



FORMACIÓN DEL CRISTALINO.

Recordemos que la copa óptica expresa el gen Pax-6 e induce al ectodermo superficial a engrosarse para formar el primordio del cristalino llamado placoda del cristalino. La expresión continua de esta molécula hace que la placoda se invagine y forme la vesícula del cristalino. El factor de transcripción **Foxe-3** opera corriente abajo de Pax-6, facilita el desprendimiento de la vesícula del cristalino del ectodermo superficial y la diferenciación de las células posteriores en las fibras del cristalino.

Las células epiteliales del cristalino que son poco especializadas y con actividad mitótica, se transforman en células llamadas **fibras cristaliniánas** que ya son posmitóticas, alargadas, transparentes y que contienen grandes cantidades de proteínas cristaliniánas alfa, beta y gamma. A nivel tisular, todo el cristalino responde a señales provenientes de la retina y otras estructuras del ojo, de tal manera que su forma y organización general se adaptan mejor para la transmisión de los rayos de luz desde la entrada en la córnea hasta las células fotorreceptoras de la retina.

La formación de las fibras del cristalino, comienza al final de la sexta semana con el alargamiento de las células epiteliales del polo posterior de la vesícula del cristalino, estas células producen las fibras del núcleo del cristalino. Durante la vida embrionaria la actividad mitótica se extiende a todas las células del epitelio cúbico anterior del cristalino, sin embargo, por la época del nacimiento, la actividad mitótica se detiene en la región central de este epitelio, y queda un anillo germinal de células con actividad mitótica alrededor de ella. Las células hijas de la región germinal se desplazan hacia la parte ecuatorial, dejan de dividirse, comienzan a formar RNA-mensajeros de las proteínas cristaliniánas y experimentan una tremenda elongación para transformarse en fibras secundarias, que se disponen en capas concéntricas alrededor de las fibras primarias del núcleo del cristalino. Con ellos, queda determinada la estructura cristaliniánana del núcleo conformado por fibras cristaliniánanas primarias y la corteza conformada por fibras secundarias que confluyen en los polos anterior y posterior para establecer las suturas anterior y posterior. Aunque las fibras secundarias se siguen formando durante la vida adulta y el cristalino va aumentando de diámetro, las fibras primarias se mantienen durante toda la vida.

Durante gran parte de su vida, el cristalino se encuentra bajo la influencia de la retina, después de la inducción del cristalino, las secreciones de la retina, de las cuales el FGF es un componente primordial, se acumula en el humor vítreo por detrás de la lente y estimulan la formación de las fibras del cristalino.

FORMACIÓN DE LA CÓRNEA.

La formación de la córnea depende de la vesícula cristaliniánana, que induce la transformación del ectodermo superficial en la estructura avascular, transparente y de varias capas de la córnea, la cubierta fibrosa del ojo que protruye hacia la órbita.

1. Las células ectodérmicas inducidas se engrosan y comienzan a segregar colágenos tipo I, II y IX para formar el estroma primario de la córnea
2. Las células de la cresta neural situadas alrededor de la copa óptica migran hacia este estroma primario y se transforman en el epitelio cuboide llamado endotelio corneal. En este punto la cornea primitiva consta de: un epitelio externo, un estroma primario acelular y un endotelio interno
3. El endotelio de la córnea sintetizan grandes cantidades de ácido hialurónico, el cual hace que el estroma primario se hinche en gran manera, creando un sustrato apropiado para la segunda oleada migratoria de las células hacia la córnea en desarrollo



4. Una vez que han migrado estas células se diferencian a estirpe fibroblástica y comienzan a secretar hialuronidasa que degrada el ácido hialurónico, con esto se disminuye la tasa de migración al estroma corneal y se lleva a cabo uno de los eventos de deshidratación de la cornea, importante para completar su transparencia
5. Una vez que los fibroblastos migratorios se han asentado, se considera un estroma secundario, éstos fibroblastos contribuyen a la organización de la córnea mediante la secreción de fibras de colágeno de la matriz estromal y de las membranas basales de los epitelios originando las capas que constituyen la córnea madura, desde afuera hacia adentro: 1) epitelio anterior o externo, 2) membrana de Bowman, 3) estroma secundario, 4) membrana de Descemet y 5) endotelio corneal.

Los cambios finales del desarrollo de la córnea incluyen la formación de un trayecto transparente carente de distorsiones ópticas, a través del cual la luz entra en el ojo lo cual se logra eliminando casi toda el agua del estroma secundario.

1. La primera fase, ya mencionada, con la producción de hialuronidasa por parte de las células fibroblásticas.
2. La segunda fase esta mediada por la tiroxina, que es liberada en la sangre por la glándula tiroides en desarrollo, la cual actúa sobre el endotelio corneal haciéndole bombear sodio desde el estroma secundario hacia la cámara anterior. Las moléculas de agua siguen a los iones de sodio y así se logra una forma efectiva de deshidratación del estroma corneal.

El otro suceso tardío en la córnea es un pronunciado cambio en su radio de curvatura con relación a la de todo el globo ocular, el cual incluye numerosos procesos mecánicos (incluida la presión del líquido intraocular) lo que permite que la córnea junto con el cristalino deje pasar los rayos luminosos hacia la retina.

IRIS Y CUERPO CILIAR.

La diferenciación del iris y del cuerpo ciliar tiene lugar en el labio de la copa óptica donde se fusionan las capas interna y externa.

El estroma del iris, que es superficial a la capa pigmentada externa de esta estructura, se origina en la cresta neural y migra secundariamente al iris. En este estroma se encuentran los primordios de los músculos esfínter y dilatador de la pupila. El color de los ojos es el resultado del nivel y la distribución de la pigmentación del iris. Las células pigmentarias también aparecen en el estroma del iris frente al epitelio pigmentario, cuanto mayor sea la densidad del pigmento en esta área, más marrón será el ojo, la pigmentación definitiva del ojo se desarrolla gradualmente durante los primeros seis a diez meses de vida posnatal.

Entre el iris y la retina neural se encuentra el cuerpo ciliar, una estructura cuyo músculo deriva de las células de las crestas neurales y está conectada al cristalino por grupos de fibras que en su conjunto se llaman ligamento suspensorio del cristalino. Mediante las contracciones de la musculatura ciliar que actúan a través del ligamento suspensorio, el cuerpo ciliar modula las curvaturas del cristalino para enfocar nítidamente los rayos luminosos en la retina. Además, cuerpo ciliar del ojo secreta el humor acuoso dentro de la cámara posterior del ojo. El líquido pasa enfrente del cristalino por la pupila hacia la cámara anterior, donde mantiene la presión externa sobre la córnea. Después éste es reabsorbido dentro del conducto de Schlemm en el ángulo que se forma entre la cornea y el iris.



CUERPO VÍTREO Y SISTEMA DE LA ARTERIA HIALOIDEA.

Al comienzo del desarrollo de la retina, un mesénquima laxo derivado de las crestas neurales invade la cavidad de la copa óptica y forma una malla laxa de fibrillas junto con una sustancia gelatinosa que llena el espacio que queda entre la retina neural y el cristalino. Este material se llama cuerpo vítreo, el cual durante gran parte del desarrollo embrionario es irrigado por la arteria hialoidea y sus ramas. Esta arteria entra al ojo a través de la fisura coroidea del tallo óptico, pasa por la retina y el cuerpo vítreo y termina ramificándose en la pared posterior del cristalino. Conforme avanza el desarrollo, las porciones de la arteria hialoidea que están dentro del cuerpo vítreo involucionan por apoptosis de sus células endoteliales, lo que deja el conducto hialoideo. La parte más proximal del sistema de la arteria hialoidea persiste y forma la arteria central de la retina y sus ramas.

CAPAS COROIDEA Y ESCLERÓTICA.

Fuera de la copa óptica se dispone una capa de células mesenquimatosas, la mayoría de las cuales se origina en la cresta neural. Como respuesta a una acción inductiva de la capa externa de la copa óptica, estas células se diferencian en estructuras que proporcionan el soporte vascular y mecánico al globo ocular. Las células más internas de esta capa se transforman en una túnica muy vascularizada llamada **coroides** (antes uvea) y las más externas forman una cubierta blanca de colágeno denso conocida como **esclerótica**. La capa coroides presenta un origen homólogo con las leptomeninges, mientras que la esclera es homóloga de la duramadre. Los músculos extraoculares, que mueven el globo ocular, se insertan en la esclerótica. Durante la séptima semana, el mesénquima que recubre el cristalino se divide en dos capas que limitan una nueva cavidad, llamada cámara anterior, la pared anterior (superficial) se continúa con la esclera del globo ocular y la posterior (profunda) con la coroides. Las capas profundas de ésta pared, posterior, acaban rompiéndose por un proceso de vacuolización hasta forma un nuevo espacio, la cámara posterior, entre el cristalino y el delgado vestigio de la capa de pared. Esta fina membrana vestigial, denominada membrana pupilar, se rompe a principios del período fetal para dar lugar a una abertura llamada pupila, a través de la cual se comunican la cámara anterior y posterior

PÁRPADOS Y GLÁNDULAS LACRIMALES.

Los párpados comienzan a verse durante la séptima semana como pliegues de piel que se forman excéntricamente de la córnea, crecen sobre el ojo hasta que se encuentran y se fusionan hacia el final de la novena semana. La fusión permanece hasta el séptimo mes de gestación y solo implica a las capas epiteliales de los párpados. Antes de abrirse aproximadamente hacia las semanas 26-28, las pestañas y las pequeñas glándulas del borde palpebral comienzan a diferenciarse.

El espacio que queda entre la cara anterior del globo ocular y los párpados se conoce como saco conjuntival recubiertos por un epitelio llamado conjuntiva. Al abrirse los párpados, la conjuntiva recubre la parte anterior de la esclera y el epitelio superficial de la córnea.

En la fase de fusión de los párpados y a partir del ectodermo lateral superficial comienzan a crecer múltiples invaginaciones epiteliales. Estas formarán las glándulas lacrimales, las cuales producirán una secreción acuosa que baña la superficie externa de la córnea. Esta secreción pasa hacia la fosa nasal a través del conducto nasolacrimal. Las glándulas lacrimales no están del todo desarrolladas al nacimiento, éstas comienzan a producirse hacia las seis semanas posnatales.