

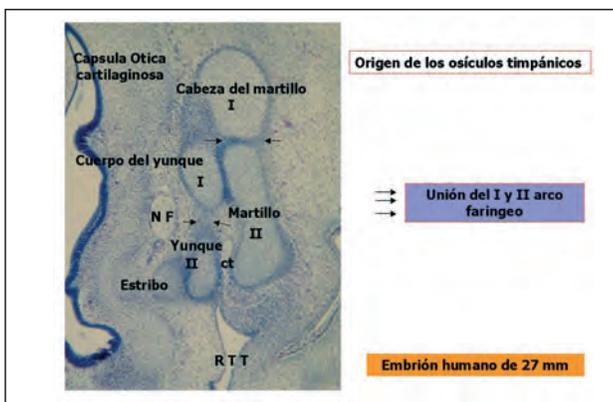
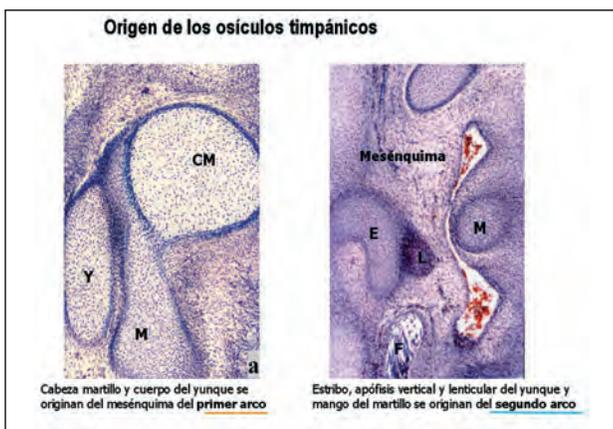
Desarrollo ontogénico del oído medio: Cadena Tímpano-osicular

Aspectos generales en la ontogenia de los osículos timpánicos

A) ORIGEN

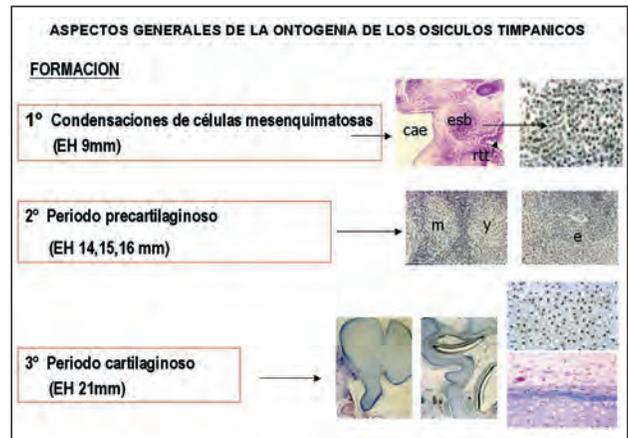
Las primeras manifestaciones de los futuros osículos timpánicos se observan en el embrión de 9 mm por medio de unas condensaciones celulares (esbozos), constituidas por células redondeadas de pequeño tamaño, escaso citoplasma, núcleo grandes y en las que no se observan la presencia de los componentes intercelulares. Su morfología es más o menos redondeada y su aspecto es muy denso debido a la gran proliferación que hace que las células se aglomeren.

Dicho cúmulo está interpuesto entre el receso tubotimpánico y el conducto auditivo externo e inmerso en el seno de un mesénquima que se acumula entorno a los dos primeros arcos faríngeos.



B) PERIODO PRECARTILAGINOSO.

En los embriones de 14, 15 y 16 milímetros las células mesenquimales de los esbozos se transforman en condroblastos. Estas células presentan una estructura de células redondeadas con grandes núcleos y nucleolos visibles, citoplasma pálido y vacuolado.



C) PERIODO CARTILAGINOSO (CENTROS DE CONDRIFICACION).

Este periodo se observa en el embrión humano de 21 mm y se prolonga hasta la aparición de los centros de osificación primarios.

Los osículos presentan una estructura cartilaginosa, constituida en las primeras etapas por condroblastos de núcleo elipsoide que se disponen laxamente y unidos unos con otros a través de delicadas e invisibles prolongaciones que forman una red reticular. Dichos condroblastos comienzan a sintetizar y segregar matriz al espacio extracelular, encerrándolos dentro de la laguna para posteriormente transformándose en condrocitos.

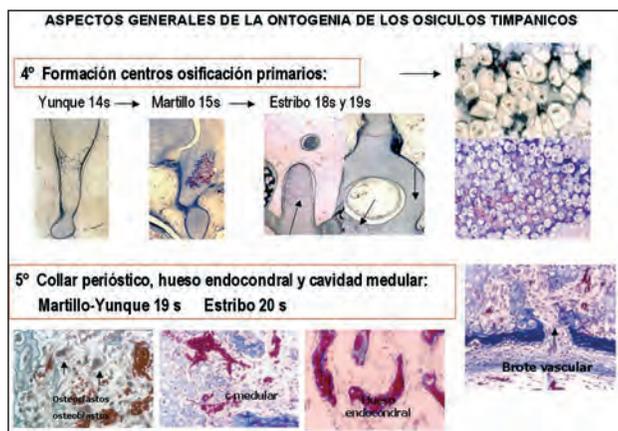
Los distintos osículos están delimitados y separados del mesénquima circundante por una capa delgada fibrosa de pericondrio caracterizada por su conectivo denso. En el observamos dos capas, una externa fibrosa caracterizada por la presencia de tejido conectivo denso (fibras de colágeno y fibroblastos), y una interna celular o condrogénica de células aplanadas.

Este periodo en sus fases tempranas nos permite establecer el origen de las distintas partes de los osículos. La cabeza y el cuerpo del yunque derivan de primer arco faríngeo, y el mango del martillo, la apófisis vertical del yunque y la superestructura del estribo del segundo arco faríngeo.

La apófisis anterior del martillo (Os Gonadal) se desarrolla con independencia del cartílago de Meckel, por medio de un modelo de osificación membranosa, y la cara vestibular de la platina deriva de la cápsula ótica. El posterior crecimiento de las distintas partes de los osículos hará que estos se fusionen.

D) APARICION DE LOS CENTROS DE OSIFICACION.

El primer centro de osificación endocondral en aparecer lo hemos observado en el yunque a las 14 semanas de desarrollo y está localizado en su apófisis vertical; posteriormente surge el del martillo a las 15 semanas, a nivel de la unión de la cabeza con el cuello y por último los tres del estribo, el primero en su rama posterior a las 18 semanas y a continuación los dos restantes en su rama anterior y base de la platina a las 19 semanas. La primera señal de aparición del centro de osificación es la hipertrofia de los condrocitos, estos presentan una morfología de células muy vacuoladas y la matriz que los rodea se calcifica. Este hecho impide que los condrocitos reciban nutrición adecuada y por lo tanto degeneren y mueran.



E) APARICION DE HUESO PERICONDRAL

A medida que se desarrolla la osteogénesis en el núcleo primario el pericondrio es invadido por numerosos vasos capilares, las células de la capa condrogénica se diferencian en osteoblastos y forman por osificación intramembranosa una cubierta fina de hueso alrededor del centro de osificación.

La aparición de hueso pericondral se observa a las 14 semanas del desarrollo, en la apófisis vertical del yunque; a las 16 semanas en el cuello del martillo y a las 20 semanas en las proximidades de los tres núcleos del estribo.

F) FORMACION DE CAVIDAD MEDULAR

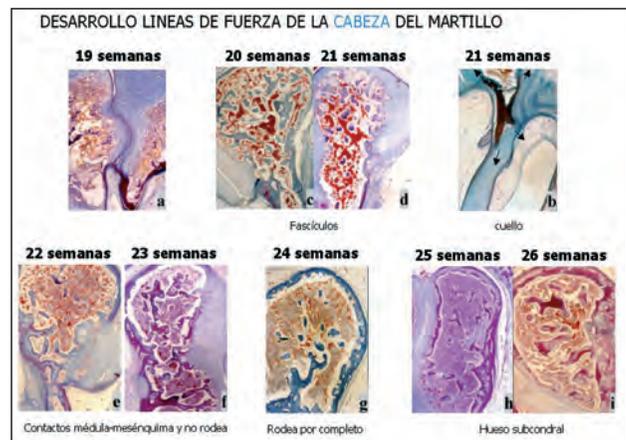
Los vasos sanguíneos y el tejido circundante se extienden hacia el almacén cartilaginoso y constituye el brote perióstico cuando alcanza el interior las células se diferencian en células hematopoyéticas, osteoblastos formadores de hueso y osteoclastos que reabsorben el cartílago calcificado y formando la espacios medulares primitivos.

La presencia de cavidad medular la hemos observado en la apófisis vertical del yunque y en la unión del cuello con la cabeza del martillo a las 18 semanas del desarrollo, mientras que en el estribo aparece dos semanas después.

G) APARICION DE HUESO ENDOCONDRAL

En el interior de la cavidad medular las células osteoblásticas se distribuyen alrededor del cartílago calcificado y empiezan a formar primitivas trabéculas óseas. Que consisten en un núcleo calcificado de cartílago que está envuelto en hueso.

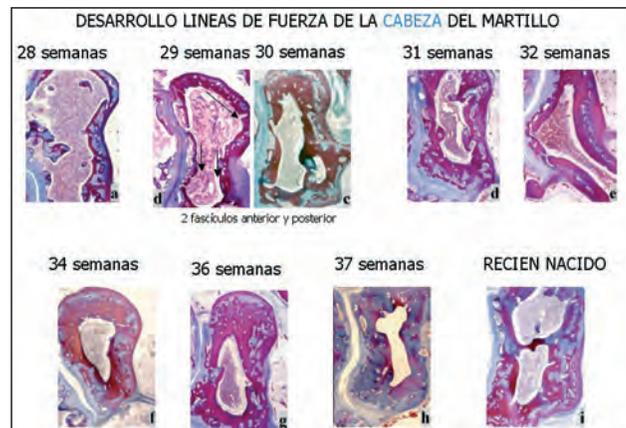
La primera constancia de la aparición de hueso endocondral se observa a las 19 semanas en el yunque y en el martillo, y a partir de las 20 semanas en el estribo.



H) EXTENSION PROGRESIVA DEL HUESO Y APARICION DE SISTEMAS TRABECULARES.

En este último estadio el tejido óseo se va extendiendo progresivamente, reduciendo la cavidad medular, con aparición de hueso esponjoso y formando los sistemas de transmisión de líneas de fuerza.

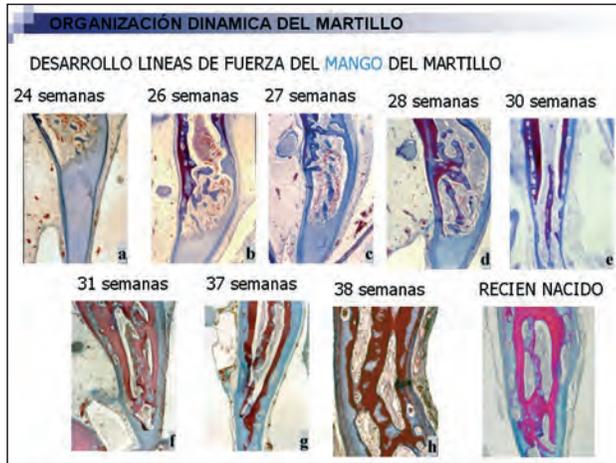
La arquitectura de las líneas de fuerza se desarrollará mediante sistemas diferentes, por una parte las corticales a partir de hueso perióstico, y por otra el hueso del interior del osículo a partir de hueso endocondral.



Desarrollo de la organización dinámica del martillo

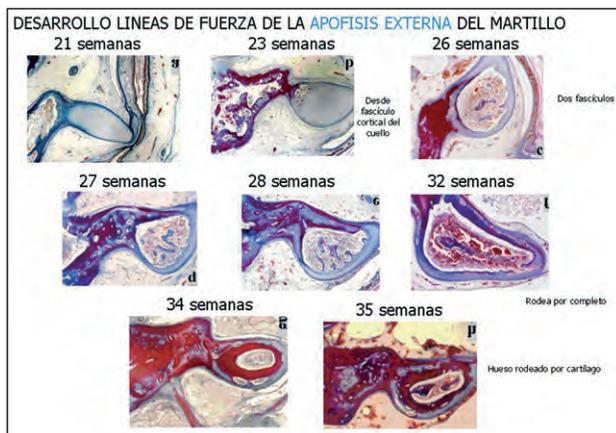
La primera constancia clara de la organización de las líneas de fuerza se ha observado en el feto de 21 semanas de desarrollo a nivel de la unión de la cabeza con el cuello por medio

de dos fascículos corticales (interno y externo) poco extensos, que se dirigen a concentrarse en el cuello para volver a separarse en dos fascículos muy cortos que se detienen en la raíz del mango (interno) y en la apófisis externa (externo).



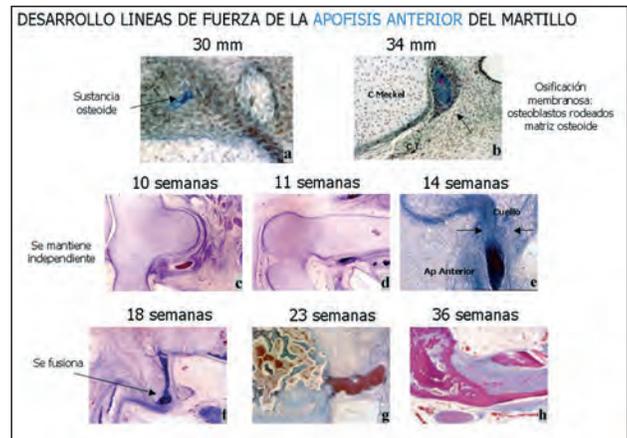
Entre las 22 y 23 semanas a nivel de la cabeza del martillo van surgiendo trabéculas óseas pericondrales alrededor de la cavidad medular que se continúan con las corticales del cuello, trabéculas que van rodeando a la cabeza con excepción de la superficie articular incudo-maleolar y zonas adyacentes a ésta y el remanente amorfo del cartílago de Meckel, que conservan su estructura cartilaginosa. En la apófisis externa observamos los primeros signos de su osificación.

A las 24 semanas todo el perímetro de la circunferencia de la cabeza presenta una delgada y fina capa ósea con excepción de la superficie articular. La osificación progresa por el extremo proximal del mango del martillo, por medio de dos fascículos corticales que se detienen al nivel de su mitad siendo la cortical interna más extensa y gruesa que la externa.



Entre las 25 y 28 semanas aumentan las trabéculas óseas endocondrales en el interior de la cavidad medular de la cabeza y se va formando una lámina ósea inmediatamente debajo del cartílago articular por mecanismo de aposición. En esta lamina, que al principio es discontinua, van quedando amplias zonas en las que el cartílago contacta directamente con la cavidad medular. En el mango la cortical interna va descendiendo hasta cerca de su extremo distal mientras que la externa sigue detenida en su extremo proximal, en el interior de la cavidad medular se observan trabéculas óseas endocondrales que se disponen en dos grupos según

su dirección, las primeras son transversales al eje del mango y las segundas longitudinales. Por otra parte el fascículo cortical externo que se originó en el cuello se extiende hacia la apófisis externa por medio de dos pequeños fascículos (superior e inferior) que rodean progresivamente a la cavidad medular que se está formado en su interior.



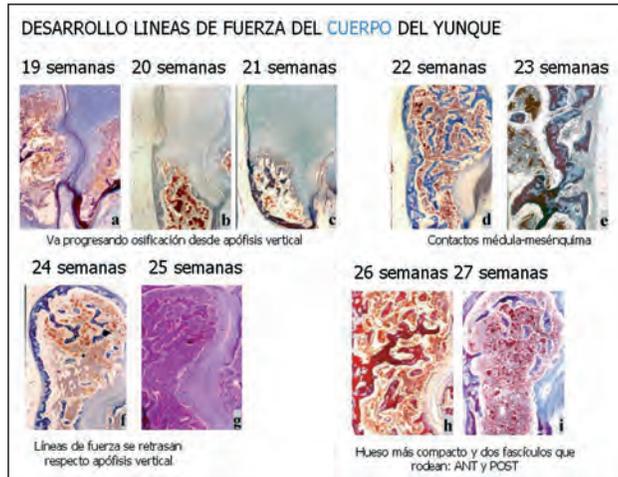
A las 29 semanas y 30 semanas la cabeza del martillo presenta dos fascículos óseos; el primero se origina a nivel de la superficie articular (cara posterior) y se dirigen verticalmente hacia abajo, y el segundo en su borde superior y cara anterior, confluyendo ambos a nivel del cuello. En el mango las trabéculas óseas endocondrales que presentaban una disposición transversal se unen por aposición con los fascículos externo e interno, este hecho hace que ambos fascículos aumenten de grosor, mientras que las que presentaban una disposición longitudinal se van fusionando y formando un nuevo fascículo medio. En la apófisis externa ambos fascículos van aumentando de grosor por aposición de hueso endocondral siendo el superior más grueso que el inferior representado por una fina capa ósea.



A las 31 semanas la estructura dinámica del mango está constituida por tres fascículos óseos, interno, medio y externo, entre los que se establecen uniones. La existencia de un fascículo intermedio y sus uniones con los fascículos corticales hacen que la cavidad medular quede dividida en compartimentos más pequeños.

En los fetos de 32 semanas destaca el aumento de grosor de los dos fascículos que rodean a las cavidades medulares de la cabeza y apófisis externa, por mecanismos de aposición y extensión de los huesos periostal y endostal, y la consiguiente disminución de ésta. En el mango ambas corticales alcanzan las inmediaciones del extremo terminal que mantiene su estructura cartilaginosa.

A las 34 semanas la cabeza cada vez contiene más hueso compacto rodeando a la cavidad medular, el mango presenta tres fascículos diferentes, dos delgadas corticales que todavía no se han terminado de consolidar y un fascículo central, y la apófisis externa ha organizado su estructura dinámica consistente en dos fascículos óseos de hueso compacto que rodean a la cavidad medular y todo ello recubierto por una capa exterior de naturaleza cartilaginosa.



En los fetos de 35, 36 y 37 semanas todos los fascículos van aumentando de grosor por mecanismos de aposición y extensión de los huesos periostal y endostal destacando como en el mango el fascículo intermedio va adquiriendo robustez.

En el recién nacido (38 y 40 semanas) la transmisión de fuerzas se inician en el mango mediante dos corticales externa e interna y un fascículo central que se concentran en el cuello. Las líneas originadas en la apófisis externa siguen dos caminos diferentes, el primero, que recoge la transmisión de la parte superior se dirige al cuello y en el segundo que se origina en la parte inferior se confunden con la cortical interna del mango. Desde el cuello las fuerzas se transmiten a la cabeza por medio de dos fascículos corticales que se dirigen respectivamente a la superficie articular (más grueso), y al borde superior y cara anterior.

El desarrollo de la apófisis anterior o de Raw, es diferente ya que se forma mediante osificación de tipo membranosa, siendo la primera parte del osículo que se osifica.



La aparición de la futura apófisis anterior, la hemos observado en el embrión de 30 mm, con independencia del cartilago de Meckel. Dicha apófisis se sitúa en una posición medio-caudal con respecto al cartilago de Meckel y a la cuerda del timpano. El mesénquima forma membranas denominadas "ostoides" en las que se depositan filamentos de matriz orgánica que posteriormente se ramifican y se unen para formar espículas y trabéculas óseas.

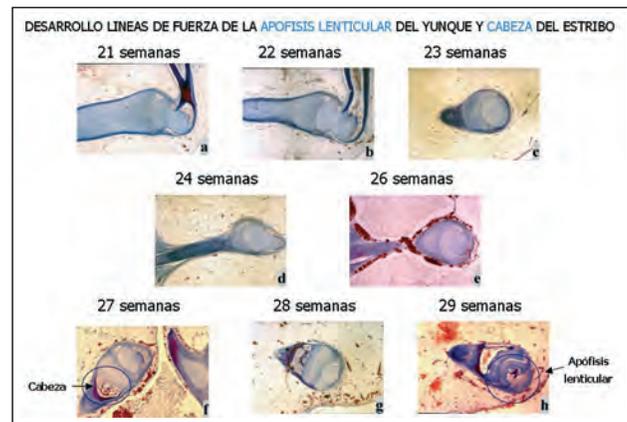
A partir de las 10 semanas de desarrollo la apófisis está completamente osificada y sigue independiente al resto del osículo. Entre las 16 y 18 semanas del desarrollo la apófisis se fusiona con el cuello a nivel de la cortical interna de éste, y a partir de las de las 19 semanas la apófisis está completamente osificada y unida al resto del osículo.



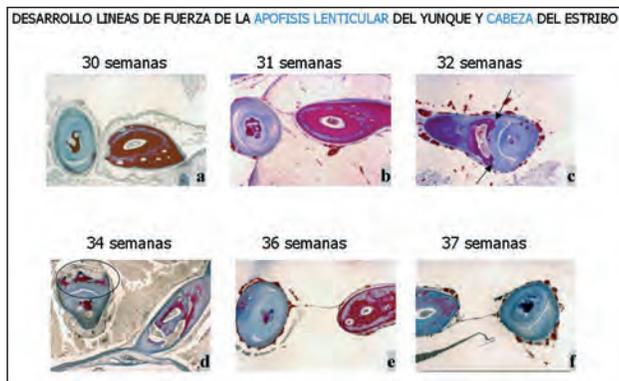
Desarrollo de la organización dinámica del yunque

El inicio de la consolidación de la organización de las líneas de fuerza en el yunque lo hemos observado entre las 16 y 20 semanas de desarrollo a nivel de la apófisis vertical por medio de dos finas corticales de hueso pericondral que van extendiéndose, tanto en sentido craneal como caudal, hacia el cuerpo y la apófisis lenticular y aumentando progresivamente su grosor.

A las 21 semanas las corticales ocupan toda la extensión de la apófisis deteniéndose en las proximidades de la apófisis lenticular, y a las 22 semanas ambas corticales empiezan a fusionarse. Esta fusión se hace más evidente entre las 23 y 29 semanas. Las laminillas óseas se van concentrando dibujando bucles por el entrelazamiento de las líneas de fuerza que acaban concentrándose en el istmo de la apófisis lenticular.



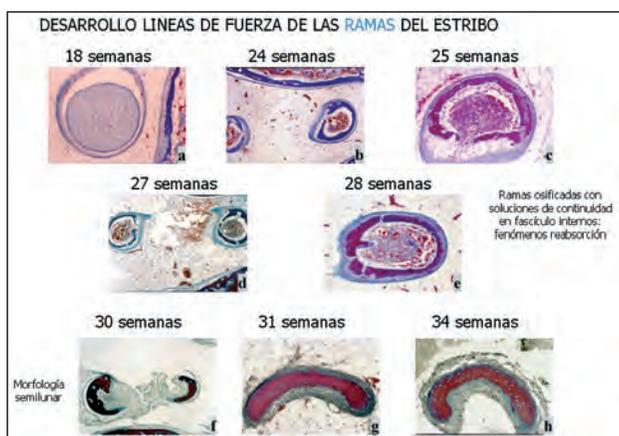
Desde las 30 semanas hasta el nacimiento las líneas de fuerza se van consolidando mediante el cruce de trabéculas óseas de una a otra cortical, reforzando los fascículos que discurren por ambas corticales.



En el cuerpo de yunque el desarrollo de las líneas de fuerza se retrasa con respecto a la apófisis larga y no es hasta las 24 semanas donde hemos observado la formación de una gran cavidad medular rodeada por hueso pericondral con excepción de su superficie articular constituida por cartílago hialino.

A las 26 semanas el hueso que rodea a la cavidad se va haciendo más compacto apreciándose dos fascículos. El primero, anterior, parte de las proximidades de la superficie articular y el segundo, posterior, del resto cuerpo. Ambos fascículos se continúan por las corticales de la apófisis larga. En el interior de la cavidad medular se puede apreciar hueso endocondral que ocasionalmente une los fascículos anterior y posterior.

A partir de las 28 semanas hasta el nacimiento el cuerpo del yunque es de la variedad morfológica cavitaria, aumentando progresivamente la consistencia y grosor de ambos fascículos que están independizados y separados por la cavidad medular mediante mecanismos de aposición y extensión de los huesos periostal y endostal.



La apófisis corta u horizontal presenta una estructura ósea muy laxa, siendo en los primeros estadios del desarrollo cartilaginosa. La organización trabecular la hemos empezado a observar a partir de las 24 semanas del desarrollo, (figura 4a), para a las 25 semanas presentar dos fas-

cículos corticales, de escasa densidad ósea entremezclados con amplias zonas de islotes de tejidos cartilaginosos, que se continúan con los del cuerpo. Dichos fascículos se interrumpen bruscamente en el extremo posterior de la rama, extremo que permanece con una estructura cartilaginosa. En el momento del nacimiento el extremo posterior de la apófisis corta del yunque también mantiene una estructura de tipo cartilaginosa.

La apófisis lenticular presenta una estructura cartilaginosa, hasta las 29 semanas en la que aparecen los primeros signos de osificación consistentes en la presencia de un núcleo central de hueso endocondral, en cuyo interior se aprecian pequeñas cavidades medulares y todo ello rodeado por cartílago de la variedad hialino. Dicho núcleo óseo va aumentando con la edad.

En el recién nacido las líneas de fuerza se inician en la faceta articular, y se transmiten al cuerpo por medio de dos fascículos corticales separados por la cavidad medular, para posteriormente descender por la apófisis vertical por medio de dos fascículos corticales, que se van entrelazando y acaban a nivel del istmo de la apófisis lenticular.

Desarrollo de la organización dinámica del estribo

De los tres osículos el estribo es el último en comenzar su osificación y su desarrollo arquitectural es el más complejo, ya que en su formación se ven implicados tres centros de osificación primarios que aparecen en sucesión y se van fusionando con el tiempo. A todo esto hay que sumar que ciertas partes del estribo sufren una remodelación consistente en la erosión y disolución de parte de sus componentes óseos, hecho que conlleva la reducción de su volumen.



La osificación de las crudas anterior y posterior, se va extendiendo progresivamente desde el centro de osificación situado en zonas distales de estas hasta las proximales y no terminan de fusionarse con el cuello hasta las 27 semanas del desarrollo.

En los cortes horizontales de las ramas se aprecia como estas a las 22 semanas presentan una morfología circular; las áreas próximas al centro de osificación presentan una estructura ósea, mientras que en las distantes la estructura persiste con las características típicas de cartílago. A las 24 semanas ambas ramas están totalmente osificadas conservando su morfología esférica, presentando una gran cavidad medular rodeada por hueso pericondral. A partir de las 24 semanas y hasta las 30 semanas en su cortical inter-

na aparecen una pequeña solución de continuidad por un proceso de erosión y disolución y cómo por esta abertura sale el contenido de la cavidad medular al exterior para contactar con el mesénquima próximo.

Entre las 31 y 32 semanas del desarrollo las ramas adquieren su morfología clásica semilunar, convexas en su exterior y cóncavas en su interior, y su constitución por hueso compacto permite seguir las líneas de fuerza descendiendo por las crudas hacia la platina.



La cabeza del estribo permanece con una estructura cartilaginosa hasta las 26 semanas del desarrollo en que comienza su osificación, para a partir de las 27 semanas, desde el cuello ir desarrollando dos finas corticales y labrando en su interior una primitiva cavidad medular. A las 29 semanas ambas corticales han alcanzado los extremos de la superficie articular. Entre las 30 y 31 semanas se va engrosando las corticales y desde ambos extremos se va formando dos columnas óseas que van recubriendo progresivamente la superficie articular, ambas columnas se fusionan a las 34 semanas. En la cabeza del estribo de un recién nacido las líneas de transmisión de fuerza se originan en la superficie articular y descienden por las crudas hasta la platina ósea formando una verdadera ojiva gótica.

La osificación de la platina, tiene doble procedencia, la cara timpánica del cartílago de Reichert y la cara vestibular de la cápsula ótica.

En la cara timpánica hemos observado a las 20 semanas la presencia de un centro de osificación primario situado en su base y cómo a partir de este momento y hasta las 30 semanas del desarrollo dicha cara sufre un proceso continuo de remodelación que conlleva la desaparición de la mayor parte de ella, existiendo al final del proceso una lámina muy fina en la que empiezan a aparecer trabéculas óseas.

A partir de las 30 semanas del desarrollo, la lámina timpánica va aumentando de grosor a base de la aposición de trabéculas óseas. En todo este proceso la lámina vestibular mantiene su estructura cartilaginosa.

Por último queremos reseñar que además de en la cara vestibular de la platina las zonas próximas a la articulación estapedio-vestibular conservan por lo menos hasta el nacimiento un recubrimiento cartilaginoso.

Factores que intervienen en el desarrollo de las líneas de fuerza

En la organización de la microarquitectura de los osículos timpánicos intervienen, además de factores genéticos que implican la migración de las células desde la cresta neural a los arcos faríngeos y su posterior diferenciación

en los distintos componentes esqueléticos del oído medio (NOVACEK 1993, MALLO 1997), diferentes factores de tipo mecánico que contribuyen a establecer la movilidad de los osículos y por lo tanto a aumentar la actividad osteoblástica que incrementará la formación de hueso.

Entre estos factores la desaparición del mesénquima de la caja del tímpano y el comienzo de la movilidad de los osículos, creemos que son claves para establecer el patrón arquitectónico de los osículos.

Como hemos podido observar en los preparados histológicos es, a partir de las 21 semanas del desarrollo, cuando el mesénquima de la caja del tímpano empieza los fenómenos de reabsorción, completando su neumatización hacia la semana 33 y cuatro semanas más tarde termina la del epitímpano. Cuando se ha producido la neumatización de gran parte de la caja del tímpano los osículos están libres en ella y podrán moverse en un medio líquido. Estos datos son muy similares a los descritos por BUCH (1963), RAUCHFUSS (1989) y PIZA (1998).

Para KASEMSUWAN (1996) y TAKAHARA (1986) la reabsorción continua durante la infancia observando cómo la cantidad de tejido mesenquimatoso que permanece en el hueso temporal disminuye al aumentar la edad del infante. En cuanto a la desaparición del mesénquima tres son las teorías. La primera es que se produce por reabsorción (RAUCHFUSS, 1989), la segunda por una redistribución y adelgazamiento de la mucosa de la caja del tímpano (PIZA, 1998) y la tercera por participación de mecanismos de muerte celular programada pero esta apoptosis sólo se produce alrededor de mesénquima de los osículos (ROBERTS, 1998).

Coincidiendo con el comienzo de la desaparición de mesénquima de la caja del tímpano hemos observado la presencia de contactos entre la medula ósea de los osículos con el mesénquima. Dichos contactos son transitorios y pensamos al igual que LINTHICUM (1997) que el tejido medular óseo tiene una función hematopoyética a su vez de protectora del oído medio de las invasiones bacterianas.

Otras referencias con respecto a la movilidad de los osículos son la desaparición del tapón meatal y la completa maduración estructural de la membrana del tímpano y de la unión con el mango del martillo. ARS (1984) y NISHIMURA (1992) observaron cómo a las 21 semanas se ha completado la separación de la membrana del tímpano del conducto auditivo externo, aunque hay que precisar que en estas fechas la luz del conducto auditivo externo es todavía estrecha y curvada.

El desarrollo de las articulaciones incudo-maleolar, incudo-estapedial y estapedio-vestibular también tienen que jugar un papel importante en la evolución de las líneas de fuerza al ser las que van a permitir el movimiento de los osículos. Dichas articulaciones manifiestan sus características propias y definitivas a partir de las 20 semanas del desarrollo (WHYTE, 2002). Hay que precisar que la movilidad de la cadena osicular es mínima y sobre todo relacionada con los movimientos de deglución.

Por último esta maduración de la arquitectura ósea se relaciona con la maduración de la vía auditiva. MOORE y PERAZZO (1995) observaron cómo las neuronas empiezan a madurar a las 20 semanas del desarrollo, a las 30 las neuronas tienen una morfología similar a la del adulto y a las 35 semanas la cóclea alcanza su completa madurez morfo-funcional.

Gracias por su atención