa la arteria estapedia es de mayores dimensiones y contiene un importante plexo venoso periarterial (**Figura 25**). Más tarde la arteria estapedia penetra dentro del conducto auditivo interno acompañando al nervio facial (**Figuras 26 y 27**).

4.3. LA ARTERIA ESTAPEDIA EN EL GATO DOMÉSTICO: FELISCATUS

En el primer gato, el ganglio geniculado mantiene relaciones de vecindad con las espiras basales de la cóclea (EB) a la altura de la ventana oval (VO). En el canal de Falopio a nivel del nervio petroso superficial mayor (PSM), que se origina en el ganglio geniculado (GG), se detectan dos importantes dehiscencias óseas. La primera (D1), de 500 μm de longitud, está en su pared endocraneal y muy próxima a la fosa de localización del Ganglio de Gasser (GGa), hacia la cual avanza una placa ósea membranosa, posiblemente procedente de la escama temporal (**Figura 28**).

La segunda (D2) está situada en el extremo timpánico, separada del mesénquima de la caja por un delgado tabique conectivo. Un hallazgo semejante presenta el embrión de rata de 20 días, en el cual se sitúa la arteria estapedial cerca de la dehiscencia (**Figura 28**).

En este primer gato se observaron otras anomalías del canal facial a nivel del segmento mastoideo (VIIIm), dentro del cual el nervio facial está inmerso en una zona mesenquimal carente de osificación. En el gato tampoco hemos observado la presencia de la arteria estapedial (**Figura 29**).

En el segundo gato se han observado importantes anomalías en el área estapedial. El estribo se parece a la columela de las aves, es decir tiene una cabeza que se articula con la rama descendente del yunque y solo una rama ósea que termina con la platina que se introduce dentro de la ventana oval. El interior de esta estructura ósea aparece ocupado por tejido mesenquimal. El espacio supraoval está ocupado por una bolsa mucosa (B) que se extiende transversalmente, desde el eje mesenquimal del estribo hasta una dehiscencia ósea de 500 μm situada en el canal facial. Las dimensiones de esta bolsa son: 1427.29 μm en el eje sagital y 847.38 μm en el eje transversal (**Figura 30**).

El extremo anterior alcanza la articulación incudo estapedial (AIE) y contiene una estructura ósea semilunar que se ancla en el canal facial (**Figura 30**).

Por otra parte, llama la atención la existencia de numerosas fracturas óseas en la cápsula laberíntica. Este hallazgo no lo hemos observado en ninguna de los especímenes de nuestra colección, ya sea humanos, de rata o de ave, habiendo utilizado el mismo proceder de fijación, inclusión, decalcificación...

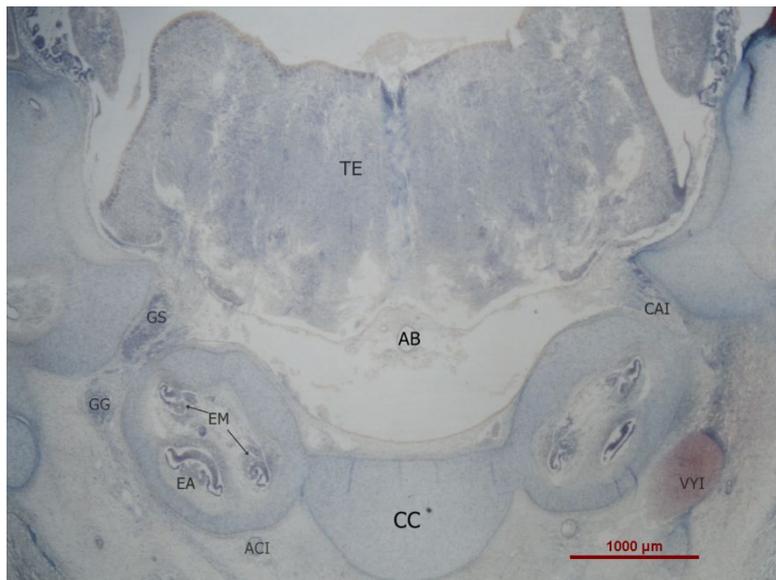


Figura 3. Panorámica bilateral del feto humano de 45mm c.r.l. H&E. La barra calibradora equivale a 1000µm. TE (troncoencéfalo). ACI (arteria carótida interna). VYI (vena yugular interna). GS (ganglio de Scarpa). GG (ganglio geniculado). EA (espira apical). EM (espira media). AB (arteria basilar). CC (cartilago cordal).

CAI (conducto auditivo interno).



Figura 4. Feto humano 45 mm. H&E. La barra calibradora equivale a 500 µm. CO (cápsula ótica). GS (ganglio de Scarpa). GGt (ganglio geniculado timpánico). GGm (ganglio geniculado meatal). M (martillo). EA (espira apical). EM (espira media). CI (carótida interna). Las flechas indican el trayecto de la arteria estapedia.

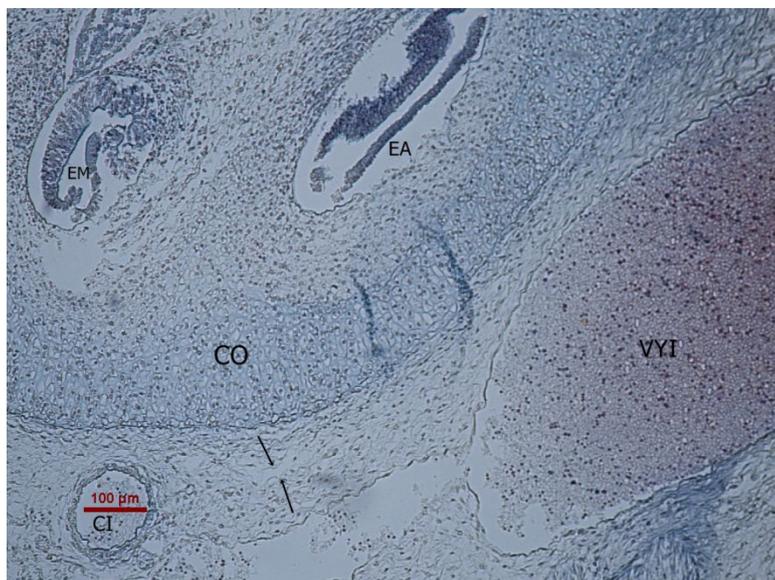


Figura 5. Feto humano de 45 mm. H&E. La barra calibradora equivale a 100 µm. CO (cápsula ótica). CI (carótida interna). VYI (vena yugular interna). EA (espira apical). Las flechas indican el trayecto de la arteria estapedia.

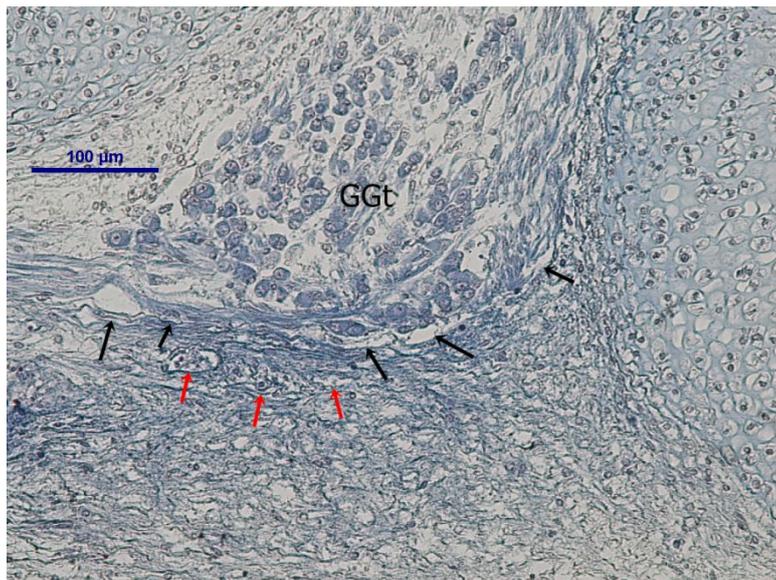


Figura 6. Feto humano de 45 mm. H&E. La barra calibradora equivale a 100 µm. GGt (ganglio geniculado timpánico). Las flechas negras indican el trayecto de la arteria estapedia. Las flechas rojas indican el trayecto de la vena satélite que acompaña a la arteria estapedia.

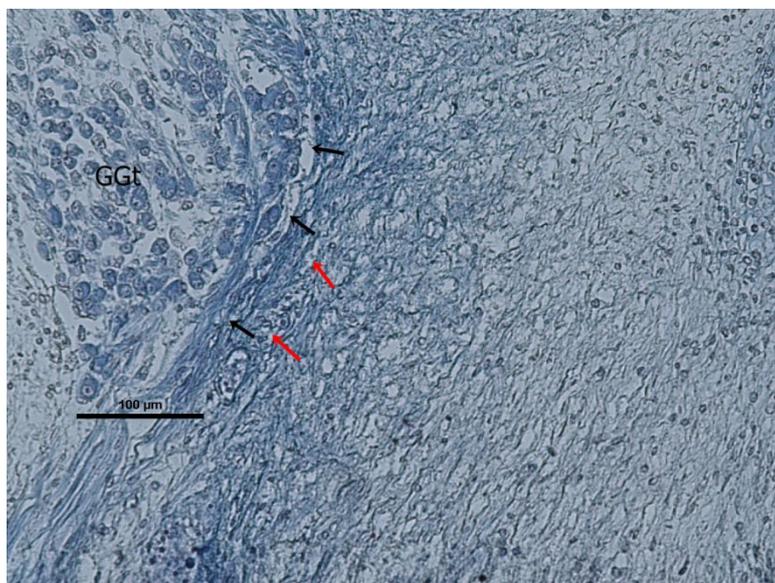


Figura 7. Feto humano de 45 mm. H&E. La barra calibradora equivale a 100 µm. GGt (ganglio geniculado timpánico). Las flechas negras indican el trayecto de la arteria estapedia. Las flechas rojas indican el trayecto de la vena satélite que acompaña a la arteria estapedia.

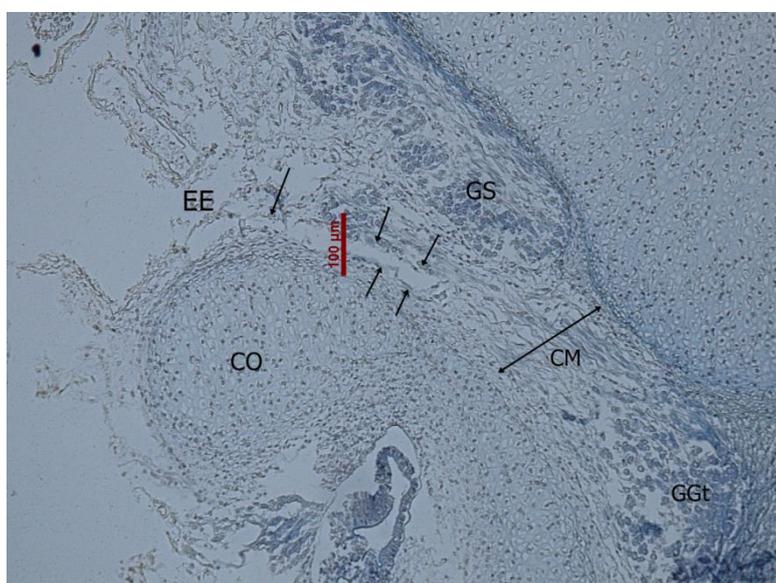


Figura 8. Feto humano de 45 mm. H&E. La barra calibradora equivale a 100 µm. CO (cápsula ótica). EE (extremo endocraneal del canal mesenquimal (CM) en cuyo interior encontramos el ganglio de Scarpa (GS) y el ganglio geniculado timpánico (GGt)). Las flechas negras indican el trayecto de la arteria estapedia en su salida hacia el espacio endocraneal.

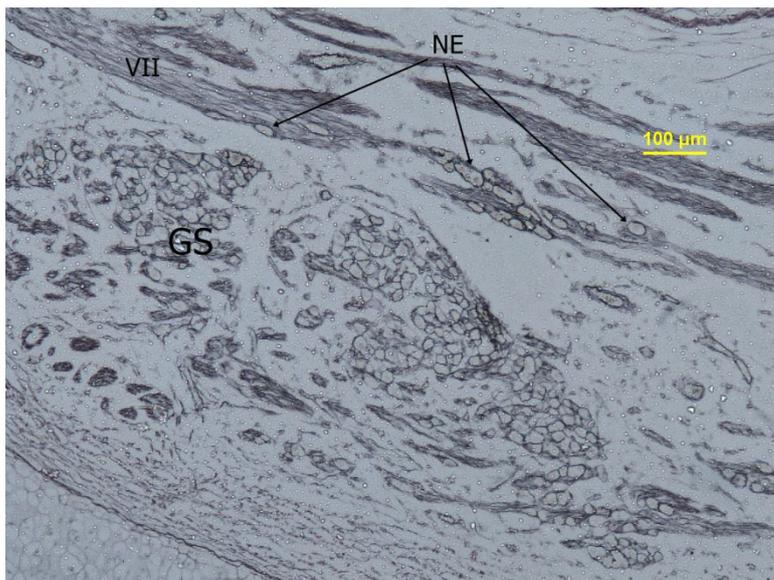


Figura 9. Feto humano de 134 mm. Reticulina de Gomori. La barra calibradora equivale a 100 μm . GS (ganglio de Scarpa). Observamos la presencia de neuronas emigrantes (NE) entre las fibras del nervio facial.



Figura 10. Panorámica de feto humano de 74 mm. Tricrómico de Masson. La barra calibradora equivale a 1000 μm . S (sáculo). CO (cápsula ótica). GO (ganglio ótico). TT (músculo tensor tympani). TE (trompa de Eustaquio). NM (nervio mandibular). LT (lóbulo temporal cerebral).

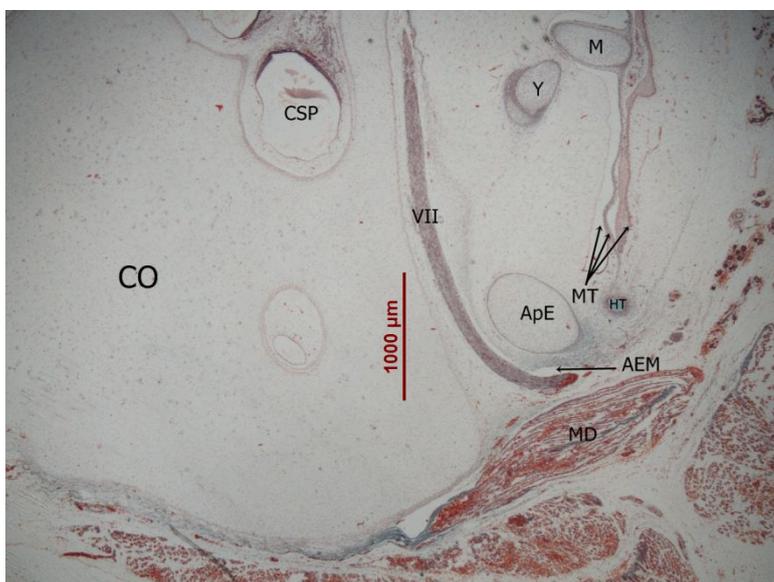


Figura 11. Feto humano de 90 mm. Tricrómico de Masson. La barra calibradora equivale a 1000 μm . Recorrido del facial mastoideo (VII) hacia su salida por el agujero estilomastoideo (AEM). MD (músculo digástrico). HT (hueso timpánico). Obsérvense las tres capas de la membrana timpánica (MT). M (martillo). Y (yunque). CSP (canal semicircular posterior). CO (cápsula ótica).

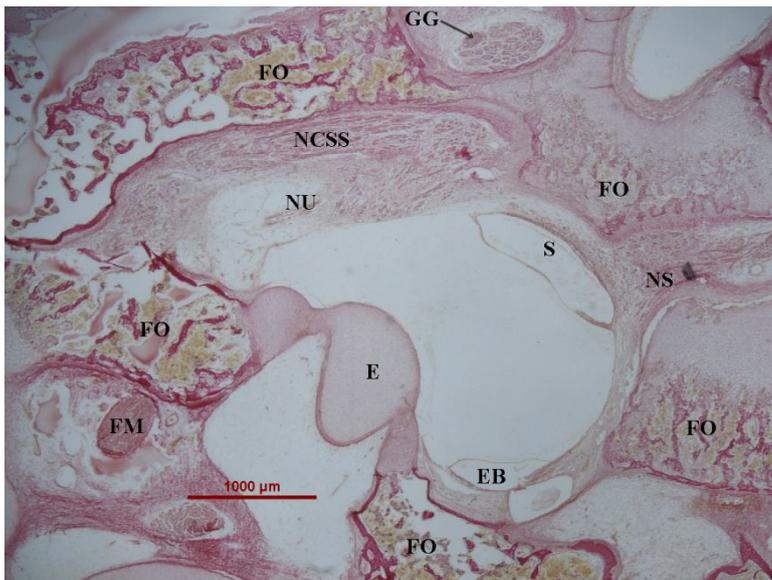


Figura 12. Diversos núcleos de osificación en feto humano de 145mm. PAS. La barra calibradora equivale a 1000 μ m. FO (foco de osteogénesis). FM (facial mastoideo). NCSS (nervio del canal semicircular superior). NU (nervio urtricular). S (sáculo). NS (nervio sacular). E (estribo). GG (ganglio geniculado).

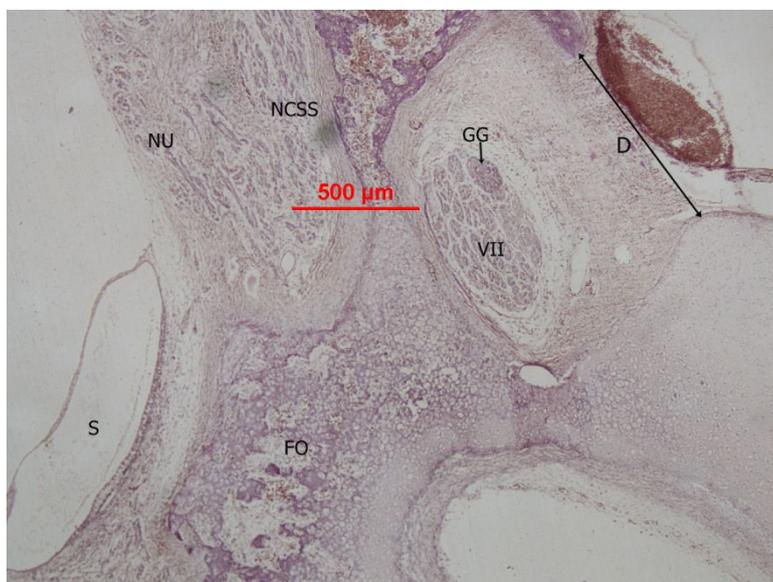


Figura 13. Feto humano de 145 mm. H&E. La barra calibradora equivale a 500 μ m. Obsérvese la presencia de una dehiscencia (D) en el canal facial. S (sáculo). FO (foco de osificación). NU (nervio urtricular). NCSS (nervio del canal semicircular superior). GG (ganglio geniculado). VII (nervio facial).

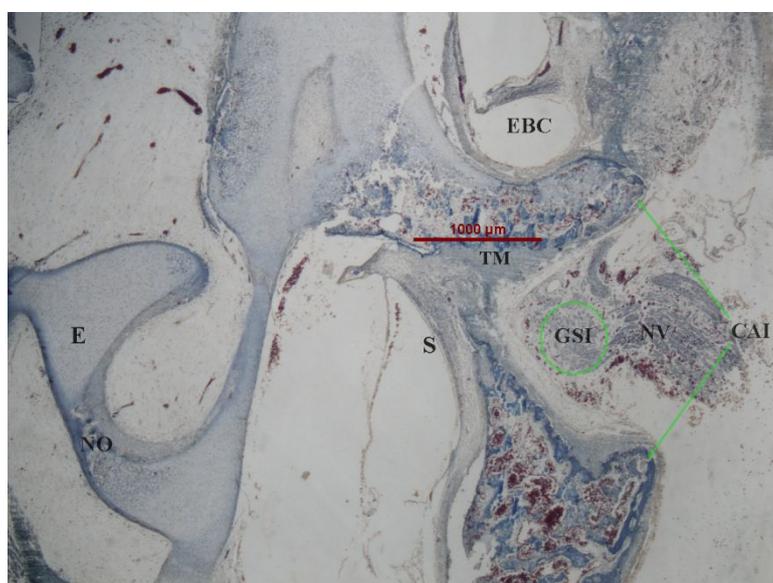


Figura 14. Panorámica de feto humano 270 mm. Tricrómico. La barra calibradora equivale a 1000 μ m. EBC (espira basal coclear). S (sáculo). CAI (conducto auditivo interno). NV (nervio vestibular). GSI (ganglio de Scarpa inferior). TM (tejido mesenquimal). NO (núcleo de osificación). E (estribo).

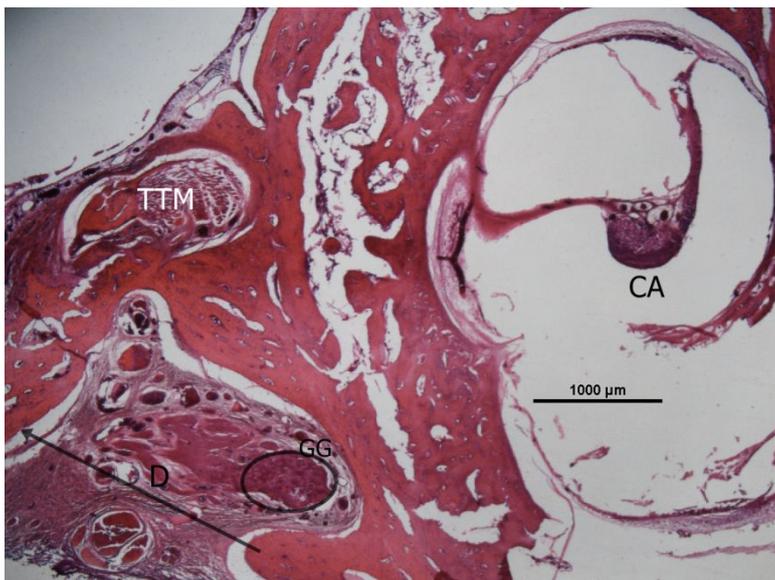


Figura 15. Panorámica de neonato. H&E. la barra calibradora equivale a 1000µm. Obsérvese la dehiscencia (D) del extremo endocraneal del canal facial. CA (ápex coclear). GG (ganglio geniculado). TTM (músculo tensor del tímpano).



Figura 16. Panorámica de embrión de rata de 20 días. H&E. La barra calibradora equivale a 1000 µm. RF (rinofaringe). CCo (cartílago cordal). H (hipófisis). CO (cápsula ótica). TT (músculo tensor del tímpano). VII (nervio facial). AE (arteria estapedia). M (martillo). TE (trompa de Eustaquio).

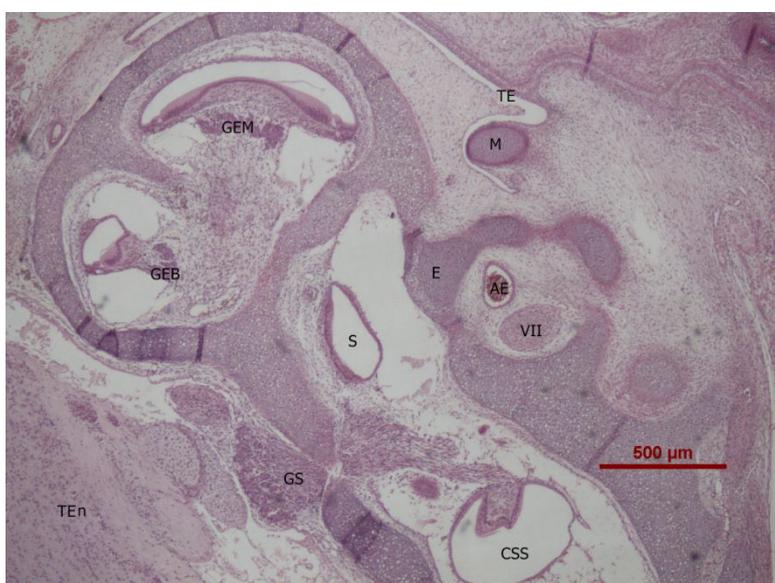


Figura 17. Panorámica de la cápsula laberíntica de embrión de rata de 16 días. H&E. La barra calibradora equivale a 500 µm. TE (trompa de Eustaquio). M (martillo). E (estribo). AE (arteria estapedia). VII (nervio facial). CSS (canal semicircular superior). S (sáculo). GEB (ganglio espiral basal). GEM (ganglio espiral medio). Ten (troncoencéfalo).

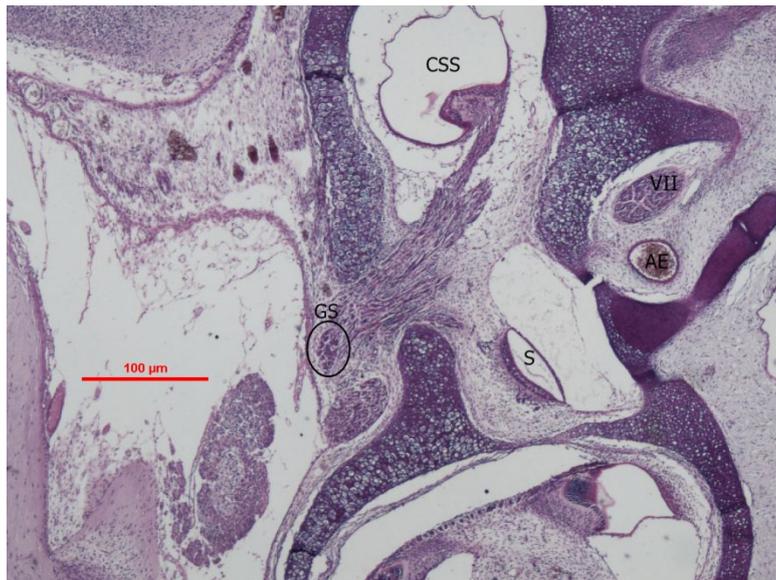


Figura 18. Distribución fibras vestibulares periféricas rata 3 días postnatal. H&E. la barra calibradora equivale a 100 μ m. GS (ganglio de Scarpa). S (sáculo). AE (arteria estapedial). VII (nervio facial).

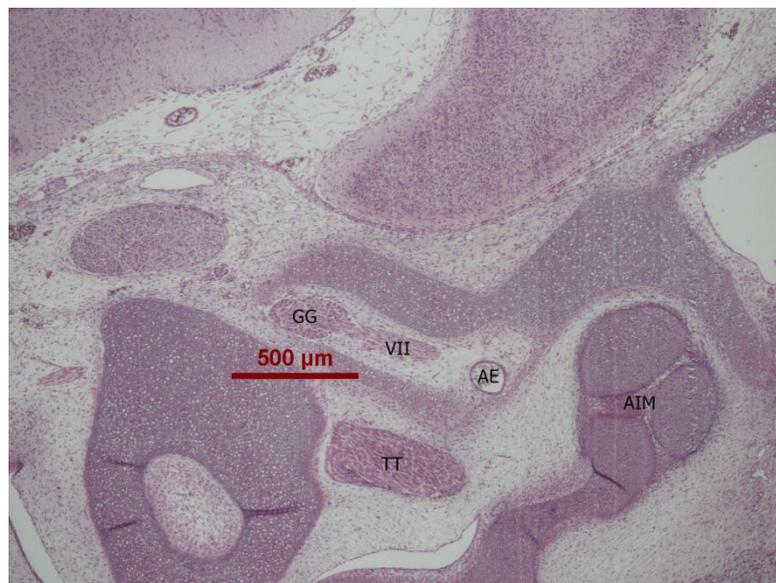


Figura 19. Panorámica de embrión de rata de 16 días. H&E. La barra calibradora equivale a 500 μ m. TT (músculo tensor del tímpano). GG (ganglio geniculado). VII (nervio facial). AE (arteria estapedial). AIM (articulación incudo maleolar).

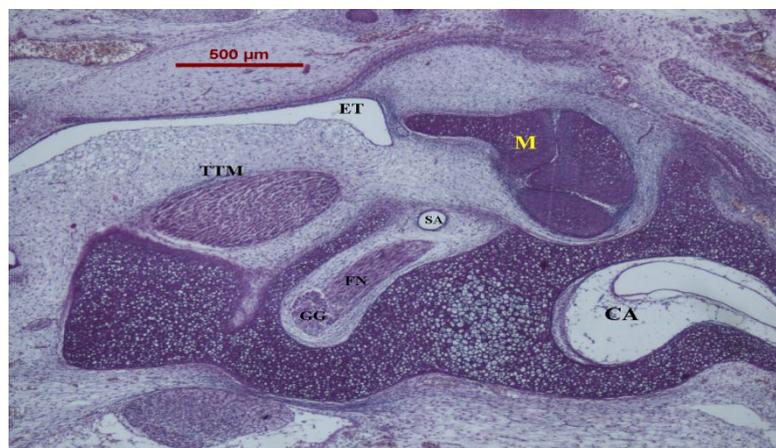


Figura 20. Embrión de rata 20 días. H&E. La barra calibradora equivale a 500 μ m. TTM (músculo tensor del tímpano). ET (trompa de Eustaquio). SA (arteria estapedial). FN (nervio facial). GG (ganglio geniculado). M (martillo). CA (ápex coclear).



Figura 21. Rata de 3 días postnatal. H&E. La barra calibradora equivale a 500 μm . AE (arteria estapedia). GG (ganglio geniculado). TT (músculo tensor del tímpano). TE (trompa de Eustaquio). CI (arteria carótida interna).



Figura 22. Panorámica del oído interno y medio de rata de 10 días postnatal. H&E. La barra calibradora equivale a 1000 μm . El Ganglio de Scarpa (GS) se sitúa en el conducto auditivo interno. Obsérvese la persistencia del mesénquima dentro de la caja timpánica. U (utrículo). GG (ganglio geniculado). S (sáculo). VII (nervio facial). Y (yunque). AE (arteria estapedia). E (estribo). VIII (nervio auditivo). P (promontorio). AL (apófisis lenicular del yunque). M (martillo). CAE (conducto auditivo externo). ACI (arteria carótida interna).

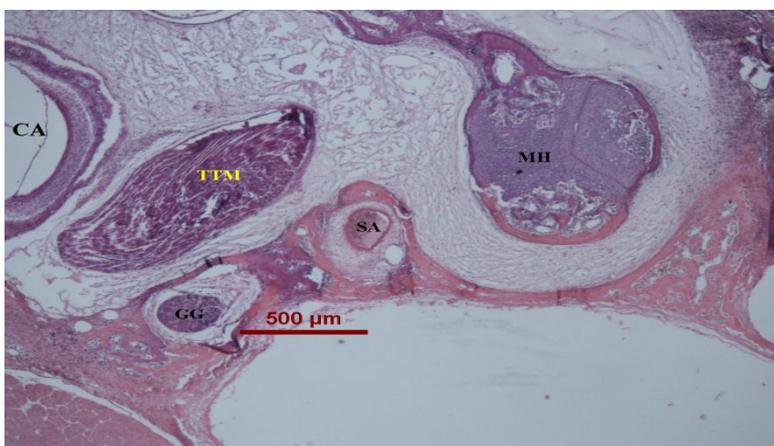


Figura 23. Rata de 10 días postnatal. H&E. la barra calibradora equivale a 500 μm . CA (ápex coclear). TTM (músculo tensor del tímpano). GG (ganglio geniculado). SA (arteria estapedia). MH (cabeza del martillo).



Figura 24. Panorámica del oído interno y medio de la rata de 13 días postnatal. H&E. La barra calibradora equivale a 500 µm. EA (espira apical). EM (espira media). VII (nervio facial). AE (arteria estapedia). M (martillo).

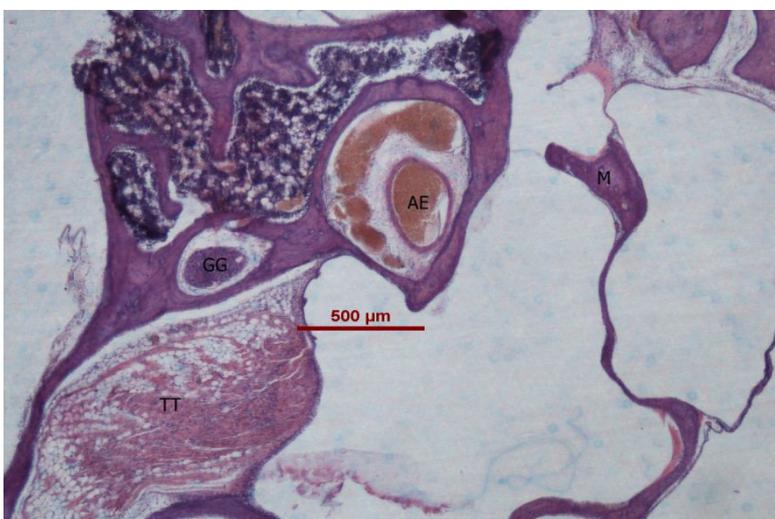


Figura 25: rata adulta. H&E. la barra calibradora equivale a 500 µm. Obsérvese el plexo venoso que rodea a la arteria estapedia (AE). M (mango del martillo). GG (ganglio geniculado). TT (músculo tensor del tímpano).

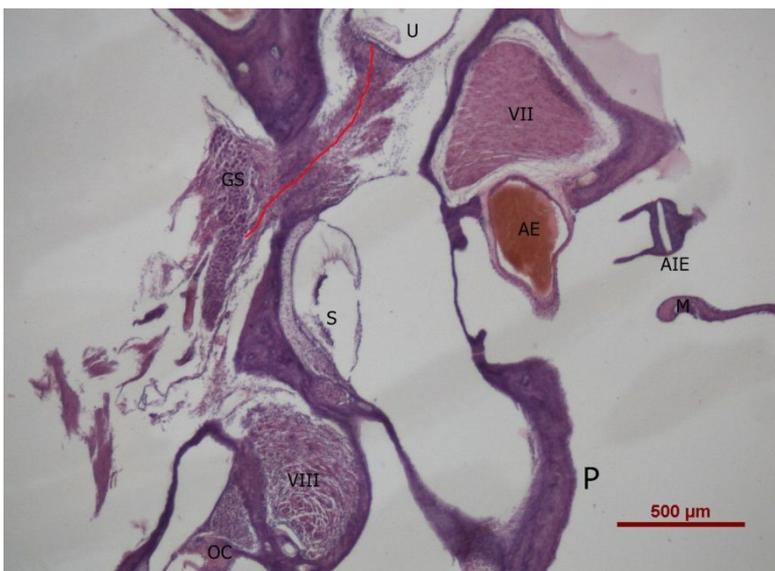


Figura 26: rata adulta. H&E. la barra calibradora equivale a 500 µm. Obsérvese cómo la arteria estapedia (AE) se está introduciendo dentro del canal facial. GS (ganglio de Scarpa). VIII (nervio auditivo). S (sáculo). OC (órgano de Corti). U (utrículo). VII (nervio facial). AIE (articulación incudo estapedia). M (mango del martillo). P (promontorio).

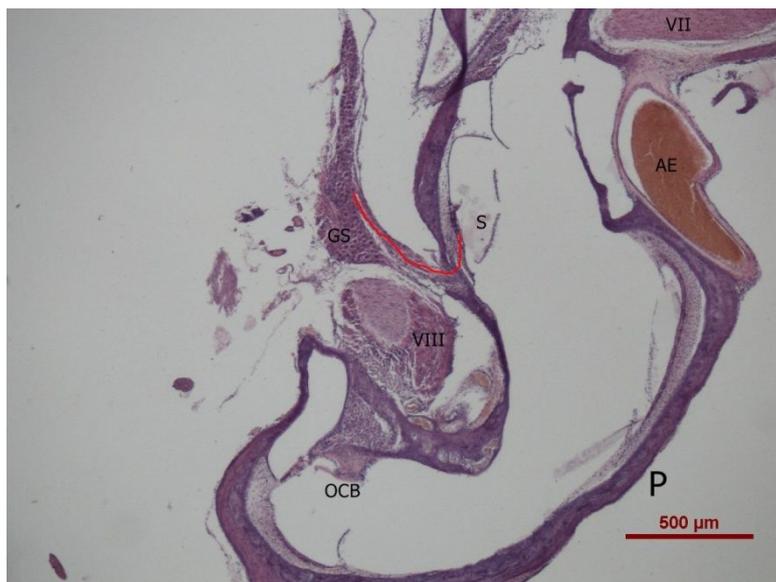


Figura 27. Rata adulta. H&E. La barra calibradora equivale a 500 μm . Obsérvese cómo la artera estapedia (AE) se está deslizando sobre el promontorio (P). GS (ganglio de Scarpa). VII (nervio facial). OCB (órgano de Corti basal). S (sáculo). VIII (nervio auditivo).



Figura 28. Panorámica de oído interno y medio del primer gato adulto. H&E. la barra calibradora equivale a 1000 μm . Obsérvese la dehiscencia del extremo endocraneal del canal facial (D1) y la dehiscencia del extremo timpánico del canal facial (D2). VII (facial). PSM (nervio petroso superficial mayor). GG (ganglio geniculado). GGa (ganglio de Gasser). E (estribo). VO (ventana oval). EB (espira basal).

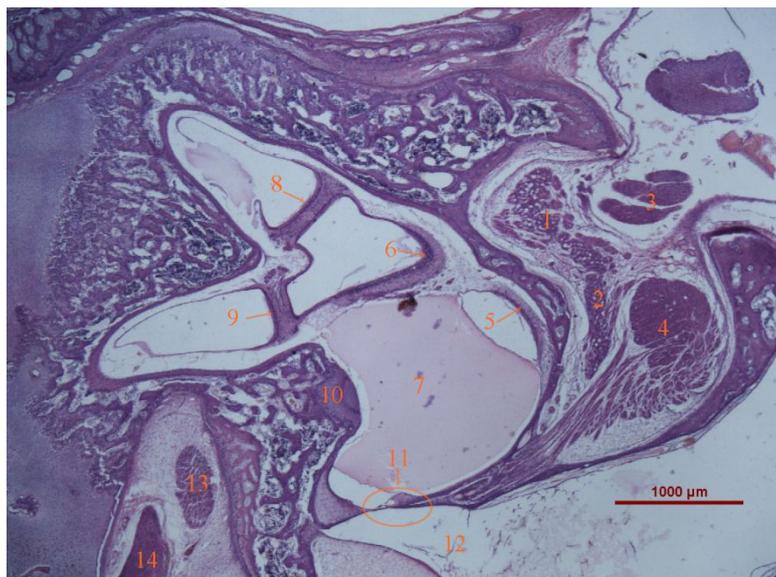


Figura 29. Panorámica del oído interno del gato de 3 meses. H&E. La barra calibradora equivale a 1000 µm. 1. Ganglio de Scarpa Superior. 2. Ganglio de Scarpa Inferior. 3. Nervio Facial. 4. Nervio auditivo. 5. Sáculo. 6. Utrículo. 7. Escala vestibular. Perilinfá. 8. Canal semicircular superior. 9. Canal semicircular externo. 10. Promontorio. 11. Órgano de Corti basal. 12. Rampa timpánica. 13. Músculo del estribo. 14. Facial mastoideo.



Figura 30. Segundo gato adulto. H&E. La barra calibradora equivale a 500 µm. el espacio supraoval está ocupado por una bolsa mucosa (B) situada entre el canal facial que presenta una dehiscencia y el estribo (E). AIE (articulación incudo estapedial)

5. DISCUSIÓN

El estudio de la arteria estapedial representa un interesante reto conceptual ontogenético que tratamos de analizar y que forma parte del complejo proceso del desarrollo de la base craneal. En este proceso participan diversos elementos preexistentes como son los cartílagos del condrocraqueo (cartílago cordal, cápsulas cartilaginosas ótica, nasal y orbitaria), los ejes vasculares y el tejido mesenquimal.

Vermeij-Keers opina que la osificación del condrocraqueo en el embrión humano comienza en la 5ª semana (14mm de c.r.l) alrededor del epitelio de la primera bolsa branquial y del ganglio de Gasser, de los cuales posiblemente dependerá la elaboración de la proteína ósea morfogenética (BMP). Esta puede condicionar la simetría bilateral y posiblemente está regulada por la inducción de la cresta neural, la cual determinará la coexistencia de la osificación cartilaginosa y membranosa en determinados lugares ^[7].

En este estudio, en la línea media de la base de cráneo del feto humano de 9 semanas (45mm.c.r.l.), y desde el plano frontal al nuchal, se sitúan los cartílagos nasal y cordal en la línea media y lateralmente las cápsulas nasal, orbitaria y ótica. En el embrión de rata blanca aparece una organización similar ^[7].

En lo que se refiere a la cápsula ótica humana, Anson describe 14 centros de osificación, el primero en la espira basal coclear del feto de 16 semanas y el último en el canal semicircular posterior a las 21 semanas, fusionándose todos ellos en la semana 23 ^[8].

Santaolalla et al. observaron 5 centros de osificación en el feto de 18 semanas. El primero de ellos se situaba en el promontorio, el segundo en la ventana redonda y el tercero en el fondo del conducto auditivo interno, extendiéndose hacia el canal modiolar con el nervio auditivo. El cuarto centro de osificación se encontraba en el techo de la cápsula ótica, sobre los nervios del canal semicircular superior y utricular, en un lugar próximo al nervio facial con su ganglio geniculado, situado sobre una dehiscencia ósea, hiato de Falopio, que está ocluida por tejido conectivo membranoso. Además, en este trabajo hemos detectado un quinto foco de

osteogénesis situado en la cápsula ótica a la altura del segmento mastoideo del nervio facial ^[9].

En el estudio de la osteogénesis de la base craneal es importante considerar la influencia de la inducción cerebral en el transcurso de este proceso. Striker et al. creen que la osificación craneal viene determinada por los lugares por donde penetran o salen los nervios capitales. Por tanto, estos autores proponen acertadamente el término de “eje neuromatrical”, para definir estos puntos clave de la osificación ^[10].

Sánchez et al. en un estudio sobre el desarrollo morfológico y morfométrico del Ganglio de Scarpa humano, comprobaron que la osificación endocondral de la cápsula ótica se inicia en el feto de 18 semanas (145mm.c.r.l.). Este proceso se produce cuando las neuronas del ganglio de Scarpa superior, que a las 9 semanas están a 15 μ m del orificio endocraneal del conducto auditivo interno, han alcanzado el fondo de dicho conducto (cerca de los receptores utrículo-saculares del oído interno) después de un recorrido de 1637 μ m. La distancia recorrida por las neuronas del ganglio de Scarpa inferior fue 1206.89 μ m ^[11].

El proceso de migración neuronal continua hasta el recién nacido, siendo de 2307.69 μ m, el desplazamiento de las neuronas del ganglio de Scarpa superior, y de 2820.51 μ m, el correspondiente a las neuronas del ganglio de Scarpa inferior. En este espécimen ha finalizado la osificación endocondral, dado que toda la cápsula ótica está constituida por tejido óseo haversiano ^[11].

Por tanto, si la hipótesis de Striker et al. fuera cierta, desde los 18 meses hasta el final de la gestación, la inducción ósea neuromatrical debería seguir la dirección que marcan los nervios vestibulares y cocleares ^[10].

Seguidamente vamos a describir algunas publicaciones basadas en la descripción de numerosas malformaciones del desarrollo del hueso temporal humano comenzando por Moreano et al., que realizaron un importante estudio sobre 1000 huesos temporales humanos. Estos autores encuentran la asociación de las siguientes malformaciones: dehiscencia del canal de Falopio (encontrada en un 56% de los

huesos estudiados) y la persistencia de la arteria estapedia (0.48%). En cuanto a la dehiscencia del canal de Falopio, el 76,6% se halló de forma bilateral y su localización en un 74% de las ocasiones fue a nivel de la ventana oval y en un 11,6% en la zona vecina del músculo tensor tympani. En este estudio solamente el 30.7% de los especímenes tienen el canal facial completamente osificado ^[4].

Estos autores introducen el concepto de dehiscencia y microdehiscencia del canal facial. Por dehiscencia consideran cuando existe una ausencia completa de alguna de sus paredes óseas. Por microdehiscencia entienden la existencia de una pequeña solución de continuidad, como aparece en las figuras 2, 8, 9, 10 y 11 de su publicación. Sorprende que esta clasificación se haya establecido subjetivamente, obviando una definición objetiva como hubiera sido la aportación de un dato morfométrico ^[4].

Según los resultados de estos autores la suma de las microdehiscencias y dehiscencias sobre un total de 602 huesos temporales son 417 casos (69.3%), siendo un 76.6% bilaterales ^[4].

En cuanto a la persistencia de la arteria estapedia, debido a la importante función embriológica de la misma, algunos cirujanos recomendaban actuar con gran precaución e incluso interrumpir la cirugía si esta arteria era hallada en el transcurso de la intervención. Govaerts et al. pretenden aclarar si la lesión de la arteria estapedia durante la cirugía produce las complicaciones postoperatorias previamente reflejadas en la literatura. Para ello, describen cuatro casos de pacientes a los que se les realizó una timpanotomía, en cuyo curso se observó la presencia de la arteria estapedia persistente que probablemente fue dañada durante la intervención ^[1].

El primero de ellos fue un niño de 4 años con una pérdida auditiva bilateral de transmisión de 70 db. Se le realizó una timpanotomía exploradora del oído izquierdo en la que se observaron múltiples malformaciones en el oído medio: el nervio cuerda del tímpano se situaba demasiado alto en el epitímpano, la ventana redonda se localizaba en el centro del promontorio, el nervio facial no estaba cubierto por hueso, la rama larga del yunque era ancha y estaba conectada a una crura del estribo rudimentaria. Además, no existían ni el músculo tensor del tímpano ni la base

estapedial. La cirugía se interrumpió. A los 14 años fue intervenido del oído derecho, en el que se hallaron también diversas alteraciones. El nervio facial no estaba cubierto por hueso, las cruras del estribo eran rudimentarias y la base del estribo era inexistente, Además, se observó una arteria pulsátil que discurría desde la ventana redonda entre las rudimentarias cruras del estribo y que penetraba en el canal facial. En este caso la cirugía también fue interrumpida ^[1].

El segundo caso se trató de una niña de 14 años afecta de una presunta pérdida congénita de audición de transmisión a la que se le realizó una timpanotomía exploradora del oído izquierdo. El audiograma preoperatorio mostró un índice de Fletcher de 65 db. La exploración del oído medio reveló una anquilosis estapedial además de una arteria estapedial persistente que transcurría a través del foramen obturador. Durante la intervención, al fracturar las dos cruras del estribo, la arteria estapedial fue dañada y comenzó a sangrar profusamente. Se detuvo la hemorragia y se colocó una prótesis de alambre. A pesar de ello, no ocurrieron complicaciones postoperatorias y el índice de Fletcher fue de 20 db^[1].

El tercer caso fue una niña de 8 años con otitis media de repetición y colesteatoma, con una pérdida auditiva de transmisión (índice de Fletcher preoperatorio de 35 db). En este caso, fue sometida a mastoidectomía, antroaticotomía y timpanotomía posterior. En la cirugía, se destruyeron la rama larga del yunque y la crura posterior del estribo (el yunque fue extraído conjuntamente con el colesteatoma). En este caso también se halló la arteria estapedial persistente que no fue dañada durante el proceso de disección del colesteatoma. Posteriormente se colocó un aloinjerto tímpano-oscicular (membrana timpánica, martillo y yunque). El índice de Fletcher postoperatorio fue de 15 db y tampoco se hallaron complicaciones postoperatorias ^[1].

El cuarto y último caso que describen se trató de una mujer de 20 años intervenida de una timpanotomía a consecuencia de una pérdida auditiva mixta. En primer lugar se operó el oído izquierdo (índice de Fletcher preoperatorio de 70 db) y dos años después el derecho (índice de Fletcher preoperatorio de 65 db). En ambos oídos se halló la arteria estapedial persistente. Además, el nervio facial derecho se hallaba prolapsado sobre los estribos y no había músculo tensor del tímpano. Ambas bases

del estribo se hallaban anquilosadas y fueron movilizadas al fracturar las ramas del estribo. Los índices de Fletcher postoperatorios fueron de 45 db en el oído derecho y de 70 db en el oído izquierdo ^[1].

Por otra parte, Minor et al. describieron la dehiscencia ósea del canal semicircular superior que provocaba, en los pacientes que la presentaban, un cuadro vertiginoso inducido por la estimulación sonora (fenómeno de Tullio) ^[12]. Otro estudio interesante es el de Props et al., los cuales evaluando a 264 niños con implantes cocleares comprobaron que 53 presentaban mutaciones del gen GJB2 (conexina 26), que se acompañaban de alguna anomalía ósea del hueso temporal. Los hallazgos más habituales por orden de frecuencia fueron la dilatación de la fosa del saco endolinfático (28%), la hipoplasia del modiollo (25%), el acueducto vestibular dilatado (8%), la hipoplasia del canal semicircular horizontal(8%) y la hipoplasia coclear y del conducto auditivo interno estrecho(4%) ^[13].

Kenna et al., en un estudio sobre 158 pacientes con mutaciones del gen GJB2, observaron un 10% de casos con malformaciones óseas que interesaban al canal semicircular horizontal, al conducto auditivo interno y al canal coclear ^[14].

Kaplan encontró un 7% de dehiscencias supraovales del canal facial en el transcurso de operaciones de movilización del estribo por otoesclerosis ^[15].

Abing y et al., creen que las infecciones del oído medio podrían causar dehiscencias del canal de Falopio ^[16]. Moreano et al. opinan que la persistencia de la arteria estapedial también podría ser un factor etiológico desencadenante de la dehiscencia del canal facial a nivel de la ventana oval ^[4].

Con respecto a este último factor, Bast observó una osificación intramembranosa del canal facial que se inicia alrededor del 4º mes de desarrollo fetal ^[17]. Declau et al., encuentran una osificación intramembranosa en los lugares donde Moreano et al. observan las dehiscencias del canal facial, que son el área de la ventana oval, la zona del tensor tympani y el segmento vertical del nervio facial ^[18, 4].

En nuestro estudio hemos observado la coexistencia de la osificación endocondral y membranosa en el primer segmento del canal facial, a la altura del hiato de Falopio y en la porción mastoidea, desde el feto humano de 18 semanas en adelante. En el intervalo de tiempo desde el feto de 30 semanas al recién nacido, el foco de osteogénesis que se sitúa en la cápsula cartilaginosa ótica (medialmente al canal facial y a la altura del músculo del estribo) podría inducir la osteogénesis membranosa de la cara externa del canal de Falopio, puesto que en el recién nacido esta zona anatómica está constituida por tejido óseo haversiano.

En el primer gato, espécimen de unos meses, hemos comprobado que el segmento mastoideo del nervio facial aparece dentro del mesénquima embrionario, además de la existencia de una dehiscencia de 500 μm . de longitud, a nivel del hiato de Falopio. Esta dehiscencia parece cerrarse mediante una placa ósea membranosa posiblemente procedente de la escama temporal (**Figura 28**). Suponemos que estas zonas se osificaran siguiendo el patrón membranoso. En nuestra opinión la dehiscencia del hiato de Falopio podría tener una causa neurogénica debida a una insuficiente influencia de factores de crecimiento nerviosos procedentes del nervio del canal semicircular superior y del ganglio geniculado.

En el segundo gato, también hemos detectado una dehiscencia de 500 μm en el canal timpánico facial, formando parte de la bolsa supraestapedial.

En la rata blanca el proceso de osificación sigue un patrón completamente distinto dado que al 6º día postnatal se inicia y termina la osificación endocondral, que masivamente se extiende por toda la cápsula ótica y los huesecillos del oído medio, sin que se hubieran detectado centros de osificación primarios.

Todos estos hallazgos podrían estar en relación con un sistemático proceso de alteración de la osificación de la cápsula ótica, incluyendo el canal de Falopio, en el que filogenéticamente podría intervenir la ruta normal de la arteria estapedial. Esta arteria se introduce, como ya se ha mencionado, en una dehiscencia que existe, como patrón normal, en la porción timpánica del canal facial a nivel de la ventana oval tanto en la rata adulta (300 μm de dehiscencia) como en el embrión (300-600 μm de dehiscencia). Por tanto, es curioso comprobar cómo en el desarrollo de la cápsula

ótica de la rata existen dos dehiscencias, la primera situada a nivel de la ventana oval y la segunda localizada en el segmento timpánico del canal facial, donde se sitúa la arteria estapedia, a la altura de la cabeza del martillo, entre la fosa del músculo del martillo y el ápex coclear. Esta última dehiscencia desaparece al 6º día postnatal, cuando se inicia la osificación masiva de la cápsula ótica. A partir de ese momento la arteria estapedia está dentro de un espacio totalmente osificado.

Todos estos hallazgos sugieren que estas malformaciones pudieran vincularse a una misma alteración en el proceso de osificación de la cápsula laberíntica y del canal facial, inducidos por el efecto osteogénico de la trayectoria de la arteria estapedia.

Con respecto a la arteria estapedia humana, Hogg et al. en un interesante estudio histológico sobre 7 fetos humanos entre 5-10 semanas, así como en embriones de rata blanca de 14-16 días cuyo número no mencionan, hacen una descripción bastante acertada ^[6].

En nuestro estudio, la arteria estapedia en el feto humano de 9 semanas y en los embriones de rata tiene un trayecto similar. Esta arteria es una rama de la carótida externa que, por medio de la arteria estilomastoidea, penetra desde el cuello hacia la base craneal por el suelo de la caja timpánica, situándose sobre el promontorio. A continuación discurre atravesando el arco del estribo y seguidamente se introduce dentro del canal de Falopio avanzando en dirección endocraneal hasta el ganglio geniculado al cual vasculariza. Finalmente, recorriendo el primer segmento del canal Falopio alcanza el foramen endocraneal del conducto auditivo interno. A su salida recibe el nombre de arteria céfalo-vertebral y se dirige hacia la línea media del cráneo donde se anastomosa con la arteria basilar.

Las relaciones anatómicas de vecindad más persistentes del ganglio geniculado con referencia importante de la arteria estapedia, se establecieron en la rata blanca y en el feto humano con el ápex coclear y el músculo del martillo.

6. CONCLUSIONES

1°. En este estudio hemos observado vestigios de la arteria estapedia en el feto humano de 9 semanas (45mm c.r.l.). No obstante, su influjo parece ser determinante en el desarrollo del ganglio geniculado, dado que desde las 9 a las 14-17 semanas las neuronas se han desplazado intraaxonalmente, del oído medio hasta la superficie endocraneal de la cápsula ótica.

2°. En la rata blanca, tanto en los estadios embrionarios como postnatales, así como en el estado adulto, la trayectoria de la arteria estapedia dentro del oído sigue el mismo curso.

3°. La arteria estapedia en la rata blanca, se dirige desde el suelo de la caja timpánica hacia las cruras del estribo, las cuales atraviesa, introduciéndose en una dehiscencia supraoval del canal facial y tomando una ruta externahacia la caja timpánica, donde existe otra dehiscencia ósea. Después, en dirección endocraneal, penetra dentro del conducto auditivo interno acompañando al VII par.

4°. La osificación de la cápsula ótica de la rata blanca es un proceso muy rápido que surge y se completa en la rata de 6 días postnatal, persistiendo solamente la dehiscencia ósea supraoval del canal facial.

5°. Desde el feto de 18 semanas en adelante, en la osificación de la cápsula ótica humana confluyen la osificación endocondral y la membranosa, a nivel del hiato de Falopio y en el segmento mastoideo del nervio facial.

6°. Las dehiscencias óseas del canal facial humano y del gato, a nivel supraoval y en el hiato de Falopio, así como la bolsa supraestapedial del gato, podrían estar inducidas filogenéticamente por la ruta de la arteria estapedia en la rata blanca.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Govaerts PJ, Marquet TF, CremersWRJ, Offeciers FE. Persistent stapedia artery: does it prevent successful surgery? *Ann Otol.* 1993; 102(9): 724-728.
- [2] Goderie TPM, Alkhateeb WHF, Smit CF, Hensen EF. Surgical Management of a Persistent Stapedial Artery: A Review. *Otology & Neurotology.* 2017; 38(6): 788-791.
- [3] House HP, Patterson ME. Persistent stapedial artery: report of two cases. *Trans AAOO.* 1964; 68: 644-646.
- [4] Moreano EH, Paparella MM, Zelterman D, Goycoolea MV. Prevalence of Facial Canal Dehiscence and of Persistent Stapedial Artery in the Human Middle Ear: A Report of 1000 Temporal Bones. *Laryngoscope.* 1994; 104(3): 309-320.
- [5] Altmann F. Anomalies of the internal carotid artery and its branches; their embryological and comparative anatomical significance. Report of a new case of persistent stapedial artery in man. *Laryngoscope.* 1947; 57(5): 313-339.
- [6] Hogg ID, Stephens CB, Arnold GE. Theoretical anomalies of the stapedial artery. *Ann Otol.* 1972; 81(6): 860-870.
- [7] Vermeij-Keers C. Craniofacial embryology and morphogenesis: normal and abnormal. En: Stricker M, Van der Meulen JC, Raphael B, Mazzola R, editores. *Craniofacial malformations.* Edimburgo: Churchill Livingstone; 1990. p. 27-60.
- [8] Anson BJ. Developmental anatomy of the ear. En: Paparella MM, Shumrick DA, editores. *Otolaryngology, Vol 1. Basic sciences and related disciplines.* Philadelphia: WB Saunders; 1973. p. 3-74.
- [9] Santaolalla F, Martínez A, Sánchez JM, Sánchez A. Principles of cranial base ossification in humans and rats. *Acta Oto Laryngol.* 2012; 132(4): 349-354.
- [10] Stricker M, Raphael B, Van der Meulen JC, Mazzola R. Craniofacial growth and development En: Stricker M, Van der Meulen JC, Raphael B, Mazzola R,

editores. Craniofacial malformations. Edimburgo: Churchill Livingstone; 1990. p.61-69.

[11] Sánchez A, Sánchez JM, Gutiérrez N, Martínez A, Santaolalla F. Morphological and morphometric study of human Scarpa ganglion development. *Acta Otolaryngol.* 2013; 133(4): 352-360.

[12] 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(3): 249-258.

[13] Props EJ, Blasser S, Stockley TL, Harrison RV, Gordon KA, Papsin BC. Temporal bone imaging in GJB2 deafness. *Laryngoscope* 2006; 166 (12): 2178-2186.

[14] Kenna MA, Rehm HL, Frangulov A, Feldman HA, Robson CD. Temporal bone abnormalities in children with GJB2 mutations. *Laryngoscope* 2011; 121(3): 630-635.

[15] Kaplan J. Congenital Dehiscence of the Falopian Canal in Middle Ear Surgery. *Arch Otolaryngol.* 1960; 72(2): 197-200.

[16] Abing, W, Rauchfuss A. Fetal development of the tympanic part of the facial canal. *Arch. Otorhinolaryngol.* 1987; 243(6): 374-377.

[17] Bast, T. Ossification of the otic capsule in human fetuses. *Carnegie Contr. Embryol.* 1930; 121: 53-82.

[18] Declau F, Jacob W, Montoro S, Marquet J. Dehiscence of the facial canal: developmental aspects. *Int J PediatrOtorhinolaryngol.* 1991; 21(1): 21-32.