CAPÍTULO I
ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL APARATO OCULAR

Félix Jesús Alañón Fernández, Manuela Cárdenas Lara,
Miguel Angel Alañón Fernández y Ana Martos Aguilera

El globo ocular a través de sus estructuras recibe los estímulos luminosos externos, los codifica y transmite a través de la vía óptica al cerebro, lugar donde se produce el fenómeno de la visión.

El ojo descansa sobre una hamaca fascial, en la mitad anterior de la órbita, rodeado de músculos extraoculares, grasa y tejido conectivo. Sólo está expuesta su parte más anterior, y está protegida por el reborde órbitario óseo.

El diámetro anteroposterior del ojo normal, medido mediante ultrasonidos es de 22 a 26 milímetros de longitud.

La anatomía superficial se puede estudiar fácilmente por *inspección directa*, utilizando una *linterna pequeña* para iluminar y una lente *de + 20 dioptrías* para ampliar.

GLOBO OCULAR.

De forma irregularmente esferoidal, está formado por tres capas concéntricas (figura 1.1):

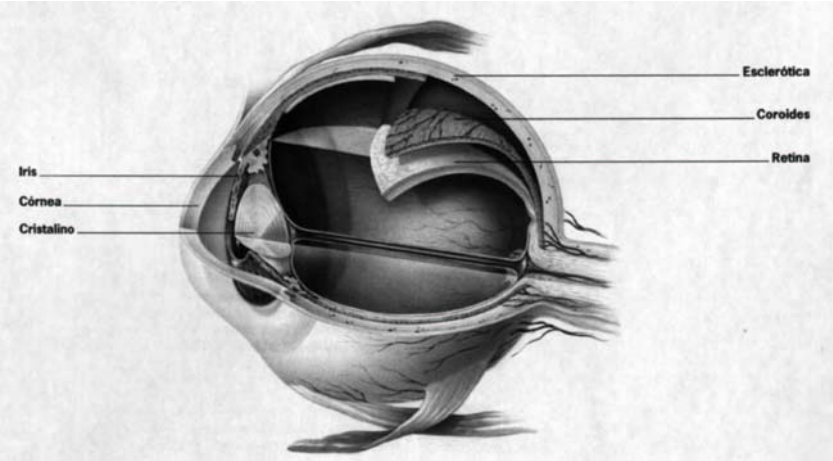


Fig. 1.1 Sección transversal del globo ocular

1. Túnica externa: córnea y esclerótica.
2. Túnica media o vascular: úvea, formada por iris, cuerpo ciliar y coroides.
3. Túnica interna: retina.

En su interior se limitan unos *compartimentos*:

1. *Cámara anterior*, limitada por la cara posterior de la córnea por delante, y el diafragma iridopupilar por detrás. Está ocupada por humor acuoso, su volumen aproximado es de 0'2 ml.
2. *Cámara posterior*, entre el iris y pupila por delante y la cara anterior del cristalino, con sus fibras zonulares por detrás, sin cuyo soporte el iris tiembla (iridodonesis), situación que se puede observar por ejemplo, en la afaquia y en las luxaciones cristalinianas. Está ocupada por humor acuoso (0'06 ml).
3. *Cámara vítrea*, limitada por la cara posterior del cristalino, fibras posteriores de zónula y parte del cuerpo ciliar por delante y el resto por retina. Está ocupada por vítreo (4'5 ml).

Su eje anteroposterior atraviesa una serie de estructuras transparentes cuya función es la de enfocar nítidamente las imágenes sobre la retina.

1.- TÚNICA EXTERNA.

Es la de mayor consistencia, le da al globo su forma constante y contribuye al mantenimiento de la presión intraocular. Esta constituida por la córnea y esclerótica.

1.1.- CÓRNEA.

La córnea es una estructura transparente que proporciona gran parte del poder refractivo necesario para enfocar la luz en la retina. También funciona como estructura de protección de tejidos y humores intraoculares.

Presenta una cara anterior convexa, recubierta constantemente por la película lagrimal, ligeramente ovalada con un diámetro medio horizontal de 12 mm y uno vertical de 11 mm en el adulto. La diferencia entre los radios de curvatura horizontales y verticales explica el *astigmatismo fisiológico*. La cara posterior está bañada por el humor acuoso, constituye la pared anterior de la cámara anterior del ojo.

Separa el aire con un índice de refracción de 1 y el humor acuoso con un índice de 1.33 constituyendo *la principal estructura refractante del ojo*, se comporta como una lente convergente con un poder refractivo de aproximadamente 42 dioptrías (dos terceras partes del poder refractivo necesario para poder enfocar la luz en la retina).

El espesor de la córnea es de 0'5 mm en el centro, aumentando hasta cerca de 1 mm. en el limbo corneoescleral.

La córnea está constituida por cinco capas que de fuera adentro son:

1. Epitelio.
2. Membrana de Bowman.
3. Estroma.
4. Membrana de Descemet.
5. Endotelio.

El *epitelio* es plano, poliestratificado y no queratinizado. El estrato superficial renueva constantemente sus células. Es uno de los tejidos que se *regenera más rápidamente*, una erosión puntual puede recuperarse en unas tres horas, una erosión más profunda en pocos días. La reparación de esta capa siempre es completa y no cursa con opacificación residual.

La *membrana de Bowman* es una capa constituida por fibras de colágeno y sustancia fundamental. Su grosor medio oscila entre 8 y 14 micras, siendo más delgada en su periferia.

Posee escasa capacidad regenerativa, por esto se explica el carácter recidivante de algunas erosiones corneales cuando ésta se ve afectada. Un indicador de esta regeneración incompleta es la incapacidad del epitelio para ser humedecido adecuadamente por la película lagrimal y por tanto la aparición de puntos secos y ruptura precoz de ésta. A partir de esta capa cualquier proceso patológico cursará con una *opacificación corneal e irregularidades* causantes de *astigmatismo irregular*, y si afecta al área pupilar cursará con *disminución de la visión*.

El *estroma* con un grosor de 500 micras constituye el 85-90% del espesor corneal. Está compuesto por laminillas de colágeno, sustancia fundamental y fibroblastos (queratocitos).

La disposición de estos elementos es muy rigurosa, lo que contribuye a la transparencia corneal y a la alta calidad como superficie óptica junto con la tasa de hidratación y la ausencia total de vasos. El contenido normal de agua de la córnea es de un 78% en peso, a pesar de esto tiende a capturar agua adicional, una rotura de las capas del epitelio o endotelio y o sus membranas de soporte conducirá a la penetración de agua en el estroma y a la aparición de edema corneal. Un mecanismo activo de bombeo en las células del endotelio trabaja para eliminar dicha agua. El tejido estromal proporciona una gran elasticidad y resistencia.

La *membrana de Descemet* es una estructura acelular formada por fibras de colágeno dispuestas en estratos, actúa como membrana basal del endotelio. Su grosor aumenta con la edad y es la más resistente de las capas corneales.

El *endotelio* corneal está constituido por una sola capa de células hexagonales y aplanadas. Su sustitución se realiza por extensión de las células vecinas y no por división, con lo que su número decrece con la edad (al nacer su número es de 400000 a 500000), inflamaciones, cirugía y traumatismos. Su función principal es el transporte de sustancias osmóticamente activas y mantenimiento del balance hídrico junto al epitelio.

La córnea presenta una abundante inervación sensitiva a cargo del trigémino. Al llegar a córnea sus fibras pierden la mielina y se distribuyen en forma de plexo entre el epitelio y la membrana de Bowman. La fisiología corneal y su trofismo depende en gran medida de esta inervación, siendo su máximo exponente patológico la queratitis neurotrófica o neuroparalítica.

La nutrición de la córnea viene por tres vías: oxígeno ambiental disuelto en película lagrimal, vasos perilímbicos y humor acuoso que baña el endotelio.

La patología general de la córnea está dominada por dos *factores* básicos:

1.- La *avascularidad* que explica la lentitud, cronicidad y dificultad de tratamiento.

2.- La *transparencia* que se altera con facilidad, repercutiendo en la función visual.

1.2.- ESCLERÓTICA.

Membrana fibrosa, muy resistente que protege los tejidos intraoculares, soporta la tensión de los músculos intraoculares y contribuye a mantener la forma y tono ocular. Su rigidez está disminuida en la miopía magna por la elongación patológica del globo, lo que puede alterar la tonometría por identación.

Su espesor mínimo (0'3 mm) se encuentra inmediatamente posterior a la inserción de los músculos rectos, por lo que habrá que ser muy cuidadosos en la cirugía que interese esta zona como son los estrabismos y la identación escleral para el desprendimiento de retina. Su radio de curvatura es de 13 mm aproximadamente, (la córnea tiene un radio de curvatura de unos 7'5 mm).

Su cara interna se encuentra separada de la coroides por la lámina fusca y la epicoroides más interiormente.

Su cara externa, de aspecto blanquecino, presenta en su porción media la inserción de los músculos oculomotores.

Su porción posterior se encuentra perforada por el nervio óptico y por la entrada y salida de los vasos sanguíneos y nervios ciliares cortos (lámina cribosa).

En sus porciones laterales se encuentran las cuatro venas vorticosas y las arterias y venas ciliares anteriores (musculares).

En su porción anterior, se continúa con la córnea mediante una zona de transición: el limbo esclerocorneal.

La *esclera* se encuentra cubierta por una capa densa de tejido conjuntivo denominada *cápsula de Tenon*, con gran cantidad de fibras elásticas. Entre ambas, se encuentra un tejido laxo muy vascularizado: la *epiesclera*.

Está constituida por fibras de colágena y fibras elásticas, agrupadas en fascículos en distintas direcciones que junto a la alta hidratación que posee hace que no sea transparente. La ordenación se va haciendo más regular a medida que llega al limbo esclerocorneal. Se nutre principalmente a partir de la epiesclera y coroides al ser avascular.

La inervación deriva de los nervios ciliares posteriores largos y cortos y es especialmente destacada en la porción anterior, donde la estimulación por distensión o inflamación produce un dolor intenso. Ocasionalmente una asa de nervio ciliar largo se superfializa en la esclerótica y vuelve al cuerpo ciliar. La melanina uveal marca el asa como una pequeña mancha hiperpigmentada que podemos ver a unos 2 a 4 mm. del limbo esclerocorneal.

La epiesclera es un tejido laxo vascularizado que cubre la esclera, reacciona intensamente a la inflamación de ésta. La vascularización posterior depende de los vasos ciliares posteriores cortos, la vascularización anterior que depende de las arterias ciliares anteriores forma un plexo epiescleral denso anteriomente a la inserción de los músculos extraoculares. Estos vasos se congestionan en la *inyección ciliar*, forman anastomosis con el plexo conjuntival que se mueve sobre las estructuras que tiene debajo, existiendo un plexo

epiescleral profundo y uno superficial de disposición radial. En la epiescleritis la congestión máxima se localiza en el plexo superficial, en la escleritis el plexo epiescleral profundo es el más congestionado.

Los vasos conjuntivales y espiesclerales pueden blanquearse tras la instilación de adrenalina al 1/100 o fenilnefrina al 10%, siendo útil para diferenciarla congestión inflamatoria superficial de la del plexo epiescleral profundo que no blanquea.

Por tanto, podemos resumir destacando tres capas histológicas en la esclera: epiesclera, estroma colágena y lámina Fusca.

A causa de la naturaleza colágena de la esclera, los procesos que la afectan pueden ser crónicos, dolorosos y destructivos apareciendo como manifestaciones de enfermedades generales, mientras que las epiescleritis a causa de su rica vascularización tiende a ser aguda y transitoria. El dolor es más característico de las enfermedades esclerales, debido a su generosa inervación por los nervios filiares largos en la región anterior, y por los nervios ciliares cortos en su región posterior, y suele irradiarse a regiones vecinas, mientras que en afecciones superficiales se localiza en el ojo.

No debemos omitir el *examen del ojo a la luz del día* ya que es el que nos permite distinguir mejor la transparencia y el grado de edema en la patología escleral.

LIMBO ESCLEROCORNEAL.

Existe una zona especial de transición entre esclera y córnea y constituye la pared externa del ángulo iridocorneal. A este nivel existen estructuras de drenaje del humor acuoso, además de ser zona de abordaje quirúrgico para determinadas técnicas. Su límite anterior lo constituye la membrana de Bowman y la de Descemet, delimitando su límite posterior un plano perpendicular a la superficie del ojo que pasaría por el espolón escleral.

La salida de humor acuoso se produce a través de dos *vías*:

Trabecular: dependiente de la presión. A este nivel actúan fármacos como la Pilocarpina.

Uveoescleral: no dependiente de la presión, sale directamente a cuerpo ciliar y coroides, para ser absorbido por los vasos sanguíneos. A este nivel actúa el fármaco de reciente aparición cuyo principio activo es el Latanoprost.

2.- TÚNICA MEDIA O VASCULAR.

Denominada úvea, consta de tres porciones bien diferenciadas:

1.- Iris.

2.- Cuerpo ciliar.

3.- Coroides.

Las dos primeras integran la *úvea anterior*, la coroides constituye la *úvea posterior*.

2.1.- IRIS.

Porción más anterior de la uvea. Presenta la forma de un disco perforado en su centro por un orificio circular, la *pupila*, en situación perpendicular al eje anteroposterior del globo. Inmerso en el humor acuoso, su cara anterior constituye con la pupila, la pared posterior de la cámara anterior del ojo. Su cara posterior es la pared anterior de la cámara posterior del ojo. La consecuencia de esta relación anatómica es la posibilidad de sinequias posteriores (entre iris y cristalino).

La superficie anterior del iris está divida por el collarete en una zona pupilar central y una zona ciliar periférica. El collarete, un reborde circular, marca el sitio del círculo vascular menor del iris.

La pupila constituye un orificio de tamaño variable, cuyo diámetro normal se considera comprendido entre 2 y 4 mm, pudiendo alcanzar 8 mm en dilatación (midriasis) máxima y 0'5 mm. en contracción (miosis) máxima, controla la cantidad de luz que penetra del ojo, actuando a modo de un diafragma.

La base o raíz del iris se inserta sobre el cuerpo ciliar, siendo a este nivel mínimo su espesor lo que explica la especial debilidad ante traumatismos que pueden provocar su desinserción (iridodialisis).

Los vasos estromales son capilares que se disponen en forma radial (carrete) y son de pared gruesa lo que explica que la circulación no se altere en midriasis ni en miosis. Las fibras nerviosas nacen del plexo ciliar y son amielínicas; son la inervación sensitiva, la vasomotriz y la parasimpática del músculo esfinter de la pupila.

Situado en la estroma del iris, se encuentra el músculo esfinter rodeando la pupila. Constituido por fibras lisas, está inervado por filetes nerviosos parasimpáticos que llegan a través de los nervios ciliares. Cada terminación nerviosa acaba en una sola célula, y la contracción es simultánea. Esto explica que la función pupilar siga siendo eficaz a pesar de cortar (iridotomía) o extirpar parte (iridectomía) de la zona periférica, como ocurre posteriormente al tratamiento del glaucoma de ángulo estrecho.

La cara posterior del iris está integrado fibras musculares lisas dispuestas de forma radial, que constituyen el músculo dilatador de la pupila, inervadas por filetes nerviosos simpáticos. Por detrás tapizando la cara posterior se encuentra el epitelio pigmentario posterior, rico en pigmento y glucógeno.

La coloración del iris depende de la cantidad de melanina de la capa del borde anterior, si es escasa, la reflexión del pigmento del epitelio pigmentario produce un color azulado, si la cantidad de melanina es moderada, el iris es de color avellana; si la cantidad es grande el iris es marrón. En iris de color azulados se pueden observar contracciones concéntricas en su superficie que adopta una forma irregular y con criptas. Con la edad disminuye la pigmentación.

La vascularización corre a cargo de las arterias ciliares posteriores y anteriores, cuyas ramas se anastomosan a nivel de la raíz del iris, dando lugar al círculo mayor, y a nivel de la pupila formando el círculo menor. No se podrán desinsertar los cuatro músculos rectos en ningún programa quirúrgico ya que al ir por estos las arterias ciliares su consecuencia será una muy grave isquemia ocular. Las venas inician su trayecto a nivel de la pupila y siguen una dirección radial y centrífuga, uniendose a las venas de los procesos ciliares y llegando a las vorticosas a nivel de la supracoroides.

VÍA PUPILAR.

Para entender las alteraciones de la pupila es necesario conocer la anatomía del sistema nervioso simpático y parasimpático, encargados de su inervación.

Vía pupilar parasimpática (constrictora). Reflejo fotomotor.

El reflejo pupilar a la luz es un arco constituido por cuatro neuronas.

Tras estimular la retina, el impulso es conducido por los axones de las células ganglionares. Antes de que los axones hagan sinapsis en el cuerpo geniculado lateral, las ramas pupilomotoras se separan y entran en el mesencéfalo superior haciendo sinapsis en los núcleos pretectales. Este recorrido constituye la vía aferente parasimpática.

La segunda neurona conecta cada núcleo pretectal con el núcleo de Edinger-Westphal homo y contralateral (ello explica que un estímulo luminoso unilateral provoque una constricción bilateral y simétrica de ambas pupilas). Estas fibras se lesionan en casos de sífilis y pinealomas, resultando una disociación entre los reflejos a la luz y a la acomodación.

Las fibras pupilomotoras parten del núcleo de Edinger-Westphal, iniciándose la vía eferente pupilar parasimpática con las fibras del III par, situándose en su superficie, por lo que cualquier aneurisma puede comprimir estas

fibras. Este nervio atraviesa el seno cavernoso, donde se acompaña del IV y VI par craneal, de la rama oftálmica del trigémino y de la arteria carótida interna. Penetra en la órbita por la hendidura esfenoidal superior llegando al ganglio ciliar donde efectúan la sinapsis.

La cuarta neurona parte del ganglio ciliar y a través de los nervios filiares cortos, entra en el globo ocular e inerva el músculo ciliar (acomodación) y el músculo del esfínter pupilar.

Vía pupilar simpática (dilatadora).

Puede considerarse como un arco constituido de 3 neuronas.

La vía aferente es la misma que la parasimpática. Buscando las fibras pupilares, la primera neurona comienza en el hipotálamo posterior y desciende sin cruzarse por el tallo cerebral hasta terminar en la médula en el centro cilioespinal de Budge (entre C8 y D2) Aquí abandona la médula para buscar la cadena cervical ganglionar, llegando la segunda neurona hasta el ganglio ciliar superior en el cuello. Durante su recorrido entra en contacto con la arteria subclavia y con la pleura apical, pudiéndose ver afectada por un carcinoma apical o por una intervención quirúrgica del cuello.

La tercera neurona asciende a lo largo del plexo carotídeo y entra en el cráneo, donde se une a la rama oftálmica del nervio trigémino, y desde aquí llegan al cuerpo ciliar y al dilatador del iris por vía del nervio nasociliar y los nervios ciliares largos.

2.2.- CUERPO CILIAR.

Desempeña un papel importante en la acomodación, la nutrición del segmento anterior y la secreción de humor acuoso.

Se encuentra intercalado entre la base del iris y limbo por delante, la coroides y retina por detrás, y rodeado por esclerótica. Sobre su base anterior se inserta el iris. La cara posterointerna presenta dos *porciones*:

1. Pars plana.

2. Pars plicata.

La *pars plana* es una zona lisa, que se extiende desde los procesos filiares a ora serrata donde se continúa con la extrema periferia retiniana. Los instrumentos quirúrgicos se introducen en la cavidad vítrea a través de la pars plana situada a unos 3 ó 4 mm. posterior al limbo esclerocorneal.

La *pars plicata* cuya morfología corresponde a la necesidad de ofrecer una mayor superficie secretora, está configurada por los procesos ciliares, que en número de unos 80 están dispuestos en forma radial. Su misión es *la secreción de*

humor acuoso por transporte activo principalmente (se enlentece por fármacos como el timolol, dorzolamida, brimonidina, de aquí que estos fármacos se utilicen en patología glaucomatosa e hipertensiva), participando también mecanismos de difusión y ultrafiltración. Todo el volumen se reemplaza aproximadamente en unos 100 minutos y arrastra los detritus metabólicos. El humor acuoso está desprovisto de proteínas gracias a la barrera hematoacuosa. Cuando aparecen, como ocurre en procesos inflamatorios, el haz de luz sufre una dispersión conocido como *fenómeno Tyndall*.

Sobre la superficie posterointerna se insertan *las fibras de la zónula,* ligamento suspensorio del cristalino. En el espesor del cuerpo ciliar, se encuentra el músculo ciliar responsable en gran medida de la *acomodación*. Constituido por fibras meridionales o circulares, cuya contracción relaja la zónula (se abomba el cristalino) y se produce la acomodación, lo que significa un mayor poder de refracción, y fibras radiales o longitudinales, cuya contracción tensa la zónula (se aplana el cristalino, con lo que se acomoda para la visión lejana) pudiendo retraer el espolón escleral y agrandar el canal de Schlemm, canal de drenaje del humor acuoso.

La vascularización está a cargo principalmente por el círculo arterial mayor del iris. La inervación la constituyen plexos provenientes de los nervios ciliares cortos y largos.

2.3.- COROIDES.

Constituye la úvea posterior. Su riqueza en *células pigmentarias le confiere* un *papel de pantalla a la luz* y su *naturaleza vascular la hace membrana nutricia del ojo*.

Situada entre esclerótica por fuera y retina por dentro. De la esclerótica la separa un espacio virtual denominado espacio supracoroideo, que se termina por delante en la inserción del músculo ciliar en el espolón escleral y por detrás a 4 o 5 mm de la papila. Las laminillas colágenas de esta zona son largas y oblícuas las más anteriores, cortas y rectas las posteriores, lo que explica que la mayoría de los desprendimientos coroideos afecten la región anterior.

Por su cara interna, la coroides se adhiere íntimamente al epitelio pigmentario retiniano a través de la *membrana de Bruch*. El conocimiento de las enfermedades que afectan los componentes elásticos y colágeno de esta membrana es importante en determinadas patologías degenerativas como la degeneración macular asociada a la edad. La membrana de Bruch aumenta de grosor con la edad, las drusas más que engrosamientos, son productos de desecho de células de EPR y fotorreceptores.

Los vasos de las capas más externas son de mayor calibre, siendo capilares los de la capa más interna. Estos capilares forman una tupida red en un único plano, denominada coriocapilar, que es la encargada de la nutrición de las capas más externas de la retina.

El área de la capa coroidea subyacente a la mácula es la primera en llenarse, con un flujo arterial y presión mayor.

Puede hablarse de una sistematización de la coricapilar en lóbulos vasculares o unidades circulatorias poligonales independientes entre sí y de disposición en mosaico, lo que explica la morfología de muchos focos de coriorretinitis que vemos en clínica, como la toxoplasmosis.

En condiciones normales, la coroides no es visible oftalmoscópicamente, salvo en albinos, donde no existe la pantalla del epitelio pigmentario retiniano (EPR), y en ancianos, debido a la atrofia progresiva del EPR.

La capa coroidea gracias a su rica vascularización cumple una función nutritiva –de las capas más externas de la retina- y una función reguladora de la temperatura ocular –disipar el excesivo calor producido por la luz que absorben los melanocitos de EPR-. Su elevada permeabilidad permite un fácil aporte de vitamina A a los fotorreceptores a través del EPR.

3.- TÚNICA INTERNA O NEUROSENSORIAL.

3.1.- RETINA.

Es la capa más interna del globo ocular, de estirpe neurosensorial. Es donde se inicia el proceso de la visión, siendo la parte especializada del sistema nervioso destinada a recoger, elaborar y transmitir las sensaciones visuales.

Es una delgada capa parcialmente transparente, tapiza la cara interna de la coroides y limita su superficie interna con el vítreo. Por delante termina integrada en el cuerpo ciliar a través de la ora serrata. En su parte central y posterior, se distinguen mácula y papila del nervio óptico.

La retina está constituida por dos grupos de capas: el epitelio pigmentario y el neuroepitelio, integrado por nueve capas.

El *epitelio pigmentario* retiniano está compuesto por una sola capa de células, que se adhieren firmemente a coroides a través de la membrana de Bruch y que emiten finas prolongaciones entre los fotorreceptores adyacentes. Estas células están fuertemente cargadas de gránulos de *melanina*, son las responsables del aspecto granular del fondo de ojo en el examen oftalmoscópico. En el epitelio pigmentario subyacente a la retina central de individuos mayores de 30 años, la *lipofucsina* es muy abundante. En la angiografía con fluoresceína, la lipofucsina

y la melanina del epitelio pigmentario de la retina oscurecen la fluorescencia de la coroides subyacente.

Las funciones del epitelio pigmentario son: absorber las radiaciones luminosas, proporcionar el intercambio metabólico entre coriocapilar y neuroepitelio, y contribuir a la renovación constante de los segmentos externos de los fotorreceptores.

El *neuroepitelio* está constituido por las siguientes capas:

1.- Capa de fotorreceptores, constituido por los segmentos externos de éstos.

2.- Limitante externa, donde se encuentran los desmosomas entre las células de Muller y fotorreceptores.

3.- Nuclear externa, capa de los núcleos de los conos y bastones.

4.- Plexiforme externa o capa de Henle, donde se efectúan las sinapsis entre las células bipolares y los fotorreceptores.

5.- Nuclear interna, capa de núcleos de las células bipolares.

6.- Plexiforme interna, sináptica entre las células bipolares y las ganglionares.

7.- Capa de células ganglionares.

8.- Capa de fibras del nervio óptico, constituida por los axones de las células ganglionares. Esta capa es visible a la luz sin rojos y se puede ver oftalmoscópicamente.

9.- Limitante interna, membrana hialina de sostén, en contacto con hialoides posterior del vítreo.

El componente celular está constituido por elementos neuronales, gliales y células pigmentarias. Cada célula pigmentaria se relaciona con los segmentos externos de 15 o 20 fotorreceptores.

Entre los elementos neuronales se encuentran:

1.- *Fotorreceptores*: responsables de la *absorción de las radiaciones luminosas y su transformación en impulso bioeléctrico* (mediante las cromoproteínas, rodopsina y yodopsina, que al modificarse por la luz conduce a cambios de potencial de la membrana plasmática).

Se distinguen dos tipos: *Conos*, encargados de la visión fotópica y de los colores, muy abundantes en la fóvea (150000/ mm2), decreciendo rápidamente en dirección a la periferia y *bastones* encargados de la visión en condiciones escotópicas, más abundantes que los Conos y al revés que éstos decrecen en dirección a la mácula.

2.- *Las células bipolares*, representan la *primera neurona de la vía óptica*, establecen sinapsis con los fotorreceptores y con las células ganglionares respectivamente.

3.- *Las células ganglionares*, *segunda neurona* cuyo axón termina en el

cuerpo geniculado externo, formando parte de la capa de fibras del nervio óptico, del propio nervio óptico, del quiasma y de las cintillas ópticas.

4.- *Las neuronas de asociación, células horizontales y células amacrinas*, establecen conexiones entre las demás neuronas, según planos perpendiculares al eje bioeléctrico principal.

Los elementos gliales de la retina, que constituyen el *entramado de sostén*, son las *células de Müller, los astrocitos, la glía perivascular y la microglía reticuloendotelial*.

Merecen especial atención dos zonas de la retina: la mácula y la papila del nervio óptico.

La *mácula* es un área elíptica situada en el centro del polo posterior donde el eje visual cruza la retina, en su centro se forma una depresión que es la fóvea. Aquí las células ganglionares son una sola capa y en su centro los únicos fotorreceptores presentes son los conos. Para una adecuada transmisión de la luz hacia los conos foveolares, se requiere que todos los elementos retinianos sean desplazados lateralmente, lo que altera la arquitectura reticular normal de sostén de las células de Müller, por lo que la retina de esta región pierde su estructura compacta volviéndose susceptible a la acumulación de líquido extracelular, lo que explica el edema macular en diversas patologías como la diabetes, hipertensión, traumatismos, etc.

Los capilares retinianos se detienen alrededor de la fóvea en un área de unos 0'5 mm (3 mm temporal al disco y 8 mm por debajo del meridiano horizontal) denominada *zona avascular foveal, punto de máxima discriminación visual*. Esta zona *se nutre exclusivamente, a partir de la coriocapilar*. Desde la capa nuclear externa hacia dentro, las capas de la retina central tienen un *pigmento carotenoide amarillo, la xantofila*.

La *papila* constituye el *nacimiento del II par craneal*, es un disco oval, claramente más pálida que la retina que lo rodea. Su *diámetro real es de 1 - 1'5 mm* aunque en la observación oftalmoscópica parezca mucho mayor. Dado que la papila carece de neuronas neurosensoriales, es un área ciega que se traduce en el campo visual en forma de *escotoma fisiológico o mancha ciega*.

La vascularización retiniana, encargada de la nutrición de las capas más internas es una circulación terminal, es decir no tiene anastomosis. El árbol arteriolar (ya que no tienen elástica interna y el músculo de la media es incompleto) proviene de la arteria central de la retina, rama de la arteria oftálmica. Los capilares intrarretinianos reciben sangre de los capilares del plexo de la capa de fibras nerviosas. *Las anomalías arteriales (como la hipertensión arterial) tienden a afectar a los capilares del plexo de las fibras nerviosas, mientras que las*

venosas (como la diabetes mellitus) tienden a afectar a los capilares de la capa nuclear interna.

A su paso por las meninges que rodean al nervio óptico, la vena central de la retina es vulnerable a los aumentos de presión intracraneal, un factor importante en la producción de *papiledema*.

FISIOLOGÍA DE LA RETINA.

La luz visible constituye una pequeña fracción del amplio espectro de radiaciones electromagnéticas. Su longitud de onda está comprendida entre 380 y 700 nanómetros.

La fóvea está sobre el eje óptico del ojo donde se forma la imagen. Los *conos* están concentrados en la región foveal y son los mediadores de la visión diurna, percepción del color y detalles finos. Los *bastones*, excluidos de la zona central, se encargan de la visión crepuscular, son muy sensibles.

La luz que penetra en el ojo atraviesa todas las capas de la retina hasta llegar al epitelio pigmentario, donde al reflejarse es captada por los fotorreceptores y transmitida su señal mediante las células bipolares y ganglionares (moduladas por las horizontales y amacrinas) al sistema nervioso central.

El primer paso de la visión consiste en la captura de luz que requiere un pigmento fotosensible. Este pigmento es distinto en conos que en bastones. El más estudiado es la rodopsina de los bastones. La *vitamina A* juega un importante papel en la visión al formar parte de los pigmentos visuales. La mayor parte de ésta se almacena en el epitelio pigmentario. Cuando se produce la captura de un *fotón*, una molécula de pigmento visual sufre una serie de cambios en la configuración que terminan con la separación completa del retinal y opsina. Antes de liberarse se produce la excitación eléctrica de la célula fotorreceptora (*hiperpolarización o ciclo de Wald*).

El primer cambio ocasionado en la rodopsina por la luz es la isomerización del 11cis retinal (configuración circular) a *la forma trans* (configuración lineal). Es la única reacción para la que se necesita luz. El proceso de la regeneración completa de pigmento dura unas 2 ó 3 horas, pero más del 90% tiene lugar en 30 minutos a la temperatura corporal.

Los fenómenos eléctricos que tienen lugar en las células nerviosas están regulados por la membrana plasmática. El flujo iónico a través de ésta se asocia a cambios del potencial. El interior de la célula es eléctricamente negativo respecto al líquido extracelular.

El papel de los fotorreceptores es la captación de un fotón de luz y generar

una señal eléctrica que excita a las neuronas siguientes en la cadena de transmisión.

En los bastones los discos que contienen el fotopigmento están encerrados dentro del segmento externo, pero separados de la membrana plasmática externa. El *calcio* trasmite la excitación entre el disco y la membrana, alterando la permeabilidad a los iones de sodio.

En los conos las membranas de sus discos están abiertas al medio extracelular, por tanto el agente que altera la permeabilidad puede actuar en el sitio de absorción de los fotones.

De aquí la capacidad de los conos de responder a los estímulos visuales más rápidamente que los bastones.

En la oscuridad, el interior del fotorreceptor es eléctricamente negativo con respecto al medio extracelular. La acción de la luz consiste en reducir la actividad del sodio, y por tanto se reduce el flujo de cargas positivas hacia la célula y el interior se hace más negativo (*hiperpolarización*).

VISIÓN DE LOS COLORES.

En los conos hay tres tipos de pigmentos, permitiendo que éstos sean sensibles selectivamente a luces de diferentes colores, rojo, verde y azul. Las absorciones de los pigmentos en las tres variedades de conos son máximas para una longitud de onda de 430 nm para el azul (longitud de onda corta), 535 nm para el verde y 575 nm para el rojo (longitud de onda larga). Según las proporciones de estimulación entre los diversos tipos de cono, el sistema nervioso las interpreta como distintos colores. La estimulación de los tres tipos de colores a la vez da sensación de blanco.

El ojo miope, mayor que el emétrope, verá mejor los colores con longitudes de onda más larga como el rojo, lo que tendrá su interés a la hora de realizar un estudio refractivo.

Por otra parte los cristalinos cataratosos absorberán longitudes de onda corta como los azules, por lo que no es raro que tras la cirugía de cataratas los pacientes nos refieran ver estos colores de nuevo.

ADAPTACIÓN A LA LUZ Y OSCURIDAD.

Cuando se blanquea una parte de pigmento visual el ojo pierde sensibilidad.

Adaptación a la luz es la reducción de la sensibilidad del ojo a la luz tras la exposición a ésta durante un tiempo. Es rápida y están involucrados principalmente los conos.

La *adaptación a la oscuridad* durante un tiempo, hace que se regenere gran cantidad de pigmento aumentando la sensibilidad de los receptores a menor

cantidad de luz. Los conos se adaptan más rápidamente debido a la mayor velocidad de síntesis de pigmento visual. Sin embargo los bastones son mucho más sensibles.

VISIÓN DEL CONTRASTE.

Las células ganglionares transmiten sus señales en forma de potencial de acción, con un promedio de 5 estímulos por segundo. Las células ganglionares que se disparan sólo cuando la luz se enciende son las llamadas *on*, las que se disparan cuando la luz se apaga se denominan *off*. Un campo receptor está compuesto por una zona central que depara solamente respuestas *on*, una zona periférica de respuesta sólo *off*, y una zona intermedia con ambos tipos de respuestas. Así el sistema visual consigue un buen contraste de los bordes de los objetos, cualidad muy importante.

Aunque los conos foveales ocupan sólo un cuarto del área visual, la información transportada por sus circuitos tiene una representación enorme y altamente desproporcionada en las áreas receptoras visuales del cerebro.

3.2.- VÍTREO.

Gel transparente que ocupa la totalidad del espacio comprendido entre la superficie interna de retina, cara posterior del cristalino y cuerpo ciliar.

Representa las 4/5 partes del volumen ocular. Es avascular, compuesta en un 99% por agua, colágeno y ácido hialurónico. Su viscosidad disminuye de la periferia al centro haciéndose menor con la edad. En adultos jóvenes un 80% es gel y un 20% humor vítreo, líquido que contiene ácido hialurónico pero no fibrillas. Con la edad el volumen líquido del humor vítreo aumenta hasta el 50%.

Tiene unas *zonas de adherencia* que son:

1. La *base del vítreo*, a nivel del cuerpo ciliar.
2. El *ligamento hialoideo-cristaliniano de Wieger*, con la cara posterior del cristalino. Muy sólida en el niño con la edad llega a desaparecer.
3. El *área de Marteginani*, alrededor de la papila del nervio óptico.

De menor intensidad son las adherencias que siguen los vasos de la retina.

Si el humor vítreo degenera y se colapsa (*desprendimiento vítreo*), las uniones filamentosas se pueden adherir a la retina sensitiva y producir un desgarro retiniano que puede conducir a un desprendimiento de retina.

En el vítreo pueden distinguirse:

1. La *hialodes*, fina membrana que lo limita, formado por condensación periférica del propio vítreo.
2. El *córtex*, porción periférica más densa.
3. El *vítreo central*, de menor densidad.

CRISTALINO.

Lente biconvexa, con poder de convergencia variable (aproximadamente +22 dioptrías) dependiendo de la tracción que ejerzan las fibras zonulares sobre su ecuador.

En su estructura se distinguen:

1. La *cápsula o cristaloides*, fina membrana elástica y semipermeable que envuelve totalmente al cristalino. La cápsula anterior es la membrana basal del epitelio anterior del cristalino; es la *membrana basal más gruesa del organismo*.
2. El *epitelio subcapsular*, formado por una sóla capa de fibras cúbicas germinativas que originan fibras que se van sumando a las subyacentes durante toda la vida. Ocupan la cara anterior y el ecuador.
3. Las *fibras del cristalino*, se superponen las unas a las otras formando dos suturas una anterior con forma de Y y otra posterior con la misma forma invertida.
4. La *zónula, o ligamento suspensorio*, se extiende desde los procesos ciliares al ecuador del cristalino, manteniéndolo en su lugar y transmitiéndole las contracciones del músculo ciliar. Con la edad disminuyen en número y resistencia.

El *cristalino es avascular y no posee inervación*. Las proteínas que lo integran, solubles en niños y jóvenes, se van transformando en insolubles en el adulto, lo que le resta elasticidad y transparencia. El *cristalino forma nuevas fibras a lo largo* de toda la vida. En los seres humanos las fibras viejas se comprimen centralmente para formar un núcleo cristaliniano inelástico cada vez mayor.

La principal función es la acomodación. Cuando el músculo ciliar se contrae (fibras circulares), relaja las fibras zonulares, y el cristalino tiende a hacerse más convexo (especialmente la zona anterior central de la cápsula, el radio de curvatura anterior cambia de 10 a 6 mm.) y de esta forma aumenta su potencia. En la acomodación hay que incluir dos procesos paralelos: la convergencia (para la fusión de las imágenes retinianas) y la miosis (que disminuye las aberraciones de los cambios de curvatura del cristalino). Estos tres fenómenos están modulados por el parasimpático.

Por ejemplo en un ojo emétrope, por definición, estando en reposo los objetos situados a menos de 6 metros de distancia no se verán nítidos, ya que los rayos no llegan paralelos a la retina, sino que divergen formándose la imagen detrás de la retina. Mediante la acomodación podemos conseguir focalizar en la retina los objetos situados entre el *punto remoto* (punto más lejano que se ve nítido) y el *punto próximo* (punto más cercano que se ve nítido).

La capacidad de acomodación se expresa en dioptrías y es máxima en la infancia, disminuyendo de forma fisiológica al disminuir la elasticidad cristaliniana hasta llegar por encima de los 60 años en el sujeto emétrope. *A partir de los 40-45 años, aparece en el sujeto emétrope cierta dificultad a la visión próxima, es lo que se denomina presbicia o vista cansada y está causada por la disminución de la capacidad de acomodación.*

CONJUNTIVA.

Capa conjuntivomucosa que tapiza la cara interna de los párpados a partir del borde libre, se refleja en dos fondos de saco (superior e inferior) y recubre el tercio anterior del globo ocular hasta el limbo esclerocorneal. En la conjuntiva bulbar en su canto interno se encuentra la carúncula y el repliegue semilunar, persistencia atrófica del tercer párpado de ciertos mamíferos.

Su misión es protectora, tanto de forma *mecánica* (epitelio y secreciones), como por medio de *fenómenos inflamatorios*, como de forma *inmunológica* gracias a la capa adenoide subepitelial, como por *sustancias antibacterianas* (la lágrima es rica en proteínas bacteriostáticas y bacteriolíticas -lisozima, lactotransferrina, y betalisina-) y a la presencia de bacterias comensales.

La respuesta inmunitaria puede ser celular y humoral con síntesis de anticuerpos, principalmente *Ig A*.

La conjuntiva es el punto más débil de la defensa periférica del organismo frente a los virus, desempeñando un papel considerable en el contagio de enfermedades víricas que difunden por vía aérea, transportadas por las partículas salivares (sarampión, rubeola, parotiditis, gripe, etc.), siendo a menudo esta transmisión asintomática. Por el contrario las bacterias encuentran en la conjuntiva un medio poco favorable para su desarrollo. La flora bacteriana normal es el resultado de un equilibrio entre las diferentes especies microbianas y el huésped. Tanto es así que la esterilidad conjuntival (menos del 20%) es considerada como un hecho patológico. Estas bacterias deben ser respetadas por lo que se evitará el uso indiscriminado de colirios antibióticos que modificarán este equilibrio. Esta flora proviene principalmente de la piel, sobre todo la frente, siendo las tres especies más corrientes el *Staphylococcus epidermidis, Corynebacterium o Difteroides y los Micrococos del aire o Sarcinas*. Su densidad aumenta en climas cálidos y en situaciones de higiene defectuosa.

Está formada por un epitelio estratificado no queratinizado. Su vascularización arterial es subsidiaria de la carótida interna a través de la oftálmica, ciliares anteriores y ramas conjuntivales y de la carótida externa a

través de la facial, las palpebrales y ramas conjuntivales. Su vascularización venosa es tributaria de dos sistemas uno superficial donde las venas palpebrales drenan a las faciales y éstas a la vena cava, y uno profundo que a través de las venas oftálmicas drenan a las órbitarias y al seno cavernoso.

Los linfáticos conjuntivales, que se desarrollan a partir del tercer mes (por lo que no hay reacción folicular antes), desembocan en los ganglios preauricular, submaxilar y parotídeo. Esta capa adenoide justifica mucha de las manifestaciones alérgicas de la conjuntiva.

La conjuntiva posee inervación parasimpática, sensitiva, por el trigémino y simpática, vasomotora, en forma de filetes amielínicos que acompañan los vasos.

PÁRPADOS.

Estructura músculomembranosa cuya misión *es proteger a los globos oculares* (figura 1.2). Debido a su capacidad de cierre representan un factor importante en la protección del globo ocular frente a los agentes externos luz, calor, frío, polvo, etc. Debido a sus continuos movimientos o parpadeos, aseguran una hidratación constante de la superficie ocular. *Se considera el parpadeo como el acto fisiológico más significativo del flujo lagrimal.*

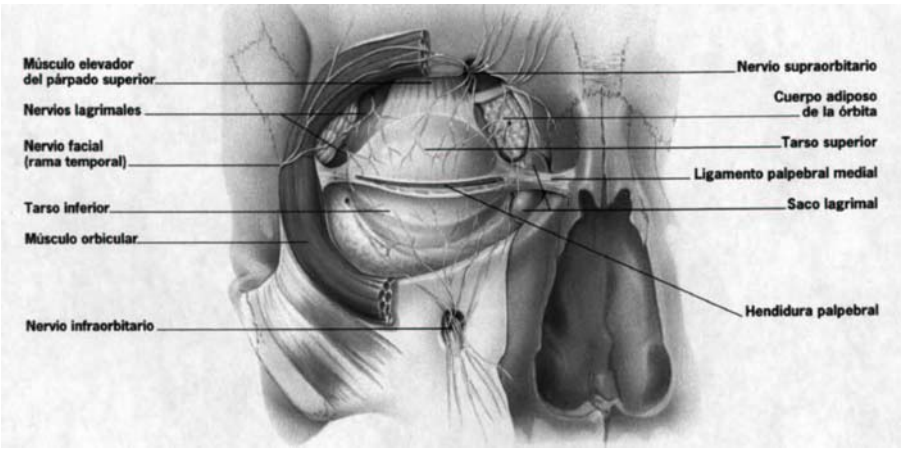


Fig. 1.2 Músculos palpebrales, láminas tarsales, ligamentos, nervios y saco lagrimal.

Presentan:
1. *Cara externa*, cutánea.
2. *Cara interna*, mucosa.
3. *Borde* libre.
4. *Cantus, interno y externo*, por los que se unen entre si el párpado superior y el inferior.

Están constituidos por los siguientes tejidos:
1. *Piel. La más fina de todo el cuerpo*. No hay grasa. Contiene numerosos pliegues y se puede distender por sangre y líquido, por su fineza los vasos subyacentes pueden aparecer como canales azul oscuro.
2. *Tejido celular subcutáneo*.
3. *Fibras musculares estriadas* (orbicular y elevador).
4. *Fibras musculares lisas* (músculo de Müller).
5. *Esqueleto fibrocartilaginoso* (tarso).
6. *Mucosa* (conjuntiva).
7. *Glándulas* (de Meibomio).

La inervación palpebral está constituida por:
1. Inervación *motora* a cargo del *VII par o facial* que inerva el músculo orbicular y *III par o motor ocular común*, que inerva el músculo elevador.
2. Inervación *sensitiva* a cargo del *V par o trigémino*.
3. Inervación *simpática*, para el músculo de Müller. Justifica la afectación de los párpados por cualquier lesión de la vía simpática (retracción en la oftalmopatía distiroidea, ptosis en el síndrome de Claude-Bernard-Horner, etc.).

La vascularización es la resultante de la unión de dos sistemas: el interno subsidiario de la carótida interna y del seno cavernoso y el externo subsidiario de la carótida externa y venas faciales. La circulación linfática drena a los ganglios submaxilar, preauricular y parotídeo.

Cuando están abiertos, los párpados forman una apertura elíptica, la fisura palpebral, que mide entre 12 y 30 mm. Lateralmente la fisura forma un ángulo de 60º; medialmente es redondeada. En negros y blancos el límite lateral está unos 2 mm. por encima del medial, en orientales puede estar 5 mm. más alto. En blancos y negros la fisura es más ancha en la unión del tercio interno con los dos tercios externos. En los orientales la fisura es más ancha en la unión de la mitad externa con la mitad interna. En orientales el canto medial está tapado por un pliegue cutáneo vertical característico (*epicantus*), que cuando se presenta en blancos puede hacer que los ojos parezcan estar desviados hacia dentro por la menor exposición de la esclera nasal a cornea (*pseudoestrabismo*).

El límite de cada párpado mide unos 2 mm de espesor y unos 30 mm de largo. En un punto situado a 5 mm. del ángulo medial existe un pequeño orificio, el punto lagrimal. El surco intramarginal o línea gris, del margen del ojo divide el párpado en una hoja anterior que contiene músculo y piel, y otra posterior que contiene tarso y conjuntiva. Las pestañas se originan anteriormente a la línea gris y los orificios de las glándulas tarsales se abren posteriores a ella. Las pestañas del párpado superior que se curvan hacia arriba son más numerosas que las del párpado inferior que se curvan hacia abajo. Las glándulas sebáceas de Zeis desembocan directamente al folículo de cada pestaña, las sudoríparas de Moll pueden desembocar directamente en el borde del párpado o en los folículos.

APARATO LAGRIMAL.

Se compone de un aparato secretor (glándulas lagrimales) y de un aparato excretor (vías lagrimales) (figura 1.3).

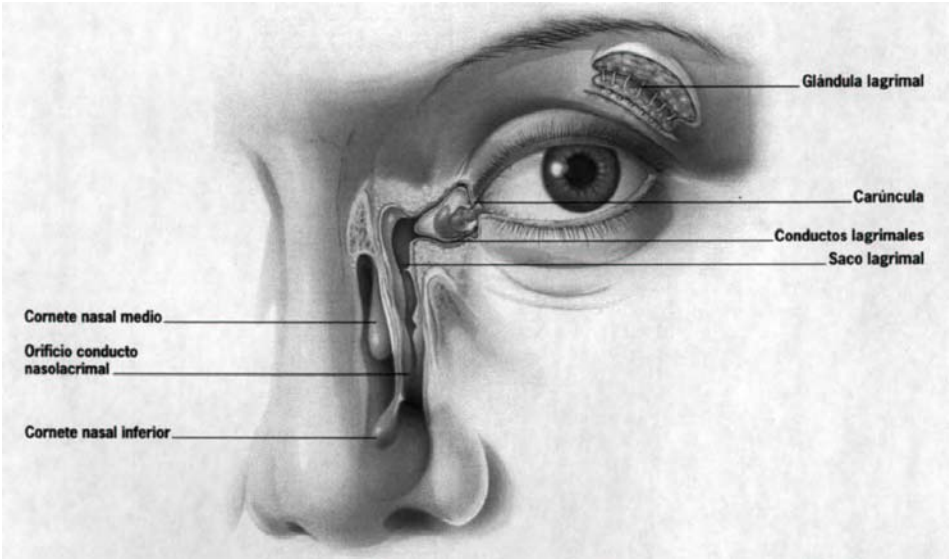


Fig. 1.3 Vías lagrimales secretoras y excretoras.

1.- APARATO LAGRIMAL SECRETOR.

Constituido por la *glándula lagrimal principal* y por las accesorias. La glándula principal se encuentra bajo el ángulo súperoexterno de la órbita, el resto de *glándulas accesorias* se encuentran en: conjuntiva tarsal (las de *Henle y Wolfing*), conjuntiva bulbar (*la de Manz*), en fondo de sacos conjuntivales (*la de*

Krausse) y en la conjuntiva del borde libre palpebral (*la de Zeiss, Moll y Meibomio*).

La arteria lagrimal es rama de la oftálmica, la vena lagrimal drena a la vena oftálmica superior y los colectores linfáticos desembocan al ganglio parotídeo.

La inervación de la glándula lagrimal principal esta a cargo del *parasimpático* que utiliza el trayecto del facial.

Las lágrimas bañan permanentemente la córnea, conjuntiva y fondos de saco conjuntivales organizándose en una película lagrimal. Esta forma una barrera entre el epitelio córneo-conjuntival y el medio externo. *Su papel es de defensa contra las infecciones, nutrición de la córnea y perfección óptica del dióptrico aire-córnea*. La película lagrimal es estable excepto en circunstancias como traumatismos, enfermedad de la superficie ocular, emoción, etc. Así un tiempo de ruptura de la película lagrimal corto puede ser el único signo objetivo de una erosión corneal crónica.

Esta estabilidad se consigue por un equilibrio adecuado entre secreción (glándulas lagrimales, conjuntivales y palpebrales) y la evacuación (vías lagrimales). Una secreción deficiente dará un *síndrome del ojo seco* con posibilidad de lesión de la superficie ocular, una evacuación deficiente dará como consecuencia una acumulación de la lágrima en los bordes palpebrales inferiores y un molesto rebosamiento o *epífora*.

Entre los diversos factores que procuran el equilibrio entre la secreción y excreción destacamos la anatomía de los bordes palpebrales, la evaporación, la gravedad, la atracción capilar, el movimiento intranasal de aire, la velocidad de secreción lagrimal, los músculos orbiculares y su acto de parpadear, funcionado como una auténtica bomba de excreción, y la competencia de pliegues mucosos o válvulas.

La película lagrimal se compone de una capa interna mucosa, una intermedia acuosa y una externa lipídica. Los componentes mucosos desempeñan un papel fundamental en la humectación de la córnea, sin ellos ésta seria hidrofóbica. Este puede ser uno de los mecanismos de la aparición de puntos de sequedad. La capa acuosa forma la mayor parte de las 7 micras de grosor de la película lagrimal. Es la más importante en el intercambio de materiales a través de la superficie y en la protección. La capa lipídica retrasa la evaporación de la capa acuosa y proporciona la mayor estabilidad a la película lagrimal.

2.- APARATO LAGRIMAL EXCRETOR.

Las vías lagrimales están situadas en la región ínferointerna de la órbita. Se inician en la proximidad del cantus interno a nivel de los puntos lagrimales,

orificios situados a nivel del borde libre palpebral uno superior y otro inferior. Estos puntos se continúan con los canalículos lagrimales que confluyen en un canalículo común, de dirección horizontal, que se continúa con el saco lagrimal, alojado en la fosa lagrimal del unguis. La pared posterior es fácilmente separable de la fosa lagrimal siendo ésta el plano de clivaje en la cirugía de las vías lagrimales para abordar el saco. Su extremo inferior se continúa con el canal lagrimonasal que desemboca en el meato inferior.

El tendón del orbicular pasa transversalmente por delante del saco (figura 2) siendo este el punto de referencia quirúrgico. Es visible por debajo de la piel. En caso de infección la fistulización se localiza inmediatamente por debajo de este punto.

MUSCULATURA EXTRÍNSECA DEL OJO.

La movilidad de los ojos se encuentra bajo el control de *seis músculos extraoculares insertados sobre el globo ocular* (figura 1.4). Estos se contraen y relajan en coordinación con los del ojo opuesto.

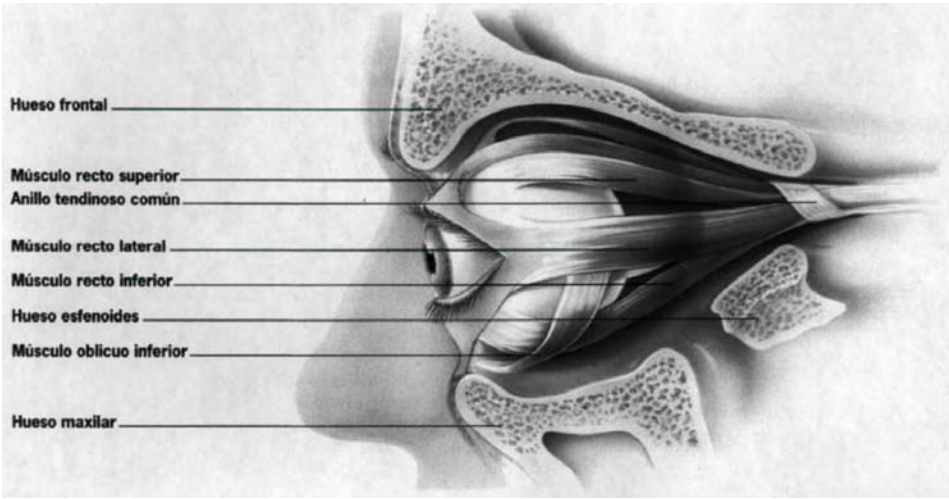


Fig. 1.4 Músculos extraoculares del ojo izquierdo, vista lateral.

Está constituida por *cuatro músculos rectos: superior, inferior, medio y lateral y dos músculos oblicuos: superior e inferior.* Cinco de los músculos tienen su origen en el vértice de la órbita y sólo el oblicuo inferior se origina en el ángulo inferior e interno de la misma. Los seis músculos se insertan en la esclera.

Los cuatro rectos alcanzan el globo insertándose en él desde atrás hacia delante, por lo que al contraerse desplazan al globo en la dirección que indica su nombre. Los oblicuos por el contrario, lo alcanzan de delante hacia atrás, desplazándolo al contraerse en sentido contrario a su nombre.

La inervación se lleva a cabo mediante tres pares craneales:

III par: inerva al recto superior, inferior, medio y oblicuo inferior.

IV par: inerva al oblicuo superior.

VI par: inerva al recto externo.

La vascularización proviene de la arteria oftálmica a través de las ramas musculares lateral o superior, y la medial o inferior.

Las venas corresponden con las arterias y abocan a las venas órbitarias superior e inferior.

Las paredes lateral y medial de la órbita forman entre sí un ángulo de 45º. El eje órbitario forma entonces un ángulo de 22,5º respecto a las paredes lateral y medial. Cuando un ojo mira al frente a un punto fijo en el horizonte con la cabeza erguida (posición primaria de la mirada), su eje óptico forma un ángulo de 22,5º-23º para simplificar- con el eje de la órbita.

Acciones de los músculos.

La acción principal del músculo corresponde al mayor efecto realizado cuando el ojo está en posición primaria (p.p.m.) y sus acciones secundarias son los efectos adicionales sobre la posición del ojo.

Rectos horizontales.

En p.p.m. los rectos horizontales hacen movimientos horizontales puros y realizan sólo una acción primaria.

Rectos verticales.

Su trayecto en órbita es idéntico al del eje de ésta insertándose delante del ecuador. Forman un ángulo de 23º con el eje óptico.

Oblícuos.

Se insertan detrás del ecuador, en p.p.m. forman un ángulo de 51º.

Recto superior.

Cuando el ojo está en una posición de 23º de abducción, el eje óptico y órbitario coinciden, no teniendo por tanto acciones secundarias, actuando como elevador. Por tanto, ésta es la mejor posición para explorar su posición.

Cuando el globo está en una posición de 67º de aducción, el eje óptico y órbitario forman un ángulo de 90º actuando aquí sólo como aductor e intorsionador.

Oblícuo superior.

En p.p.m. la acción principal del oblícuo superior es la intorsión. Cuando el globo está en 51º de aducción, el eje óptico coincide con la línea de tracción del músculo. En está posición sólo tiene una acción como depresor. Esta es la mejor para explorar este músculo. Cuando el globo está a 39º en abducción, el eje óptico y la línea de acción forman un ángulo de 90º. En esta posición actúa sólo como abductor e intorsionador.

Con estas nociones básicas es posible entender las acciones del recto inferior y oblicuo inferior.

Acciones de los músculos oculares.

	Primaria	Secundaria	Terciaria
Recto Medio	Aducción		
Recto Lateral	Abducción		
Recto Inferior	Descenso	Exciclotorsión	Aducción
Recto Superior	Elevación	Inciclotorsión	Aducción
Oblicuo Inferior	Exciclotosión	Elevación	Abducción
Oblicuo Superior	Inciclotorsión	Descenso	Abducción

Movimientos oculares.

Son de tres tipos: ducciones, versiones y vergencias.

1.- Ducciones.

Son movimientos monoculares que consisten en aducción, abducción, elevación (sursumducción), depresión (deorsumducción), intorsión (incicloducción) y extorsión (excicloducción).

Agonista. Es el principal músculo que realiza el movimiento del ojo en una dirección determinada.

Sinergista. Es el músculo que actúa conjuntamente con el agonista para producir un movimiento determinado.

Antagonista. Es el músculo que actúa en dirección opuesta que el agonista. Cada músculo extraocular tiene dos sinergistas y dos antagonistas, excepto los rectos horizontales que tienen tres antagonistas.

Ley de Sherrington de la inervación recíproca.

El aumento de estímulos y la contracción de un músculo se acompaña automáticamente de un descenso recíproco del número de estímulos y relajación de su antagonista.

2.- Versiones.

Movimientos binoculares en los que los dos ojos se mueven de forma sincrónica y simétrica en la misma dirección.

Posiciones secundarias de la mirada: dextroversión (mirada derecha), levoversión (mirada a la izquierda), sursumversión (mirada hacia arriba) y deorsumversión (mirada hacia abajo).

Posiciones terciarias de la mirada: dextroelevación (mirada arriba y a la derecha), dextrodepresión (mirada abajo y a la derecha), levoelevación (mirada arriba y a la izquierda) y levodepresión (mirada abajo y a la izquierda).

Posiciones cardinales de la mirada: son seis: dextroversión y levoversión, dextroelevación y levoelevación, dextrodepresión y levodepresión.

Músculos yugo.

Cuando los ojos se mueven hacia cada una de las seis posiciones cardinales de la mirada, un músculo de un ojo se empareja con un músculo del ojo opuesto. Por ejemplo en levoversión los músculos yugo son el recto lateral del ojo izquierdo y el recto medio del ojo derecho (figura 1.7 Ver al final del capítulo).

Ley de Hering.

Durante cualquier movimiento conjugado del ojo los músculos yugo son estimulados de forma similar y simultánea. En el estrabismo parético, el número de estímulos viene determinado siempre por el ojo que fija, con lo que el ángulo variará dependiendo del ojo que fije. Si el ojo no parético fija el grado de desalineación entre los dos ojos se llama desviación primaria. Cuando fije el ojo patético la desalineación entre los ojos se llama desviación secundaria.

3. - Vergencias.

Movimientos oculares en los que los dos ojos se mueven de forma simétrica en dirección opuesta.

Convergencia.

Puede ser voluntaria o refleja. La convergencia refleja tiene cuatro tipos:

1. Convergencia tónica. Tono nervioso cuando el paciente está despierto.

2. Convergencia proximal. Determinado por el conocimiento de la proximidad de un objeto.

3. Convergencia fusional. Reflejo optomotor por el que imágenes retinianas similares se proyectan en las áreas retinianas correspondientes. Se produce por la disparidad de la imagen retiniana bitemporal.

4. Convergencia acomodativa. Debido al reflejo sincinético de proximidad. Cada dioptría de acomodación se acompaña de un incremento completamente constante en la convergencia acomodativa (A/CA). El valor normal es 4, esto significa que cada dioptría de acomodación se asocia con 4 dioptrías de prisma de convergencia acomodativa. Las anomalías de esta relación son causas muy importantes de estrabismo. Una relación elevada producirá una

esotropia durante la acomodación a un objeto cercano. Una relación baja puede producir una exotropia cuando el paciente mira un objeto cercano.

Divergencia.

La única significativa es la divergencia fusional producida por la disparidad en la imagen retiniana binasal.

Vergencias fusionales.

Movimientos correctores del ojo anulando la disparidad en la imagen retiniana. La amplitud fusional se refiere a la máxima cantidad de movimiento ocular producido por la vergencia fusional. Se puede medir con prismas. La convergencia fusional para objetos distantes es aproximadamente de 15 dioptrías prismáticas (D) y de 25Δ para los cercanos. Ayuda a controlar la exoforia. Puede disminuir con la fatiga, debilitamiento o enfermedad convirtiéndose entonces una foria en una tropia. Puede mejorarse con ejercicios ortópticos que producen sus mejores resultados para la mejoría de la insuficiencia de convergencia aumentado la convergencia fusional de proximidad. Las amplitudes de divergencia fusional normal son menores.

VISIÓN BINOCULAR.

La percepción de un objeto como único cuando da una imagen sobre las retinas de ambos ojos lo denominamos visión binocular.

Es preciso que el objeto pueda ser visto al mismo tiempo en ambos ojos, que las imágenes sean poco diferentes, una anisometropía importante (distinta refracción en ambos ojos) y una diferencia de agudeza visual son desfavorables. Es necesario que ambas imágenes estén superpuestas y que a nivel de la corteza occipital se efectúe la elaboración de la percepción única final.

La visión binocular ha sido dividida en tres grados: percepción simultanea, fusión y estereoscopia.

La importancia de la visión binocular se basa en que:

- Mejora la agudeza visual monocular.
- Aumenta el campo visual monocular.
- Mediante ella se aprecia el relieve o visión tridimensional.

ÓRBITAS ÓSEAS.

Cavidades situadas simétricamente a cada lado de la línea media, en el macizo craneofacial. Con forma de pirámide cuadrangular de base anterior y vértice posterior. Configurada por las siguientes paredes:

1. Pared superior o techo: formada por la porción horizontal del frontal y el ala menor del esfenoides. Tiene como relieves principales, la fosa lagrimal para

alojar la glándula del mismo nombre y la fosa troclear para la polea de reflexión del músculo oblicuo mayor.

2. Pared externa: constituida por la porción descendente del frontal, malar y esfenoides. La cruzan la hendidura esfenoidal y la hendidura esfenomaxilar por debajo de la anterior. Es vía de abordaje quirúrgico frecuentemente.

3. Pared inferior o suelo de la órbita: integrada por el maxilar superior, el malar y la apófisis órbitaria del palatino. La pared que lo separa del seno maxilar tiene un espesor de 0'5 a 1 mm. por ello los procesos tumorales o infecciosos pueden llegar con facilidad a su través provocando exoftalmos con desplazamiento del globo ocular en dirección contraria.

4. Pared interna: la forman el esfenoides, unguis, maxilar superior y lámina papiracea del etmoides. Es muy delgada (0'5 mm.) y se halla en relación en su mayor parte con las celdillas etmoidales por ello, con gran facilidad, los procesos etmoidales pueden extenderse hacia la órbita, y también se explica el paso de aire hacia la cavidad órbitaria y párpados, que se puede comprobar al tacto como una crepitación nívea en los casos de fractura, siendo signo patognomónico de la misma el enfisema de los párpados.

Dos orificios de los que se abren en las paredes de la órbita revisten especial interés: el *agujero óptico* y la hendidura esfenoidal ambos comunican órbita con la cavidad craneal. El agujero óptico es la entrada del II par o nervio óptico y de la arteria oftálmica. La *hendidura esfenoidal* da la inserción al anillo de Zinn en su porción ínferointerna, a su través pasan: el III par, el VI par, el nervio nasal (rama del oftálmico), la raíz simpática del ganglio oftálmico y la vena oftálmica media por dentro del anillo, por fuera del anillo pasan el IV par, los nervios frontal y lagrimal (ramas del oftálmico) y las venas oftálmicas superior e inferior. La anastomosis entre las venas órbitarias y las vecinas tiene gran importancia por la posibilidad de ser una vía de transporte de procesos patológicos.

Tanto la entrada en la órbita (vértice orbitario) como inmediatamente posterior (seno cavernoso) existen dos encrucijadas de elementos vásculonerviosos que producen patología variada cuando se afectan.

Las principales fascias órbitarias son:

1) *Periostio*,

2) *Septo órbitario* (*fascia palpebral*), se extiende desde los límites óseos de la órbita hasta el párpado en estrecha relación con la superficie posterior de la porción palpebral del músculo orbicular del ojo. El septo impide que la grasa penetre en el párpado y limita la inflamación del mismo hacia la órbita.

La grasa órbitaria se encuentra en forma de lóbulos, más o menos tabicado por tractos fibrosos derivados de la cápsula de Tenon. Su función es la de relleno

a la vez de facilitar el movimiento entre sí de las estructuras órbitarias, principalmente del globo ocular.

3) *Fascia bulbar* (*cápsula de Tenon*), separa el globo de la cavidad órbitaria y proporciona la cavidad en que se mueve el ojo.

4) *Fascia muscular* rodea los músculos oculares.

Un dato importante a tener en cuenta es que la distancia interorbitaria en niños es más reducida, por lo que puede provocar en ocasiones un falso estrabismo que se corregirá espontáneamente con el desarrollo de las celdillas etmoidales.

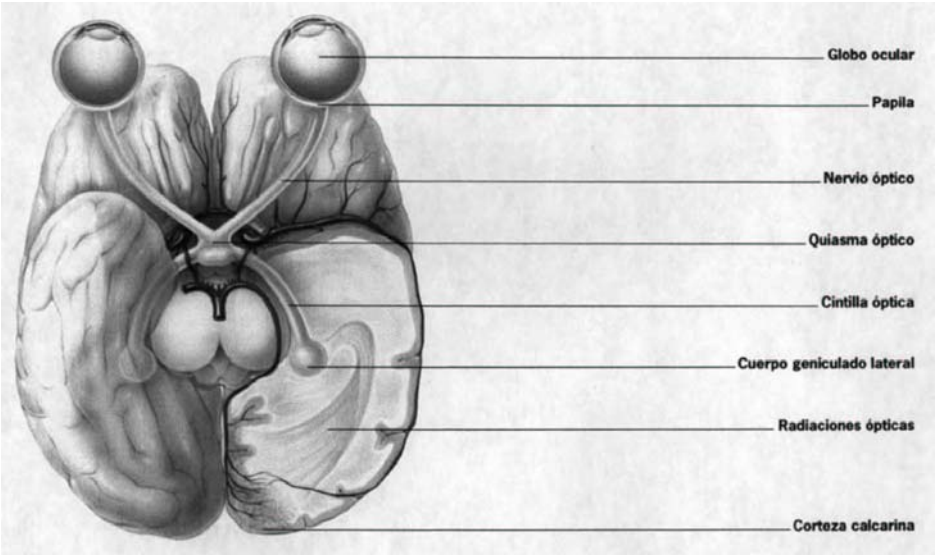
VÍA ÓPTICA.

Es la estructura encargada de transmitir los impulsos nerviosos originados en la retina hasta el córtex occipital, donde tiene lugar la visión.

Es importante aclarar que el centro del campo visual, o la separación entre la retina temporal y nasal, viene dada por una línea vertical que pasa por el centro de la mácula (fóvea).

Está constituido por los nervios ópticos, el quiasma, las cintillas, las radiaciones, los núcleos visuales y la corteza occipital (figura 1.5).

Fig. 1.5 Vía óptica.



Según el nivel de la vía óptica afectado distinguiremos topográficamente distintas lesiones campimétricas (figura 1.6).

Fig. 1.6 Defectos del campo visual según el nivel de lesión de la vía óptica.

NERVIO ÓPTICO.

Es el II par craneal. Mal llamado *nervio óptico*, pues en realidad es un fascículo, por su origen (SNC), por su contenido rico en sistema glial, y por sus envolturas (piamadre, aracnoides y duramadre), además de no regenerarse como sucede con los nervios periféricos.

De longitud total de 35-55 mm, y diámetro entre 3 y 7 mm envuelto por las tres meninges, en su trayecto se distinguen cuatro porciones:

1. Porción intraocular: los axones de todas las células ganglionares convergen en el disco óptico de 1'5 mm de diámetro (es la unidad que se suele usar para medir las lesiones retinianas) y se angulan 90º, y atravesando la lámina cribosa abandonan el globo ocular para formar el nervio óptico. Las fibras nerviosas que proceden de las células ganglionares de la fóvea ocupan el interior del nervio óptico, las fibras temporales se arquean por encima y por debajo de estas pero no cruzan el rafe horizontal, las fibras nasales siguen un curso radial y recto. La distribución es importante en la configuración de los *defectos campimétricos del glaucoma*. Las ramas más importantes de la arteria y vena central de la retina se localizan en la capa de fibras nerviosas. Al no tener fotorreceptores su representación en el campo visual es la de un escotoma absoluto que se conoce con el nombre de *mancha ciega*.

2. Porción intraórbitaria: tiene forma de S cursiva para permitir la movilización del globo. En su inicio se encuentra rodeado por los vasos y nervios filiares posteriores. Mas atrás por su porción inferiomedial tiene lugar la entrada de la arteria y vena centrales de la retina.

3. Porción canalicular: el nervio óptico entra en el canal óptico a través del agujero óptico acompañado de la arteria oftálmica.

4. Porción intracraneal: al ingresar en la cavidad craneal, el nervio óptico sigue un trayecto hacia atrás y hacia dentro, hasta llegar al quiasma. Establece relaciones con la arteria cerebral anterior, el fascículo olfativo y lóbulo frontal por arriba, con la arteria carótida interna por fuera, con el seno esfenoidal y las celdas etmoidales por abajo y con la arteria oftálmica en su porción ínferoexterna.

Además de estar integrado por los axones de las células ganglionares, el nervio óptico consta de fibras pupilares aferentes procedentes de la retina que se dirigen hacia la región pretectal del mesencéfalo, de fibras eferentes del sistema extrastriado que se dirigen de la corteza occipital hacia la retina, de fibras fotostáticas que se dirigen de la retina hacia colículo superior y de fibras vegetativas de conexión entre retina e hipotálamo.

Como norma cualquier lesión que afecte al nervio será siempre *unilateral*.

QUIASMA ÓPTICO.

Con forma de X constituye el nexo entre ambos nervios ópticos y las cintillas ópticas. Por su cara inferior el quiasma se relaciona con el esfenoides sobre el que está situado, con la hipófisis. Por su cara inferior está en contacto con el suelo de III ventrículo y se relaciona con las arterias cerebrales anteriores y comunicante anterior. Sus relaciones posteriores se establecen con la fosa interpeduncular, el III par, los tubérculos mamilares y el infundíbulo de la hipófisis. Por ambos lados está flanqueado por las carótidas internas.

Las fibras visuales en el quiasma pueden ser sistematizadas en:

1. Fibras directas (fascículo directo). Las fibras de la región temporal retiniana forman un haz que ocupa el borde temporal del quiasma.

2. Fibras cruzadas (fascículo cruzado). Las fibras nasales retinianas ocupan la regíon nasal del nervio óptico y cruzan el quiasma. Las fibras del cuadrante inferonasal de la retina atraviesan la línea media en la parte anteroventral de quiasma, se incurvan hacia delante formando un bucle. Las fibras del cuadrante superonasal de la retina cruzan la línea media por la parte posterodorsal del quiasma para ir al cuadrante nasal superior de la cinta.

3. Las fibras maculares (fascículo macular). Está en la parte central del nervio óptico y sufre un entrecruzamiento parcial hacia el ángulo posterior del quiasma en su parte superior. Conforme las fibras maculares van hacia atrás van ocupando un plano superior.

Al dejar el quiasma, las fibras visuales directas vienen de la hemirretina temporal homolateral, las fibras cruzadas vienen de la hemirretina nasal contralateral y las maculares son directas y cruzadas. Así las fibras de las dos mitades izquierdas de la retina van por la cintilla izquierda y viceversa.

En un corte transversal las fibras de maculares se localizan en la porción temporal superior de la cintilla, las de la mitad inferior de las dos retinas ocupan la porción temporal inferior y las de la mitad superior la porción nasal superior.

Las lesiones en el quiasma vienen dadas por las relaciones de vecindad. La lesión más típica es la hemiapnosia bitemporal, generalmente por tumores hipofisiarios. Como norma la lesión siempre será bilateral.

CINTILLAS ÓPTICAS.

Van desde el quiasma hacia atrás y afuera, y terminan en los cuerpos geniculados laterales. *Cada cintilla contiene fibras visuales y pupilomotoras directas del lado temporal del mismo ojo y cruzadas de la mitad nasal del ojo opuesto. Por tanto la información visual procedente de una mitad de espacio discurre por el lado opuesto del cerebro.*

Como norma las lesiones de esta zona producen *defectos de campo no congruentes,* (hemiapnosia homónima contralateral con afección pupilar).

CENTROS VISUALES.

El cuerpo geniculado lateral está situado en la cara posterior del tálamo. A su superficie anterior llegan el 80% de las fibras de la cintilla óptica y de su superficie posterior parten las radiaciones ópticas. Está constituido por neuronas de relevo que unen las cintillas a las radiaciones, y neuronas de axón corto que conectan las células entre ellas y que intervienen en mecanismos de inhibición postsinápticos. El cuerpo geniculado lateral establece conexiones con otros núcleos del tálamo y recibe fibras procedentes del córtex occipital. Constituye una estación de relevo de la vía óptica principal.

Como norma se producirá una *hemiapnosia homónima contralateral*.

RADIACIONES ÓPTICAS.

Salen de la cara posterior del cuerpo geniculado lateral del tálamo, se dirigen hacía atrás y afuera, rodean el brazo posterior de la cápsula interna dividiéndose en tres fascículos: dorsal, central y ventral. Los dos primeros discurren a través de los lóbulos temporal y parietal, encima del asta posteroinferior del ventrículo lateral, hasta alcanzar la corteza occipital del mismo lado. El fascículo ventral describe un trayecto arciforme en el lóbulo temporal, rodeando asta anteroinferior del ventrículo lateral para terminar en corteza occipital homolateral.

Las fibras de las radiaciones en el lóbulo occipital ocupan la zona comprendida entre la base del lóbulo y la cisura de Silvio.

Las fibras de los fascículos dorsal y ventral llegan a la porción anterior de la cisura calcarina, mientras que las fibras del fascículo dorsal alcanzan su porción posterior.

Cuanto más posterior esté la lesión más congruente será la lesión. Según su localización temporal o parietal puede afectar sólo a los campos visuales superiores o inferiores. El término *cuadrantanopsia* se utiliza cuando el defecto abarca un cuadrante o menos del campo visual. No hay alteración de los reflejos pupilares.

CORTEZA VISUAL.

El *área estriada o 17 de Brodmann* ocupa una zona que se extiende por la cara medial, polo posterior y una pequeña porción de la cara lateral de lóbulo occipital. La cara medial del lóbulo está atravesada por la cisura calcarina, por

cuyo interior circula la arteria calcarina, rama de la cerebral posterior, relacionándose por delante con el asta posteroinferior del ventrículo lateral.

La función visual precisa, además, un sistema de coordinación e integración con otras funciones del sistema nervioso central, es el sistema paraestriado, integrado por las áreas visuales de asociación, el Tálamo, la sustancia reticular y los elementos córticofugos del sistema visual.

Las *áreas visuales de asociación*, situadas en las proximidades del área estriada y en las circunvoluciones angular y supramarginal del lóbulo temporal, tienen actividad visual y oculomotora.

El área parastriada, corresponde al área 18 de Brodmann, circunda al área estriada por las caras medial y lateral, tiene conexiones con el área 17 y 19 homolaterales y 18 y 19 heterolaterales a través del cuerpo calloso.

El área peristriada corresponde al área 19 de Brodmann y está situada alrededor del área parastriada. Se halla rodeada del área 19 de actividad supresora motora.

Las áreas para y peristriadas tienen conexiones bidireccionales con las áreas de asociación prefrontal, sensitiva, motora y auditiva. Aportan fibras a los fascículos frontooccipital, corticotectal y corticopontocerebeloso. Reciben fibras del colículo superior y del núcleo pulvinar. Aportan fibras al cuerpo geniculado lateral.

El área estriada es, al parecer, la responsable de las sensaciones visuales primarias (luz, forma, color, fusión binocular y situación espacial), las áreas visuales para y peristriadas elaboran los mecanismos psicovisuales integrándose con otras actividades sensitivas.

Las circunvoluciones angular y supramarginal corresponden a las áreas 39 y 40 respectivamente, y se localizan en la cara lateral del lóbulo parietal (el dominante que generalmente es el lóbulo parietal izquierdo), constituyendo una zona de asociación. En ellas se elaboran fenómenos de conocimiento que requieren una síntesis de elementos analíticos primarios.

Las áreas del lóbulo temporal 20 y 21 son áreas de memoria para las funciones sensoriales y sensitivas, incluida la visión.

En general la disposición se encuentra establecida con las fibras maculares en el polo occipital, y mientras más periféricas las áreas retinianas, más alejadas del polo occipital.

Las lesiónes más habituales son las escotomas o la hemiapnosias homónimas contralaterales congruentes y con respeto macular la hemianopsia homónima contralateral congruente.

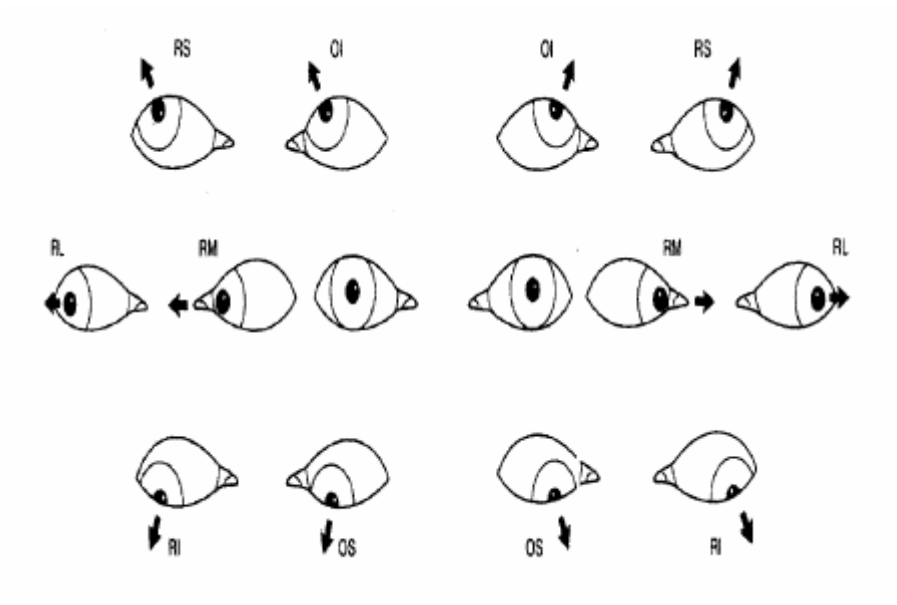


Fig. 1.7 Posición diagnóstica de los músculos extraoculares.

Bibliografía

1. Piñero Bustamante A. Aparato ocular. Anatomía fisiología patología. Laboratorios Cusí. 1992; 6-65.
2. Newell F W. Oftalmología fundamentos y conceptos. Ed. Mosby. 1993; 6-98.
3. Kanski JJ: Oftalmología clínica 4ª edición. Madrid: Ed Harcourt; 2000.
4. American Academy of Ophthalmology: Basic and Clinical Science Course: Fundamentals and Principles of Ophthalmology, sect 2. San Francisco, AAO, 1998.