TÍTULO: ASPECTOS MORFOFISIOLÓGICOS DEL ÓRGANO DE LA VISIÓN. CONSIDERACIONES CLÍNICAS

Autores: Beatriz María Gutiérrez Alarcón[1], Leydis Martha García Arévalo[2].

[1] Estudiante de 3er año de la carrera de medicina. Alumna Ayudante de Oftalmología.

[2] Estudiante de 3er año de Medicina

E-mal: dalarconz@infomed.sld.cu

Introducción.

Las informaciones recibidas del medio externo al organismo son constantemente enviadas al sistema nervioso central por medio de los órganos de los sentidos. En la porción inicial de esos órganos existen estructuras especiales, los receptores, cuya función es convertir diferentes formas de energía en alteraciones del potencial de sus membranas.[1]

Los ojos son los órganos fotosensibles del cuerpo y están alojados en las órbitas óseas del cráneo. El globo ocular (bulbo del ojo) y sus estructuras asociadas sirven para recibir los rayos luminosos a través de la córnea y otros medios de refracción y enfocarlos sobre su pared posterior, donde está situada la retina con sus bastones y conos fotosensibles. Al estimularse con la luz, se transmite una señal hacia el cerebro para su procesamiento en una compleja imagen visual que percibe el individuo.[2]

Sugiero: (ver vídeo en galería de imágenes) así como accesar al link www.academia.cat/files/425-4939-DOCUMENT/molina-35-27Maig13.pdf

El ojo se forma a partir de tres orígenes. La retina y el nervio óptico son excrecencias del prosencéfalo y se las puede observar a las cuatro semanas de desarrollo. El cristalino y parte de las estructuras auxiliares existentes en la porción anterior del ojo proceden del ectodermo superficial de la cabeza. Las estructuras vinculadas con el globo ocular y sus túnicas (cubiertas) surgen a partir de los tejidos mesenquimatosos adyacentes. Estas tres capas son la túnica fibrosa externa, la túnica vascular intermedia y la túnica nerviosa interna.[1, 2]

Objetivo.

Realizar una revisión bibliográfica exhaustiva de la morfofisiología del órgano de la visión.

Desarrollo.

Los ojos son órganos fotosensibles complejos que alcanzaron alto grado de evolución, posibilitando un análisis minucioso en cuanto a la forma de los objetos, su color y la intensidad de la luz recibida. [1]

La primera manifestación del desarrollo del ojo aparece en el embrión de 22 días, en forma de dos surcos poco profundos a cada lado del cerebro anterior. Al cerrarse el tubo neural, estos surcos producen evaginaciones del cerebro anterior, las vesículas ópticas.

En la etapa ulterior estas vesículas se ponen en contacto con el ectodermo superficial e inducen en éste los cambios necesarios para la formación del cristalino. Poco después, la vesícula óptica comienza a invaginarse y forma la cúpula óptica de pared doble. Las capas interna y externa de esta cúpula están separadas en un principio por una luz, el espacio intrarretiniano, pero poco después desaparece y las dos capas se yuxtaponen. La invaginación no está limitada a la porción central de la cúpula, sino que comprende también una parte de la superficie inferior donde se forma la fisura coroidea. La formación de esta fisura permite a la arteria hialoidea llegar a la cámara interna del ojo.

Durante la séptima semana, los labios de la fisura coroidea se fusionan y la boca de la cúpula óptica se transforma en un orificio redondo, la futura pupila.

Mientras se producen estos acontecimientos, las células del ectodermo superficial, que en la etapa inicial estaban en contacto con la vesícula óptica, comienzan a alargarse y forman la placoda del cristalino. Ésta, ulteriormente se invagina y se convierte en la vesícula del cristalino. Durante la quinta semana de desarrollo la vesícula del cristalino

deja de estar en contacto con el ectodermo superficial y se sitúa en la boca de la cúpula óptica.

PAX 6 es un gen maestro para el desarrollo del ojo. Se trata de un miembro de la familia del Factor de Transcripción PAX (boxe pareado) y contiene dos motivos de unión al DNA que incluye un dominio pareado y un homeodominio de tipo pareado. Al comienzo, antes de que se inicie la neurulación, este gen produce un factor de transcripción que se expresa en una banda ubicada en el reborde neural anterior de la placa neural. En este período hay un solo campo ocular que más tarde se separa en dos primordios ópticos. La señal para la separación de este campo es sonic hedgehog(SHH) expresado en la lámina precordal. La expresión de SHH regula en más a PAX2 en el centro del campo ocular y regula en menos a PAX6. Posteriormente este patrón se mantiene de tal manera que PAX2 se expresa en los pedículos ópticos y PAX610 hace en la cúpula óptica y en el ectodermo superficial suprayacente que forma el cristalino. Una vez que ocurre la inducción del cristalino, la proteína morfogenética del hueso 7 (BMP7), miembro de la familia del gen del factor de crecimiento TGF-β, es necesaria para mantener el desarrollo del ojo.[3]

El ojo humano es un órgano en forma de esfera, que en condiciones normales tiene un peso medio de 7.5 g y un diámetro antero-posterior de 24 mm; el mismo está envuelto por tres capas: Capa externa, capa media o úvea y capa interna o retina. [4, 2]

1. La capa externa está constituida por:

a. Córnea: Situada anteriormente, se caracteriza por ser transparente y presentar una curvatura regular, lo que la convierte en una lente convergente. Actúa también como capa protectora del polo anterior del ojo ante traumatismos. [4]

La misma está integrada por cinco capas:

1. *El epitelio corneal*, un epitelio pavimentoso estratificado no queratinizado, es la continuación de la conjuntiva. Sus capas superficiales presentan zonas de oclusión, mientras que las células de la capa más profunda se interdigitan y están unidas entre sí mediante desmosomas. Las fibras del dolor atraviesan la cara basal del epitelio corneal y se arborizan cerca de su superficie. Las células epiteliales de la

periferia de la córnea poseen actividad mitótica, y las recién formadas tardan una semana en descamarse. El agua y los iones del estroma subyacente penetran en la córnea y llegan al saco conjuntival.

2. *La membrana de Bowman*, una capa fibrosa, está compuesta por colágeno de tipo I que separa el epitelio del estroma subyacente.

El estroma, también transparente, es la capa más gruesa de la córnea. Contiene de 200 a 250 laminillas con haces de colágeno de tipo I según una disposición regular, donde las fibras de colágeno en cada una son paralelas entre sí pero no con respecto a las de la laminilla más superficial o más profunda. Estas fibras de colágeno, junto a las fibras elásticas y los fibroblastos asociados, se encuentran sumergidos en una sustancia fundamental, gelatinosa, constituida por un complejo metacromático que contiene glicoproteínas, cargada de sulfato de condroitina y sulfato de queratano. Se observa también, con frecuencia, leucocitos, principalmente linfocitos, migrando en el estroma corneal, que es avascular. [1, 2]

3. *La membrana de Descemet*, una membrana basal gruesa y muy desarrollada que divide el estroma del endotelio corneal, gana espesor y se vuelve más fibrosa con la edad. Presenta una estructura con 5 a 1O µm de espesor, constituida por fibrillas colágenas organizadas como una red tridimensional.
4. *El endotelio corneal,* un epitelio pavimentoso simple que reviste la cara profunda de la córnea, elabora la membrana de Descemet. Así mismo, este endotelio lleva a cabo el transporte activo de iones de sodio (a los que siguen de manera pasiva los iones de cloruro y el agua) desde el estroma hacia la cámara anterior.[1, 2]

El epitelio corneal anterior es estratificado pavimentado no queratinizado, constituido por cinco a seis capas celulares. Este epitelio contiene numerosas terminaciones nerviosas libres, lo que explica la gran sensibilidad de la córnea. Habitualmente son observadas imágenes de mitosis en la capa basal del epitelio, que es dotada de una elevada capacidad de regeneración. En 7 días todas las células del epitelio anterior de la córnea son renovadas. Las células más superficiales de ese epitelio presentan microvellosidades sumergidos en un fluido protector que contienen lípidos y glicoproteínas. [1, 2]

El Limbo es la zona de transición de la córnea, que es transparente, para la esclera. El colágeno de la córnea, de homogéneo y transparente, se transforma en fibroso y opaco. En esta zona (limbo), altamente vascularizada, existen vasos sanguíneos que asumen un papel importante en los procesos inflamatorios de la córnea.. Se observa además en el estroma un canal de contorno irregular, revestido por endotelio, que circunda la transición esclerocorneal (limbo), denominado canal de Schlemm. [1]

b. Esclerótica: si se sigue hacia atrás la córnea, se puede encontrar con un resalte que se le denomina limbo esclerocorneal, y, posterior a éste, la esclera. En ella se distinguen tres subcapas:
   ☐Episclera: la más superficial y muy vascularizada.
   ☐Estroma escleral: actúa como protector al estar formado por fibras elásticas.
   ☐Lámina fusca: es una capa fibrosa, de situación posterior, que se caracteriza por presentar múltiples perforaciones para el paso de las terminaciones nerviosas ópticas y los vasos retinianos.

La esclerótica, el blanco opaco del globo ocular, está constituida por fibras de colágeno de *tipo I* entremezcladas con fibras elásticas, lo que crea una potente capa fibrosa que resiste la presión aplicada sobre ella por los humores vítreo y acuoso. En sus superficies superior, inferior, medial y lateral recibe las inserciones de los músculos extrínsecos del ojo. La superficie externa de la esclera se observa envuelta por una capa de tejido conjuntivo denso - la cápsula de Tenon - la cual está fijada por un sistema muy denso de finas fibras colágenas que corren dentro de un espacio llamado espacio de Tenon. La cara profunda de la esclerótica manifiesta la presencia de melanocitos, y su territorio posterior está perforado por el nervio óptico.[1]

2. Capa media o úvea: proporciona vasos nutricios al ojo, ésta túnica media (vascular) es constituida por tres regiones que, vistas de la parte anterior para la posterior, son: iris, el cuerpo ciliar y la coroide. [2]

   a. Iris: situado anteriormente, actúa como diafragma que regula la cantidad de luz, que penetra a través de la pupila. Es una prolongación de la coroide que cubre parte del cristalino. El iris tiene un orificio circular central, la pupila.

Su superficie anterior es irregular, presentando hendiduras y elevaciones, al contrario de la superficie posterior, que es lisa.

En él se distingue:

- ☐Zona anterior: separada de la córnea por la cámara anterior y a cuya pigmentación se debe el color de los ojos.
- ☐Zona media: formada por el estroma donde se encuentran fibras musculares que dilatan (sistema nervioso simpático) y contraen (sistema nervioso parasimpático) la pupila, así como fibroblastos, melanocitos y vasos sanguíneos.
- ☐Zona posterior: es una zona epitelial, negra, se sitúa anterior al cristalino. [1]

La zona o cara anterior del iris está revestida por epitelio pavimentado simple, continuación del endotelio de la córnea. Se continúa con un tejido conjuntivo poco vascularizado, con pocas fibras y gran cantidad de fibroblastos y células pigmentarias, seguido, a su vez, de una capa rica en vasos sanguíneos, inmersos en un tejido conjuntivo denso. El iris está cubierto, en su superficie posterior, por la misma capa epitelial doble que recubre el cuerpo ciliar y sus procesos. En esa región, la capa con melanina es más rica en este pigmento. La abundancia de células con melanina en varias porciones del ojo tienen como función principal impedir la entrada de rayos luminosos, excepto los que van formar la imagen en la retina (el globo ocular es una cámara oscura). Los melanocitos del iris influyen en el color de los ojos, en la realidad en el color del iris. Cuando la persona tiene pocas células pigmentarias en el iris, la luz reflejada nos parece como azul, debido a la absorción de su componente rojo durante el trayecto iridiano. A medida que mayores cantidades de melanina se acumulan en el trayecto, el color del iris va pasando a gris, a verde y a castaño. En albinos no hay melanina, y el color rosado es debido al reflejo de la luz por los vasos sanguíneos del iris, que presenta, en su espesura, ejes de fibras musculares lisas que se originan del músculo ciliar y prosiguen en dirección radial para los bordes de la pupila. Un poco antes de alcanzar la pupila, esos ejes se bifurcan, formando una Y de asta alargada. Los ramos de esa bifurcación se entrelazan, formando un anillo muscular con fibras circulares, al cual se dio el nombre

de esfínter de la pupila. Las astas alargadas de la Y forman el músculo dilatador de la pupila, que tiene una acción opuesta a la del esfínter. [1,2]

b. Cuerpo ciliar: esta protrusión se continua por delante con el iris y hacia atrás con la coroide y la retina. Por fuera la limita la esclerótica y por dentro el vítreo. *La zona externa* del cuerpo ciliar está formada por el músculo ciliar, que al contraerse produce la relajación del ligamento suspensorio del cristalino y consiguientemente, el abombamiento de éste: lo que se conoce como acomodación del ojo.[4] Esta capa externa sin pigmento recibe el nombre de epitelio ciliar, y presenta al microscopio electrónico una intensa invaginación de la porción basal de la membrana celular. Esa disposición es característica de epitelios que transportan iones y agua.[1]

El músculo ciliar (tres fascículos de músculo liso) está situado en el cuerpo ciliar. Debido a las contracciones de uno de los fascículos contribuyen a abrir el canal de Schlemm. Al contraerse los dos fascículos restantes, liberan la tensión de los ligamentos suspensorios del cristalino, haciendo que aumente la convexidad y el grosor del cristalino, lo que le permite enfocar los elementos que estén cerca, proceso denominado acomodación. La relajación de los músculos ciliares tensa el cristalino, lo que se traduce en su aplanamiento; en estas condiciones, el enfoque más agudo cae sobre los objetos alejados. [7, 1, 2]

El humor acuoso es producido en los procesos ciliares con la participación del epitelio ciliar. Ese humor fluye para la cámara posterior del ojo en dirección al cristalino, pasa entre el cristalino y el iris y llega a la cámara anterior, donde la dirección de su flujo cambia 180°, dirigiéndose al ángulo formado por el iris con la zona de transición esclerocorneal o limbo. [1]

c. Coroides: se extiende hacia el polo posterior entre la esclerótica y la retina, en su interior se encuentran numerosos vasos sanguíneos que nutren la retina.[4]

La coroides, es la capa pigmentada y muy vascularizada de la pared posterior del globo ocular, está sujeta de manera laxa a la túnica fibrosa. Se compone de tejido conjuntivo laxo que alberga abundantes fibroblastos, múltiples vasos sanguíneos y

numerosos melanocitos que le otorgan su típico color negro. La región interna de la coroides, la lámina coroidocapilar, tiene una cantidad especial de capilares y alimenta a la retina, de la que se encuentra separada por la membrana de Bruch, cuyo núcleo de fibras elásticas está recubierto de fibras de colágeno por ambos lados. [1]

La porción coroidea de la túnica vascular continúa hacia delante con *el iris*, que queda entre las cámaras anterior y posterior del ojo y cubre todo el cristalino excepto a nivel de la pupila. [8, 9, 1, 2]

3. Capa interna o retina: la retina es una estructura derivada del neuroectodermo [3, 4] especializada en recoger, elaborar y transmitir los estímulos visuales. Situada entre la coroides y el vítreo, es posible visualizarla en el fondo de ojo como una zona de aspecto transparente y rojizo. En ella se distinguen funcionalmente diez capas (las mismas serán descritas más adelante), la más externa está formada por células pigmentarias y contacta con la coroides; las capas más internas están formadas por elementos neuronales, fotorreceptores, células ganglionares y bipolares, además de células de la glia. [10, 2]

En la retina se diferencian dos áreas especiales: la mácula y la papila.

La mácula es una estructura oval localizada en el polo posterior en dirección temporal y situada por debajo de la papila. Esta área proporciona la zona de mayor agudeza visual (fóvea).

La papila, también denominada disco óptico o mancha ciega, tiene forma circular y color blanco amarillento y contiene la arteria y vena central de la retina. Recibe su nombre por carecer de fotorreceptores, es el lugar de salida de las fibras ópticas, por lo que es importante conocer su forma y situación, dado que la alteración de las mismas puede indicar el inicio de enfermedades oculares y sistémicas.[4]

Cristalino.

El cristalino es una lente biconvexa de ± 20 dioptrias, [4] que presenta gran elasticidad, [2] que se sitúa por delante del humor vítreo y por detrás del iris, hallándose unida a los procesos ciliares por la zónula de Zinn. Como se comentó anteriormente tiene un

papel fundamental en la acomodación del ojo, al modificar su convexidad, mediante la acción del músculo ciliar. Esta lente no dispone de riego sanguíneo propio, siendo el humor acuoso el encargado de proporcionarle los elementos necesarios para su metabolismo y la capacidad de eliminar sus productos de desechos. [4]

El cristalino es mantenido en posición por un sistema de fibras orientadas radialmente, llamada zónula ciliar. Las fibras de la zónula se insertan de un lado en la cápsula del cristalino y del otro en el cuerpo ciliar. Este sistema de fibras es importante en el proceso de acomodación, que posibilita focalizar objetos próximos y distantes, y que ocurre por cambios en la curvatura del cristalino, gracias a la acción de los músculos ciliares transmitida por la zónula ciliar al cristalino.

Así, cuando el ojo está en reposo o focalizando objetos distantes, el cristalino es mantenido traccionado por la zónula ciliar. Sin embargo, si se focaliza un objeto próximo, el músculo ciliar se contrae, promoviendo un desprendimiento de la coroide y del cuerpo ciliar en la dirección de la región anterior del ojo. La tensión ejercida por la zónula es relajada, y el cristalino se vuelve más espeso, colocando el objeto enfocado. [2]

Esta estructura tiene tres partes:

I. La cápsula del cristalino representa una lámina basal transparente que, [1] que se presenta como un revestimiento acelular homogéneo, hialino y con más espesor en la cara anterior del cristalino. [2] La cápsula envuelve a todo el cristalino y es más gruesa por su parte anterior. [1] Es una formación muy elástica, [2] constituida principalmente por colágeno tipo IV [1, 2] y glicoproteínas. [2]

II. El epitelio subcapsular se halla en la inmediata profundidad de la cápsula y solo en sus porciones anterior y lateral, [1] y está compuesto de una única capa de células epiteliales cúbicas conectadas por uniones gap [1] y localizadas solo en la porción anterior del cristalino [2]. los vértices de las células van dirigidos hacia las fibras del cristalino y se interdigitan con ellas. [1, 2]

III. Las fibras del cristalino, unas 200 células que se presentan bajo la forma de elementos prismáticos finos y largos, se originan en el epitelio subcapsular y adquieren una gran especialización al perder sus núcleos y orgánulos y convertirse en células hexagonales largas (de 7 a 10 µm), proceso que continúa toda la vida. Estas células se llenan de unas proteínas del cristalino llamadas cristalinas, que aumentan su índice de refracción. [1, 2]

Cuerpo vítreo.

La estructura semigelatinosa y transparente que llena la concavidad posterior tras el cristalino recibe el nombre de cuerpo vítreo.[1] Tiene aspecto de gel claro, transparente, con raras fibrillas de colágeno. [2] Está constituido en un 99% por agua [1, 2] que lleva una pequeña cantidad de electrólitos, unas cuantas fibras de colágeno y ácido hialurónico [1], además de glicosaminoglicanos altamente hidrófilos [2]. El cuerpo vítreo se adhiere a la retina sobre todo en la ora serrata (el borde anterior de la retina fotosensible). Unas células pequeñas, denominadas hialocitos, que se piensa que sintetizan colágeno y ácido hialurónico, están localizadas en la periferia del cuerpo vítreo. Un pequeño conducto, el conducto hialoideo, situado en la línea media del cuerpo vítreo, se extiende desde la cara posterior del cristalino hasta el disco óptico; alberga la arteria hialoidea en el feto, pero en el adulto se encuentra ocupado por líquido.[1, 2, 4]

Retina (túnica nerviosa)

La túnica más interna del ojo, *la retina* es la porción nerviosa que contiene los conos y bastones, las células fotorreceptoras especializadas. Ésta se origina de una evaginación del diencéfalo que, a medida que evoluciona, se profundiza en el centro, formando una estructura de paredes dobles, el cáliz óptico. [2, 3] La pared más externa da origen a una delgada capa constituida por epitelio cúbico simples, con células cargadas de pigmento, el epitelio pigmentario de la retina. [2]

El tallo óptico se transforma en el nervio óptico (NC II). La capa pigmentada de la retina cubre la superficie interna del globo, contando el cuerpo ciliar y la pared posterior del iris; sin embargo, la retina propiamente dicha acaba en la ora serrata.

El *disco óptico* de la pared posterior representa el punto de salida del nervio óptico, y como carece de bastones y de conos, se le considera la *mancha ciega de la retina.*[1,2]

La fóvea es una pequeña región situada en el eje óptico de la retina, donde la visión tiene mayor nitidez. La fóvea se presenta como una depresión, siendo el espesor de la retina, en su porción central, considerablemente disminuida debido a un distanciamiento de las células bipolares y ganglionares para la periferia, quedando el centro de la fóvea constituido apenas por los conos. La luz que no es absorbida por los conos y bastones es absorbida por el pigmento del epitelio y por la coroide. La fóvea solo tiene conos y bastones (en la parte central, apenas conos) y el punto ciego no tiene receptores. Además de eso, se observan otras variaciones histológicas de significado fisiológico evidente, como, por ejemplo, la densidad de las células ganglionares. [2]

Capas de la retina.

El *epitelio pigmentario* está compuesto por células cúbicas o cilíndricas, derivadas de la capa externa de la cúpula óptica, y se encuentra unido a la membrana de Bruch, aquí, las mitocondrias son numerosas, lo que indica un transporte activo. La cara apical de estas células está llena de gránulos de melanina, lo que favorece una mayor agudeza visual.

El epitelio pigmentado sirve para: Evitar los reflejos de luz al absorberla tras haber activado los bastones y los conos; Fagocitar la punta agotada de los bastones y los conos; Esterificar la vitamina A.

En la *capa de bastones y conos* de la retina hay dos tipos distintos de células fotorreceptoras. El número de bastones asciende a unos 100 a 120 millones, y el de conos a unos 6 millones. Las porciones apicales de estas células polarizadas y muy especializadas, llamadas segmentos externos, se interdigitan con las regiones apicales de las células de la capa pigmentada. Las caras basales de los bastones y los conos establecen sinapsis con las células de la capa bipolar de la retina. Los bastones están especializados en percibir objetos con poca luz, mientras que los conos lo están en percibirlos a plena luz y en diferenciar los colores.

En la fotorrecepción sucede lo siguiente:

☐La rodopsina (opsina ligada a *cis* retinal) absorbe la luz en el bastón.

☐La absorción de la luz convierte el retinal en *todo-trans retinal*, que se disocia de la opsina.

☐Su descoloración produce opsina activada, que facilita la unión del trifosfato de guanosina a la subunidad α de la transducina, una proteína G trimérica que cataliza la degradación del 3',5'-monofosfato de guanosina cíclico (GMPc).

☐El descenso de la concentración de GMPc en el citosol da lugar al cierre de los canales de Na^+ en la membrana plasmática del bastón.

☐La hiperpolarización del bastón conduce a una inhibición de la salida de neurotransmisores en la sinapsis con las células bipolares.

☐En la próxima fase de oscuridad, se regenera la cantidad de GMPc, vuelven a abrirse los canales de Na^+ y se reanuda el paso de este ión.

☐El todo-*trans* retinal sobrante se difunde y transporta al epitelio pigmentario de la retina a través de las proteínas fijadoras de retinal. Esta molécula se recicla a su forma 11-cis retinal.

☐Por último, el *cis* retinal vuelve al bastón y se une de nuevo a la opsina, originando rodopsina.

Los canales de Na^+ de la membrana plasmática se mantienen abiertos cuando los bastones no están activados por la luz. Durante la fase de oscuridad, los iones de sodio se bombean desde el segmento interno hacia el externo, lo que desencadena la liberación de la sustancia neurotransmisora a las sinapsis con las células bipolares. La señal no surge más que con la hiperpolarización ocasionada por la luz, y se transmite a través de las capas celulares hasta las células ganglionares, donde dispara un potencial de acción a lo largo de los axones en su trayecto hacia el encéfalo.

Los conos, células alargadas que miden unos 60 µm de largo x 1,5 µm de diámetro funcionan de manera similar a los bastones excepto que rinden mucho más con la luz

fuerte que en la oscuridad, y contienen el fotopigmento *yodopsina*, del que existen tres variedades diferentes. Cada una posee distintas regiones de la *opsina*, y una sensibilidad máxima frente a alguno de los tres colores del espectro: rojo, verde y azul.

La membrana limitante externa no es una membrana; en cambio, es la región de las zonas de adhesión creadas entre las células de Müller y las células fotorreceptoras.

La capa nuclear externa es una región ocupada por los núcleos de los bastones y los conos.

La capa plexiforme externa consta de sinapsis entre los axones de las células fotorreceptoras y dendritas de las células bipolares y horizontales. Hay dos tipos de sinapsis: *sinapsis planas y sinapsis invaginadas*.

La capa nuclear interna alberga las regiones nucleares de cuatro tipos de células:

1. Cada *neurona bipolar* puede recibir señales desde docenas de bastones que ofrecen la posibilidad de sumar sus datos, lo que permite potenciar la información correspondiente a una intensidad lumínica baja.
2. Las células horizontales controlan y modulan las relaciones sinápticas entre las células fotorreceptoras y las células bipolares.
3. Las dendritas de las *células amacrinas* mantienen un íntimo contacto con las sinapsis entre las células ganglionares y las células bipolares, y transmiten su información a las *células interplexiformes*, que influyen sobre la actividad de las células horizontales y bipolares.
4. Las *células de Müller* se extienden entre el cuerpo vítreo y el segmento interno de los bastones y los conos, donde crean zonas de adhesión con las células fotorreceptoras en la membrana limitante externa.

La capa plexiforme interna es una región compleja donde los axones y las dendritas de las células bipolares, ganglionares y amacrinas se mezclan y conectan entre sí, formando sinapsis planas e invaginadas.

*La capa de fibras del nervio ópt*ico es la región de la retina donde los axones amielínicos de las células ganglionares se combinan para originar fibras nerviosas. Cuando estos axones perforan la esclerótica, se vuelven mielínicos.

La membrana limitante interna es la capa más interna de la retina y está integrada por la lámina basal de las células de Müller.

Los anejos oculares son *la conjuntiva, los párpados y el aparato lagrimal*.

La conjuntiva es una mucosa transparente que está compuesta por un epitelio cilíndrico estratificado con células caliciformes sobre un tejido conjuntivo laxo. [1] Reviste la parte anterior de la esclerótica [2] y la superficie interna de los párpados como conjuntiva palpebral, y se refleja sobre la esclerótica de la superficie anterior del globo ocular como conjuntiva ocular. [1]El epitelio de la conjuntiva es estratificado prismático y su lámina propia es de tejido conjuntivo denso. [2]

Los párpados son repliegues cutáneos (modificados [4]) de piel fina que cierran la superficie anterior del ojo, [1] que protegen al globo ocular frente a los agentes externos. [4] Sus bordes contienen las pestañas, que están dispuestas en filas de tres o cuatro, y carecen del músculo erector del pelo. Las glándulas de Moll, glándulas sudoríparas modificadas, desembocan en los folículos de las pestañas. Las glándulas de Meibomio, glándulas sebáceas modificadas, están en el interior de las láminas tarsales. Estas últimas son unas cubiertas de tejido conjuntivo engrosado que sustentan cada párpado, y las glándulas de Meibomio producen una secreción aceitosa que se mezcla con las lágrimas y retrasa su evaporación. [1]

El aparato lagrimal está integrado por *las glándulas lagrimales, los conductillos lagrimales, el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal.*

La glándula lagrimal es una glándula serosa tubuloalveolar compuesta [1, 2], localizadas en el borde superoexterno de la órbita, [2] cuyos acinos de secreción están rodeados de células mioepiteliales. La glándula está localizada fuera del saco conjuntival; sin embargo, el líquido segregado (lágrimas) se vuelca en éste a través de 6-12 conductos secretores, [1] que desembocan en el fondo del saco superior formado por la confluencia de la conjuntiva que reviste al ojo y luego cubre posteriormente al

párpado[2]. Las lágrimas, formadas principalmente por agua con lisozima, una sustancia antibacteriana, recorren los conductos secretores hacia el saco conjuntival. Cuando baja el párpado superior, barre las lágrimas en sentido medial para introducirlas enel punto lagrimal, una pequeña abertura cerca de los bordes mediales de los párpados superior e inferior. [1, 4]

La secreción lagrimal, continuamente producida por esas glándulas, se dirige para las carúnculas lagrimales, que son elevaciones situadas en el canto interno de los ojos. En esa región, penetra en un sistema de conductos lagrimales, revestidos por epitelio pavimentado estratificado no queratinizado, que desembocan en el meato nasal inferior. [2]

Consideraciones clínicas

El glaucoma, la principal causa de ceguera a nivel mundial, deriva de una presión intraocular prolongada secundaria a la obstrucción de la salida del humor acuoso desde la cámara anterior del ojo, [1] y que puede deberse además a la obstrucción de los canales encontrados en el ángulo iridiano [1,2].

La presbicia es un proceso relacionado con la edad en el que el ojo manifiesta una disminución progresiva de la capacidad para enfocar los objetos próximos. Su causa exacta se desconoce. [1]

La catarata es una opacidad que surge en el cristalino del ojo, de diverso grado, desde ligera hasta completa, y que obstruye el paso de la luz. Lo normal es que evolucione con lentitud hasta provocar una disminución de la visión y la posibilidad de acabar en una ceguera si se deja sin tratar. El trastorno suele afectar a ambos ojos, pero casi siempre a uno antes que al otro. Las cataratas se forman a partir de distintas causas, como la exposición prolongada a la luz ultravioleta o a las radiaciones, una edad avanzada y como efecto secundario de enfermedades del tipo de la diabetes y la hipertensión. También pueden producirse a partir de una lesión ocular o un traumatismo físico. Las cataratas no responden a los medicamentos, pero el cristalino dañado puede retirarse y sustituirse por una lente correctora artificial. [1]

En las *cataratas congénitas* los cristalinos se tornan opacos durante la vida intrauterina. Aun cuando esta anomalía suele ser de origen genético, muchos niños nacidos de madres que habían padecido rubéola entre la cuarta y la séptima semanas del embarazo presentan a menudo catarata. [1]

Las moscas volantes que surgen en la visión, sobre todo en las personas mayores, y aparentemente se trasladan en realidad son las sombras de pequeños fragmentos de partículas en el cuerpo vítreo lanzados sobre la retina. Cuando el ojo se mueve de un lado a otro o de arriba abajo, estas moscas también cambian de posición en el interior del cuerpo vítreo, haciendo que las moscas se desplacen y parezca que floten. Las moscas flotantes están relacionadas con la retinopatía diabética, los desgarros de retina, el desprendimiento de retina y la miopía. [1]

El desprendimiento de retina observados con cierta frecuencia [2], puede deberse a un golpe súbito en el ojo, como el impacto de una pelota de tenis, o a las sacudidas tras una caída sobre la cabeza. Más habitual es el desecamiento del cuerpo vítreo y su tracción sobre la retina, lo que la provoca un desgarro al tirar de la capa pigmentada. [1] Puede ocurrir en la región de contacto del epitelio pigmentario con la capa fotosensible, causado por la precaria unión de las capas celulares en ese local. [2]

Existen dos tipos básicos de *degeneración macular: húmeda y seca*. Alrededor del 10 al 15% de los casos de degeneración macular son del tipo húmedo, que al principio se manifestó como el tipo seco. En el tipo húmedo de degeneración macular, crecen vasos sanguíneos anormales en la profundidad de la retina y de la mácula, con el riesgo de que sangren o dejen salir líquido que haga que la mácula se abombe, lo que se traduce en una distorsión o una destrucción de la visión central rápida y grave. Más recientemente, se ha descubierto una proteína en el ojo, llamada factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF). Su acción fomenta la producción de vasos sanguíneos. Se están creando fármacos para inhibir el VEGF al bloquearlo o evitar que se una a los elementos que estimularían el crecimiento. En este momento, se administran tres tipos de inhibidores del VEGF para su tratamiento mediante inyecciones intraoculares durante un período prolongado. [1, 2]

La autora agrega en esta revisión algunos de los Defectos congénitos que a su juicio están relacionados con éste acápite, aunque existe diversidad en la clasificación etiológica de los mismos.

AnoftalmÍa es la falta total del globo ocular. En algunos casos el análisis histológico revela la presencia de restos de tejido ocular. Es habitual su asociación con otras anomalías craneales graves.

La *afaquia congénita* (falta del cristalino) y la *aniridia* (ausencia del iris) son anomalías poco frecuentes que se deben a alteraciones en el proceso de inducción y formación de los tejidos que van a constituir estas estructuras. Las mutaciones en PAX6 dan como resultado la *aniridia* y pueden también originar anoftalmía y microftalmía.

El *coloboma* puede producirse cuando la fisura coroidea no se cierra. En condiciones normales, esta fisura se cierra durante la séptima semana del desarrollo.

Pero si esto no ocurre, persiste una hendidura. Aunque ésta puede encontrarse únicamente en el iris, y por eso se denomina coloboma del iris, puede extenderse al cuerpo ciliar, la retina, la coroides y el nervio óptico. Esta anomalía es común y se observa con frecuencia junto con otras anomalías oculares. También pueden producirse colobomas (hendiduras) de los párpados. Las mutaciones en el gen PAX2 han sido relacionadas con colobomas del nervio óptico y pueden tener importancia también en otros tipos de colobomas. Además, ocurren defectos renales con mutaciones en PAX2 como parte del síndrome del coloboma renal. [3]

Conclusiones.

Esta revisión bibliográfica sobre la morfofisiología del órgano de la visión es un aporte a la comunidad académica (tanto docente como discente) interesada en acercarse a una aproximación al estado del arte desde las ciencias básicas con el propósito de la integración interdisciplinar en el órgano de la visión.

La evolución del ojo permite un abordaje académico desde la embriología molecular para el estudio de la especialización de los comportamientos estructurales en dicho órgano para una precisa y delicada expresión morfofisiológica.

Referencias bibliográficas.

1. Junqueira, Luiz Carlos Uchoa. Histologia básica I L.C.Junqueira e José Carneiro. - [12. ed]. - Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2013.
2. Leslie p. Gartner, James l. Hiatt. Histología básica. ISBN edición original: 978-0-7020-3114-4. 2011 Elsevier España, S.L.
3. T.W. Sadler. Langman. Embriología Médica.13ª edición. 2016
4. Ingram NT, Sampath AP, Fain GL. Why are rods more sensitive than cones? J Physiol. 2016;594(19):5415–26.
5. Morshedian A, Fain GL. The evolution of rod photoreceptors. Philos Trans R Soc B Biol Sci [Internet]. 2017;372(1717):1–8. Available from: http://rstb.royalsocietypublishing.org/lookup/doi/10.1098/rstb.2016.007
6. Williams DL. Light and the evolution of vision. Eye [Internet]. 2016;30(2):173–8. Available from: http://dx.doi.org/10.1038/eye.2015.220
7. Niven JE, Laughlin SB. Energy limitation as a selective pressure on the evolution of sensory systems. J Exp Biol [Internet]. 2008;211(11):1792–804. Available from: http://jeb.biologists.org/cgi/doi/10.1242/jeb.017574
8. Land MF. The evolution of lenses. Ophthalmic Physiol Opt. 2012;32(6):449–60.
9. Ohuchi H. Molecular aspects of eye evolution and development: From the origin of retinal cells to the future of regenerative medicine. Acta Med Okayama. 2013;67(4):203–12.
10. Gehring WJ. The evolution of vision. Wiley Interdiscip Rev Dev Biol. 2014;3(1):1–40.