

CLASE : FISILOGIA OCULAR

Dr. Francis Quiroz Franckowiak

El ojo y las estructuras con él relacionadas constituyen una unidad compleja y bien coordinada. Cada elemento de esta unidad participa directamente en la función visual o bien la protege.

ORBITA

Cada globo ocular está alojado dentro de una cavidad ósea denominada *órbita*, la cual lo protege de los impactos. La órbita tiene forma cónica y en la conformación de sus paredes participan hasta siete huesos de la cara (frontal, malar, maxilar superior, esfenoides, etmoides, lacrimal y palatino). El *nervio óptico* parte del polo posterior del ojo y penetra al cráneo por un pequeño túnel en el vértice de la órbita llamado *agujero óptico*. La órbita posee orificios adicionales para el paso de vasos sanguíneos y nervios que nutren y controlan a las estructuras intraorbitarias. La superficie de los huesos que constituyen la órbita está recubierta por el *periostio*, lo que conforma una capa de gran resistencia.

A continuación, la cavidad orbitaria está rellena por tejido adiposo, el cual actúa como almohadilla, amortiguando y dando soporte al globo ocular. Sumergidos en este *tejido graso retroocular* están los *músculos extraoculares* (que mueven al globo ocular), las ramas de la *arteria oftálmica* (que irrigan al globo ocular); el nervio óptico, las ramas del **III, IV, V y VI par**, el *ganglio ciliar* y filetes *simpáticos y parasimpáticos*.

Sobre la grasa intraorbitaria está colocado el globo ocular, cuyas características fisiológicas están descritas párrafos abajo.

La superficie anterior del globo ocular está cubierta por la *mucosa conjuntival*, que se extiende hasta cubrir también la superficie posterior de los párpados, formándose entre ambas superficies cubiertas por la mucosa el *fondo de saco conjuntival*.

PARPADOS

Los párpados cubren la entrada a la cavidad orbitaria. La superficie posterior está cubierta por la mucosa conjuntival descrita líneas arriba, mientras que la superficie anterior está cubierta por la piel. Entre ambas superficies existe tejido muscular, gracias al cual los párpados se pueden abrir y cerrar, tanto por acción voluntaria como refleja.

El parpadeo es un acto inconsciente, continuo e involuntario, que responde en forma refleja a los estímulos del ambiente sobre la superficie ocular. El parpadeo cumple con las siguientes funciones:

1. Distribuir la lágrima en forma homogénea sobre la superficie ocular.
2. Favorecer la circulación lagrimal sobre la superficie ocular.
3. Evitar el deslumbramiento por exposición del ojo a luz excesiva.
4. Proteger al ojo de proyectiles.
5. Proteger al ojo de la desecación por exposición al aire.

APARATO LAGRIMAL

La lágrima es producida por la *glándula lagrimal* en forma continua por mecanismos reflejos. Su principal función es mantener húmeda la superficie ocular, protegiéndola de la desecación por el aire mientras los párpados están abiertos.

Asimismo, cumple con otras funciones adicionales:

1. Proporcionar una superficie óptica pulida.
2. Atrapar y enjuagar detritus.
3. Proporcionar agentes antimicrobianos.
4. Lubricar la interfase óculo-palpebral.
5. Proporcionar nutrientes a la córnea.

En el canto interno está el *punto lagrimal*, a través del cual la lágrima drena hacia los *canalículos lagrimales*, que conducen al *saco lagrimal*. De ahí la lágrima fluye por el *conducto lacrimonasal* hasta el *meato inferior*, donde puede evaporarse o ser reabsorbido por la mucosa nasal.

MUSCULOS EXTRAOCULARES

Cada globo ocular posee un grupo de seis músculos que se insertan sobre su superficie exterior y que, por su otro extremo, se fijan a las paredes de la órbita. La contracción de estos músculos es coordinada a nivel central a fin de mantener los ejes visuales paralelos entre sí cuando se dirige la mirada en forma voluntaria hacia un punto particular de atención en la visión a distancia. En cambio, en la visión de cerca, los ejes visuales tienden a converger, siempre gracias a coordinación central, a fin de proporcionar una mejor apreciación de detalle.

GLOBO OCULAR

El ojo puede considerarse compuesto por tres capas esféricas concéntricas, cada una de las cuales cumple con una función distinta.

La capa externa está conformada por la **córnea** y la **esclerótica**. Tiene por función proteger el contenido ocular y mantener la forma del globo ocular. Ofrece, además, una superficie para la inserción de los músculos extraoculares. esta capa está compuesta por fibras colágenas, lo que le otorga una gran resistencia.

La capa media es una capa vascular de la cual depende el metabolismo de las capas externa e interna. Por su color, a esta capa se le denomina **uvea**, y por las diferenciaciones que presenta, podemos reconocer en ella tres regiones : **iris, cuerpo ciliar y coroides**.

La capa interna es la **retina**, la cual genera impulsos nerviosos como respuesta a los estímulos luminosos. Estos impulsos eléctricos son transmitidos al cerebro para su interpretación. La retina puede subdividirse en dos unidades : el **epitelio pigmentario** y la **retina neurosensorial**.

Dentro de las tres capas descritas, que forman la pared del globo ocular, se encuentra una estructura lenticular transparente llamado **crystalino**, que separa al **humor acuoso** (que ocupa las cavidades anteriores del globo ocular: cámara anterior y cámara posterior) del **humor vítreo** (que ocupa la cavidad posterior del globo ocular).

CAPA EXTERNA

La capa externa está constituido por fibras colágenas, lo que le confiere gran resistencia, lo que le permite cumplir con la función de proteger el contenido del globo ocular. La parte anterior de esta capa (denominada **córnea**) presenta modificaciones con respecto a la parte posterior (denominado **esclerótica**), lo que le confiere mayor transparencia:

1. A este nivel, las fibras colágenas se disponen ordenadamente, en forma paralela entre sí, para permitir el paso de las ondas de luz a través de ellas.
2. Las fibras colágenas que conforman la córnea son más delgadas que las fibras colágenas que conforma la esclera.
3. La córnea tiene un grado de hidratación de 70 %, mientras que la esclerótica posee un grado de hidratación del 99 %. A ese menor grado de hidratación le corresponde al tejido colágeno el máximo grado de transparencia posible. El endotelio corneal, al deshidratar en forma activa al estroma corneal, es responsable de esta diferencia.

La **córnea** y el **humor acuoso** tienen un índice de refracción muy parecido, por lo cual, desde un punto de vista óptico, se les puede considerar como un lente positivo de cuarenta y tres dioptrías positivas, lo que las convierte en el principal elemento refractivo del globo ocular.

La **esclerótica**, al poseer fibras colágenas desordenadamente dispuestas y al estar más hidratado que la córnea, es una estructura más opaca (en comparación a la córnea) que conforma los 4/5 posteriores de la capa externa del globo ocular. Sobre su superficie se insertan los **músculos extraoculares**.

CAPA MEDIA

El iris conforma la parte anterior de la *úvea*. Es una membrana delicada, fina y pigmentada, que separa la **cámara anterior** de la **cámara posterior**. Tiene un orificio central llamado *pupila*, cuya función es permitir el paso de luz. El diámetro pupilar puede ser variado, ya sea por estímulos luminosos o farmacológicos, merced a dos músculos que se encuentran presentes en el espesor del iris: el *esfínter de la pupila* y el *dilatador de la pupila*. Las fibras circulares del esfínter responden a los estímulos colinérgicos (propios del Parasimpático) y al contraerse reducen el diámetro de la pupila, fenómeno denominado *miosis*. Las fibras radiales del dilatador responden a los estímulos adrenérgicos (propios del Simpático) y al contraerse aumentan el diámetro de la pupila, fenómeno denominado *midriasis*. La pupila regula la cantidad de luz que entra al ojo: si la iluminación es deficitaria, habrá midriasis; si la iluminación es excesiva, habrá miosis.

El *cuerpo ciliar* une al *iris* con la *coroides*. Junto con los vasos sanguíneos, encontramos en su espesor al *músculo ciliar*. El cuerpo ciliar cumple con las siguientes funciones:

1. Producción de *humor acuoso*. El cuerpo ciliar tiene *receptores betaadrenérgicos*, que al ser estimulados activan a la enzima *anhidrasa carbónica*, lo que lleva a la secreción activa de humor acuoso hacia la cámara posterior.
2. *Acomodación*. Al contraerse, el *músculo ciliar* produce los cambios ópticos necesarios para variar la profundidad de foco del sistema óptico ocular. Ello permite enfocar y ver con claridad objetos cercanos.

La *coroides* conforma la parte posterior de la *úvea*. Es una membrana delgada y esponjosa, conformada principalmente por vasos sanguíneos de diversos calibres. Su función principal es nutrir a las otras dos capas del globo ocular, así como recoger los productos de deshecho.

CAPA INTERNA

El *epitelio pigmentario de la retina* es la porción más externa de esta capa y cumple con las siguientes funciones:

1. Constituye una *barrera hemato-ocular*, que controla el paso de nutrientes de la coroides hacia la retina neurosensorial, manteniendo concentraciones apropiadas para la fisiología neural.
2. Participa en la eliminación de desechos, principalmente los que se originan a nivel de los fotorreceptores, los cuales son fagocitados.
3. Capta, almacena, distribuye y metaboliza a la *vitamina A*. La aldehído de la vitamina A es el cromóforo de todos los *pigmentos visuales* humanos.

En la *retina neurosensorial* podemos reconocer tres niveles de neuronas. El primer nivel corresponde a los *fotorreceptores*, que son neuronas fotosensibles que se despolarizan al recibir la energía de un estímulo luminoso. Esta despolarización es una respuesta eléctrica que se constituye en un impulso nervioso al ser transmitida a una segunda neurona. Este segundo nivel neural está constituido por las *células bipolares*. Asimismo, existe un tercer nivel neuronal que recoge todos estos impulsos de las células bipolares para transmitirlos a áreas específicas del cerebro: estas neuronas son denominadas *células*

ganglionares. Estas neuronas también pertenecen a la retina y tienen axones muy largos, el conjunto de los cuales conforma al nervio óptico que sale de cada ojo. Estos axones, luego de cruzarse en el quiasma, hacen sinapsis con un cuarto nivel neuronal que se encuentra en los cuerpos geniculados, desde los cuales se proyectan los axones que finalmente van a llegar a las neuronas de la corteza occipital.

Los fotorreceptores pueden ser bastones o conos. En la retina podemos reconocer un área central que normalmente coincide con el eje visual, llamada mácula. Ahí predominan los conos, lo que confiere alta calidad visual. La mácula nos permite fijar la mirada y examinar detalles. A medida nos alejamos de la mácula, para avanzar hacia la retina periférica, observamos que los conos se van enrareciendo y van predominando los bastones, los cuales son responsables de la visión de contrastes, sobre todo por fuera de punto de fijación.

El pigmento visual es una aldehído de la vitamina A que es capaz de absorber alguna región del espectro de ondas visibles, dando una reacción fotoquímica que produce un cambio en el potencial de membrana de fotorreceptor que lo contiene. Se han identificado cuatro variedades de pigmentos visuales en el ojo humano. Uno de ellos ocurre sólo en los bastones, mientras que los otros tres han sido encontrados en otros tantos tipos diferentes de conos. Dentro de cada fotorreceptor existe un solo tipo de pigmento visual.

El pigmento visual de los bastones es la rodopsina. La rodopsina es sensible a todas las longitudes de onda que constituyen parte visible. Por ello, la función de los bastones es la percepción de contraste.

El pigmento visual que contiene un cono puede ser sólo uno de tres posibilidades: la eritropsina (sensible a la longitud de onda que corresponde al color rojo), la cloropsina (sensible a la longitud de onda que corresponde al color verde) o la cianopsina (sensible a la longitud de onda que corresponde al color azul). Existen, entonces, tres tipos de cono, según el tipo de pigmento visual que contiene. La función de los conos es la percepción de colores y de forma. La ausencia de uno o más de estos pigmentos va a determinar defectos en la visión de color.

La visión, entonces, es un proceso a través del cual los impulsos eléctricos generados a nivel de los fotorreceptores son transmitidos a las áreas cerebrales específicas (áreas 17, 18 y 19) para ser interpretados y elevados al plano consciente.

CRISTALINO

Es el más débil de los dos elementos refractivos que constituyen el sistema óptico humano. Su poder dióptrico equivale a unas veintinueve dioptrías positivas. El cristalino se mantiene suspendido en su posición por detrás del iris gracias a la **zónula**, que está constituido por fibras elásticas que salen del cuerpo ciliar para insertarse en el cristalino.

El poder dióptrico del cristalino puede ser variado, en función de su diámetro antero-posterior, en forma directamente proporcional: cuando el diámetro antero-posterior

es máximo, el poder dióptrico del cristalino también es máximo; cuando el diámetro ántero-posterior del cristalino es mínimo, el poder dióptrico del cristalino también mínimo. La función del cristalino es enfocar los rayos de luz que entran al globo ocular sobre la retina.

Cuando el músculo ciliar está relajado, el diámetro del anillo ciliar es máximo y la zónula está tensa, lo que mantiene también tenso al cristalino, que en estas condiciones tiene su diámetro ántero-posterior mínimo, lo que determina que su poder dióptrico también sea el mínimo. En estas condiciones, el poder dióptrico del cristalino permite enfocar la imagen de objetos lejanos sobre la retina.

Pero al contraerse el músculo ciliar, el diámetro del anillo ciliar se reduce, lo que lógicamente reduce la tensión que ejerce la zónula sobre el cristalino. En estas condiciones, el cristalino, al no estar tensado, se engruesa. Al aumentar su diámetro anteroposterior también aumenta su poder dióptrico, lo que permite enfocar la imagen de objetos cercanos sobre la retina. Esta capacidad de modificar el poder dióptrico del cristalino, para poder enfocar la imagen del objeto que se desea observar, de acuerdo a la distancia a la cual se encuentra el objeto, se denomina acomodación.

HUMOR ACUOSO

El *humor acuoso* está por delante del cristalino, ocupando la *cámara anterior* y la *camara posterior*. El humor acuoso es secretado a la cámara posterior por el cuerpo ciliar y luego pasa a la cámara anterior por la pupila. Abandona el ojo a través de la *malla trabecular*, que está ubicado en el *ángulo irido-corneal*, para llegar al *canal de Schlemm*. De ahí, a través de la *venas de acuoso* drena hacia la red venosa. El humor acuoso cumple con dos funciones:

1. Determina la *presión intraocular*. Una obstrucción en la normal salida del humor acuoso va a causar un aumento de la presión intraocular.
2. Reemplaza a la sangre en la nutrición de *tejidos avasculares*, como son la *córnea* y el *cristalino*. Tal como lo haría la sangre, el humor acuoso distribuye los nutrientes esenciales para estos tejidos y recoge, asimismo, los productos de deshecho. Sin embargo, el humor acuoso carece de las células, pigmentos y proteínas que tiene la sangre, con lo cual se facilita el paso de la luz.

HUMOR VITREO

El *humor vítreo* se encuentra por detrás del cristalino, ocupando la *cavidad vítrea*. Es un gel que constituye un medio transparente que ocupa la mayor parte (4/5 partes) del volumen del globo ocular. El vítreo cumple con dos funciones:

1. Nutrición del *cristalino* y la *retina*.
2. Absorbe y redistribuye las fuerzas aplicadas a los tejidos oculares circundantes, amortiguando los traumas dirigidos al globo ocular.