

Capítulo 2.1

Anatomía quirúrgica para el cirujano de glaucoma

Carlos A. Arciniegas-Perasso, Manuel Romera

Para lograr una cirugía exitosa se necesita un adecuado conocimiento de la anatomía. Los procedimientos para tratar el glaucoma requieren que el cirujano domine la topografía exterior del globo ocular y su relación con las estructuras internas. Especialmente el conocimiento de los límites y la composición del ángulo, así como su relación con el limbo son críticos para determinar la localización y profundidad de las incisiones que se realizan en estos procedimientos. Asimismo, es importante recordar la disposición de los anexos que recubren o se insertan en el globo ocular para minimizar el trauma quirúrgico asociado a los procedimientos de filtración conjuntival.

El presente capítulo hace una revisión concisa de la anatomía ocular de «fuera a dentro» y según abordaje quirúrgico. Luego de una breve descripción de la cavidad orbitaria y algunas generalidades sobre el globo ocular, el texto se dividirá en dos grandes apartados que corresponden a los tipos de abordaje que ejecuta el cirujano de glaucoma. Se realizará una descripción de las estructuras que se va encontrando el cirujano según su abordaje sea *ab-interno* o *ab-externo*.

GENERALIDADES SOBRE LA ÓRBITA Y EL GLOBO OCULAR

El globo ocular está en la órbita, una cavidad ósea piramidal de algo menos de 30 ml de capaci-

dad media, con una profundidad desde la entrada hasta el ápex entre 40 y 45 mm. La apertura orbitaria tiene una altura media de 35 mm y un ancho de 45 mm. La órbita está delimitada por siete huesos que limitan sus cuatro paredes: frontal, esfenoides, maxilar, lacrimal, etmoides, palatino y zigomático.

El globo ocular no es una estructura totalmente esférica ya que el radio de curvatura de la córnea (6,5-7,8 mm) es menor que el de la esclera (11,5 mm). El diámetro anteroposterior del ojo emétrope promedio mide 23-25 mm y el transversal mide 23,5-24 mm. Su volumen total en el adulto es de 6,5-7 ml.

El ojo se divide en tres compartimientos:

- Cámara anterior: Está comprendida entre la cara posterior de la córnea y el diafragma iridiano-pupilar. Su profundidad varía entre 1,5 y 4 mm (media 3,11 mm). Suele ser menor en ojos hipermétropes y mayor en ojos miopes, afáquicos y pseudofáquicos. Tiene un volumen promedio de 220-250 μ L y se encuentra llena de humor acuoso.
- Cámara posterior: Está comprendida entre la cara posterior del iris y la cara anterior del cristalino y la zónula. Tiene un volumen promedio de 60 μ L y se encuentra llena de humor acuoso.
- Cámara vítrea: Es la más posterior y grande. Tiene un volumen promedio de 5-6 mL y contiene humor vítreo.

La irrigación del globo ocular depende de la arteria oftálmica, que lo hace a través de las siguientes ramas:

- Arteria central de la retina, que entra en el globo ocular con el nervio óptico.
- Dieciséis a veinte arterias ciliares posteriores cortas que penetran en el globo ocular en un anillo (Zinn-Haller) alrededor del nervio óptico, junto con los nervios ciliares cortos.
- Dos arterias ciliares posteriores largas, que entran a cada lado del nervio óptico cerca del meridiano horizontal y describen un trayecto anterior por el espacio supracoroideo hasta anastomosarse entre ellas para formar al círculo arterial mayor en la porción anterior del cuerpo ciliar.
- Siete arterias ciliares anteriores, provenientes de ramas musculares. Contribuirán en la irrigación del segmento anterior al anastomosarse con las arterias ciliares posteriores largas para formar el círculo arterial mayor.

El drenaje venoso del globo ocular depende de varios sistemas que finalmente drenan en el seno cavernoso:

- Vena central de la retina, que emerge con el nervio óptico.
- Sistema venoso de la coroides, cuerpo ciliar e iris, que drena a través de las 4-7 venas vorticosas que tiene cada ojo. Emergen de la superficie escleral entre los músculos rectos, 4-8 mm por detrás del ecuador. Drenan en las venas oftálmicas superior e inferior.
- Venas episclerales, que drenan en las venas ciliares anteriores, tributarias de las venas musculares y éstas de la vena oftálmica superior.

ANATOMÍA QUIRÚRGICA PARA EL ABORDAJE AB-INTERNO

Este abordaje se emplea principalmente para técnicas de cirugía microinvasiva para el glaucoma (MIGS), pero también para resolver complicaciones de intervenciones realizadas previamente por vía *ab-externo*.

La primera estructura que se encuentra el cirujano es la córnea, en la que debe realizar una incisión que le permita acceder a la cámara anterior sin obstaculizar su visualización ni afectar el ángulo irido-córneal.

Córnea

La córnea es un tejido claro avascular que mide en promedio 10,6 x 11,7 mm de diámetro vertical y horizontal, respectivamente. Tiene cinco capas, que se enumeran a continuación según su disposición de superficie a profundidad y con su grosor central promedio entre paréntesis: epitelio (50-90 μm), membrana de Bowman (8-15 μm), estroma (470-500 μm), membrana de Descemet (10-12 μm) y endotelio (4-6 μm). Se debe tener en cuenta que la córnea central es más delgada (grosor promedio de 550 μm) y se va engrosando en la periferia hasta alrededor de 670 μm .

La disposición antes mencionada permite realizar suturas de tracción a media profundidad de la córnea periférica con estabilidad. Asimismo, se debe tener en cuenta su estructura para hacer incisiones estables y evitar las estructuras vasculares que pueden invadir del limbo a la córnea ya que su sangrado limitará la visualización gonioscópica posterior.

Una mención aparte requiere el endotelio córneoal. Al momento de nacer hay 350.000 células endoteliales por ojo, con una densidad central aproximada de 4000 células/ mm^2 . Esta densidad celular disminuye con la edad. En adultos jóvenes es de 3000 células/ mm^2 , en la mediana edad 2500 células/ mm^2 y 2000 células/ mm^2 en la edad avanzada. Esta reducción en la densidad celular se debe al proceso de envejecimiento y a la ausencia de mitosis, lo cual impide que esta capa se regenere tras inflamación, distrofia o trauma, incluyendo el producido por procedimientos intraoculares. Una densidad por debajo de aproximadamente 500-800 células/ mm^2 puede comprometer la transparencia córneoal debido a la aparición de edema y descompensación, lo que afectará la visión.

Cámara anterior

Teniendo en cuenta la variabilidad de la profundidad de este compartimiento (ver apartado de generalidades), el cirujano puede experimentar dificultad en la visualización de las estructuras angulares. Sin embargo, está obligado a mantener la estabilidad de la cámara con viscoelástico o solución balanceada para evitar dañar las células endoteliales y, en el caso de ojos fáquicos, prevenir una catarata iatrogénica.

Ángulo iridocórneo

El ángulo de la cámara anterior está formado por la confluencia entre la cara posterior de la córnea y la cara anterior del iris. Para visualizarlo, el cirujano debe recurrir a las lentes de gonioscopia, ya sean directas (gonioprismas) o indirectas (lentes con espejo).

Las estructuras que componen el ángulo, de anterior a posterior, son: línea de Schwalbe (límite periférico de la membrana de Descemet), malla trabecular (trabeculum), espolón escleral, banda ciliar (extensión anterior del músculo ciliar) y raíz del iris. Estas estructuras se disponen de forma paralela en los 360° de la periferia de la cámara anterior.

El ángulo de la cámara anterior puede clasificarse en abierto o cerrado. De acuerdo con la escala de Shaffer modificada se clasifica según el número de estructuras visibles. Así, si no es posible identificar ninguna estructura angular se clasifica como 0; si sólo se visualiza la línea de Schwalbe es grado 1; si también se visualiza la malla trabecular pigmentada es grado 2; si además se puede ver el espolón escleral es grado 3 y si se observan todas las estructuras del ángulo hasta la banda ciliar se clasifica como grado 4 (Fig. 1).

Malla trabecular

Está formada por entre 7 y 14 capas cribiformes que se disponen entre la línea de Schwalbe anteriormente, y la base del iris, cuerpo ciliar y espolón escleral posteriormente. Las 2 o 3 láminas más superficiales y laxas se denominan *malla uveal*, pues se insertan en la banda ciliar y la base del iris; la

reticulación de estas capas deja espacios amplios que no ofrecen resistencia al flujo del humor acuoso. Las láminas más profundas se insertan desde el extremo anterior de la esclera y la córnea periférica hasta el espolón escleral, por lo que se llama *malla corneoescleral*; a medida que las capas son más profundas la malla se hace más tupida, hasta llegar el *tejido yuxtacanalicular*, donde la resistencia al flujo del acuoso es máxima.

Las retículas que forman la malla trabecular están formadas por un interior de fibras elásticas y colágeno y un recubrimiento de células endoteliales más o menos ovaladas o poligonales. En cambio, las células del tejido yuxtacanalicular tienen forma más alargada y con múltiples prolongaciones citoplásmicas dendritiformes que se interconectan entre sí, con la membrana basal de la pared interna del canal de Schlemm y con las lamelas más profundas del trabeculum. Las propias células yuxtacanales secretan una matriz extracelular que llena los espacios entre esas prolongaciones dendritiformes. La matriz extracelular está constituida por proteoglicanos, hialuronato, fibras colágenas, fibronectina y una red continua de fibras elásticas (plexo cribiforme).

Las células de la malla trabecular tienen dos características principales: primero, su capacidad fagocítica, que les permite eliminar detritos y pigmento desprendido que pueden obstaculizar el flujo del acuoso; y segundo, tienen un citoesqueleto activo con capacidad contráctil que determina su rigidez estructural y participa de la biomecánica de la malla trabecular ante las oscilaciones de presión ocular. Las células endoteliales del trabeculum se van perdiendo con la edad, lo que hace que las lamelas puedan adherirse entre sí y sean más rígidas.

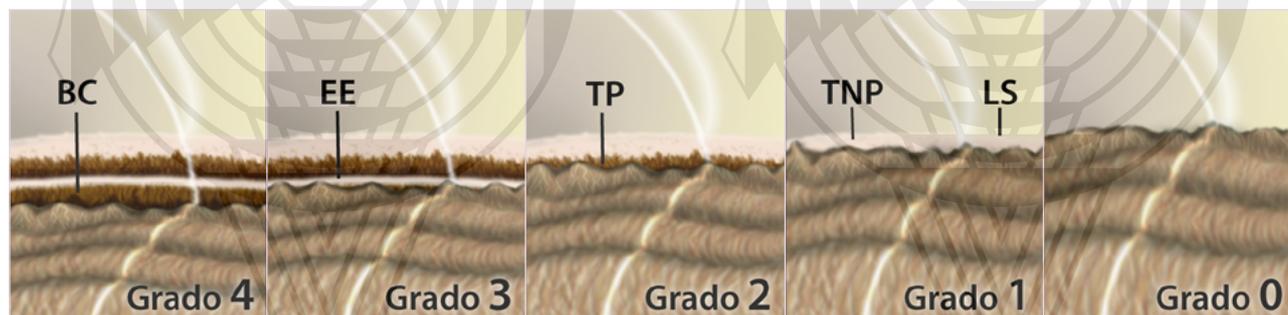


Figura 1: Clasificación gonioscópica modificada de Shaffer. Grado 4: ángulo abierto, banda ciliar (BC) visible. Grado 3: visible hasta el espolón escleral (EE). Grado 2: ángulo visible hasta el trabéculo pigmentado (TP). Grado 1: ángulo estrecho, visible hasta la línea de Schwalbe (LS). Grado 0: ángulo cerrado. TPN: trabéculo no pigmentado.

La porción más anterior del trabeculum, justo detrás la línea de Schwalbe, es la porción *no filtrante*, pues no se relaciona con el canal de Schlemm. Es menos pigmentada y de menor relevancia fisiológica, aunque se ha propuesto que puede contener células madre con capacidad de regenerar la malla. La porción posterior sí guarda relación directa con el canal de Schlemm, está más pigmentada y se denomina porción *filtrante* (Fig. 2).

Canal de Schlemm

Es un vaso circunferencial alojado en el surco escleral anterior, de modo que se relaciona con tejido escleral en sus aspectos anterior, externo y posterior (el espolón escleral) y en su pared interna con la malla trabecular. El canal de Schlemm no forma un anillo regular, sino que presenta variaciones en su diámetro y tabiques parciales a lo largo de su circunferencia. Su corte es de forma ovalada, con un diámetro anteroposterior de unos 250-300 μm , mientras que su diámetro transversal varía consi-

derablemente, dada la movilidad de su pared interna en relación con los cambios de la PIO.

La estructura interna del canal de Schlemm muestra dos paredes muy diferenciadas: la interna, adyacente al tejido yuxtacanalicular, y la externa, en contacto con la esclera y con la presencia de las aberturas de los conductos colectores. El canal está tapizado por células endoteliales diferentes en cada pared. Las células de la pared externa tienen un fenotipo de endotelio vascular sanguíneo, son aplanadas y están adheridas a las paredes esclerales que recubren. En cambio, el endotelio de la pared interna es de fenotipo linfático, con membrana basal fenestrada y sus células están abombadas hacia la luz del canal debido a la presencia de vacuolas gigantes subcelulares; es decir, estas células están hinchadas a la manera de velas de barco o paracaídas por la presión del humor acuoso que atraviesa el tejido yuxtacanalicular y alcanza la cara basal del endotelio. Las células de la pared interna presentan uniones estrechas, pero también poros intercelulares y transcelulares por los que «gotea» el acuoso hacia la luz del canal.

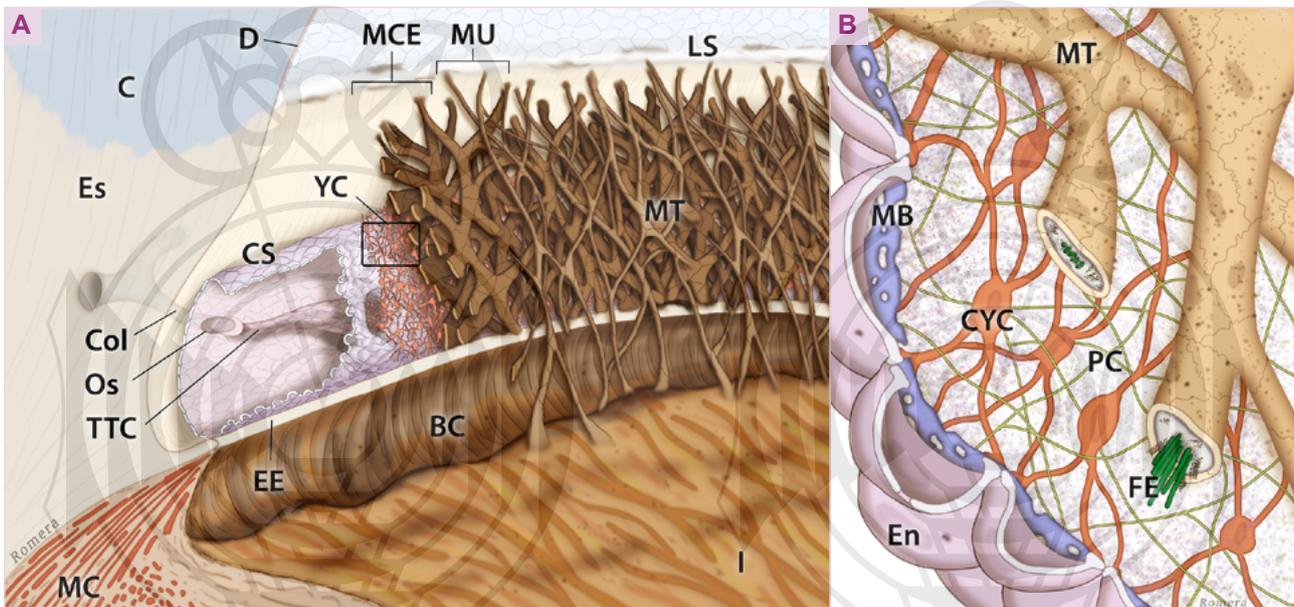


Figura 2: Estructura interna del ángulo iridocorneal. **A.** Malla trabecular (MT) con sus porciones uveal (MU) y corneoescleral (MCE); tejido yuxtacanalicular (YC); canal de Schlemm (CS) mostrando en su interior los túbulos transcanaliculares (TTC) anclados en los *ostia* (Os) de la pared externa; túbulos colectores (Col) en el interior de la esclera (Es); espolón escleral (EE), banda ciliar (BC), iris (I) y músculo ciliar (MC); córnea (C), membrana de Descemet (D) y su límite posterior, la línea de Schwalbe (LS). **B.** Ampliación del recuadro del área yuxtacanalicular y sus tres tipos celulares: el endotelio (En) del canal de Schlemm con las células abombadas, poros transcelulares y una membrana basal (MB) discontinua; las células yuxtacanaliculares (CYC) de prolongaciones dendritiformes ancladas tanto al endotelio como a la malla trabecular, y rodeadas por matriz extracelular que incluye el plexo cribiforme (PC) de elastina; las lamelas de la malla trabecular (MT) están formadas por un núcleo de fibras elásticas (FE) y colágeno, recubierto por células endoteliales planas con pigmento fagocitado.

Unas estructuras interesantes que emergen de la pared interna del canal de Schlemm son los *túbulos transcanaliculares* o *conductos endoteliales*, descritos por Murray Johnstone. Se trata de unas formaciones con aspecto de manga o trompa que nacen de la pared interna, cruzan la luz del canal de forma oblicua y terminan insertándose en unas aletas operculares en las bocas de los colectores de la pared externa. El interior de estos túbulos contiene la misma matriz del tejido yuxtacanalicular y su recubrimiento es de células endoteliales de la pared interna del canal. Por el interior de los conductos endoteliales fluye humor acuoso, y servirían como vías de menor resistencia para su drenaje hacia los colectores. Los túbulos transcanaliculares pueden verse durante las disecciones quirúrgicas del canal como filamentos oblicuos con cierta resistencia a la manipulación (Fig. 3).

Sistema de bomba del canal de Schlemm

El trabeculum y el canal de Schlemm no funcionan como un filtro pasivo por el que pasa el acuoso por simple gradiente de presión. Hay un mecanismo de bombeo activo que hace que el flujo de salida del acuoso sea pulsátil y varíe según el nivel de PIO. La base de este mecanismo está en la movilidad de la

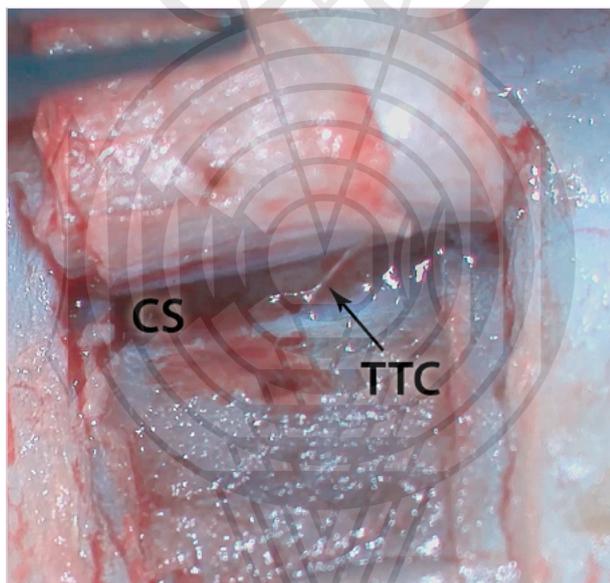


Figura 3: Túbulo transcanalicular (TTC) observado durante la disección quirúrgica del canal de Schlemm (CS). Se aprecia su trayecto oblicuo desde la pared interna del canal hasta la externa, donde se ha tallado el tapete escleral.

pared interna del canal y en el papel de *válvulas acuosas* que podrían tener los túbulos transcanaliculares.

La pared interna del Schlemm y el trabeculum adyacente se desplazan hacia la pared externa cuando aumenta la PIO, incluso ocurre colapso completo del canal a presiones elevadas; en cambio, al bajar la PIO esta pared se desplaza de nuevo hacia la cámara anterior. Tal movimiento de vaivén en respuesta a las fluctuaciones de la PIO es la base mecánica del aparato de bombeo, y el motor de esta bomba no es otro que el propio latido cardíaco, pues la onda de pulso transmitida hasta el globo ocular genera una oscilación sincrónica de la PIO. Así, durante la sístole cardíaca hay un leve aumento de PIO que empuja la pared interna del canal hacia la pared externa y «exprime» el acuoso hacia los colectores, mientras en diástole baja la PIO, la pared interna se desplaza y aumenta la luz del canal, que vuelve a llenarse de acuoso.

Se plantea la hipótesis de que los túbulos transcanaliculares antes descritos sirvan como válvulas acopladas al ciclo de la bomba. De hecho, funcionarían como un doble sistema valvular, con una válvula de entrada del acuoso, representada por el propio túbulo, y una válvula de salida en el opérculo donde se inserta el túbulo. En sístole el desplazamiento hacia fuera de la pared interna estiraría el túbulo (debido a su disposición oblicua en la luz) y así cerraría la entrada de acuoso, a la vez que se abriría el opérculo del colector (válvula de salida) para facilitar la salida del fluido. En diástole, la pared interna vuelve hacia adentro, ello relaja el túbulo transcanalicular y permite el flujo de acuoso por su interior hasta la luz del canal, y el opérculo del colector se cierra para reducir el reflujo de acuoso (Fig. 4).

Esta bomba del Schlemm funciona dentro de los rangos fisiológicos de PIO, pero fallaría en caso de hipertensión mantenida (donde colapsa la luz del canal) o de hipotensión manifiesta (que permite el reflujo de sangre venosa episcleral hasta el canal). Tampoco está del todo estudiado cómo se modifica este mecanismo tras intervenciones quirúrgicas del glaucoma.

Vía de drenaje convencional

El humor acuoso que drena del canal de Schlemm alcanza la circulación general cruzando varios niveles de conducción. El primer nivel corresponde a

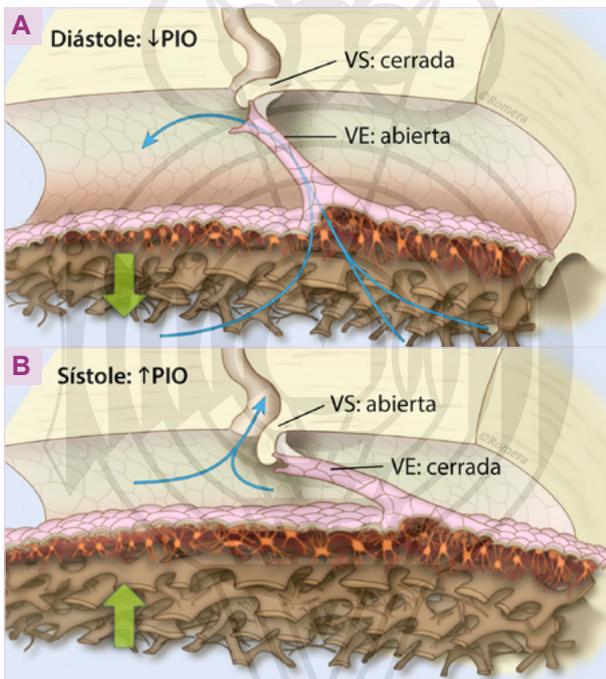


Figura 4: Mecanismo de bombeo en el canal de Schlemm. Se muestra una sección longitudinal del canal, con su pared interna móvil formada por el trabéculo, el tejido yuxtacanalicular y el endotelio interno, y la pared externa, fija, formada por esclera revestida del endotelio externo. La válvula de entrada (VE) está formada por el túbulo transcanalicular, por cuyo interior fluye humor acuoso, y que está anclado a la válvula de salida (VS) en la boca de los colectores. El bombeo del acuoso está vinculado al ciclo cardíaco, de modo que en la diástole (A) hay un leve descenso de PIO que abre la VE y cierra la VS, mientras que en sístole (B) la onda de pulso eleva la PIO y comprime el canal de Schlemm, cerrando la VE y abriendo la de salida.

los conductos colectores, que emergen de la pared externa del canal y desembocan en el plexo intraescleral, una red de canales finos en la esclera profunda que recorre toda la circunferencia del limbo y que drena en las venas episclerales (Fig. 5A). Sin embargo, hasta ocho colectores se comunican directamente con las venas episclerales a través de las venas acuosas (de Ascher). Las venas episclerales son tributarias del sistema de la vena oftálmica superior.

Los colectores son aproximadamente treinta y se ubican en mayor número en el cuadrante nasal inferior. No están todos abiertos simultáneamente, sino que se reclutan en mayor número ante aumentos de PIO. Sin embargo, una elevación significativa de la presión colapsa el canal de Schlemm y bloquea las bocas de los colectores.

Un último elemento vascular que influye en la capacidad de drenaje del acuoso son las anastomosis arteriolovenosas conjuntivales, que conducen parte de la sangre arterial hacia las venas sin pasar por el lecho capilar. Estas anastomosis pueden estar abiertas o cerradas en diverso grado bajo control neurovegetativo. Un exceso de flujo sanguíneo a través de estas anastomosis dificulta el drenaje de acuoso y podría influir en la presión intraocular.

Vía de drenaje no convencional

Una parte del humor acuoso abandona la cámara anterior a través de la inserción anterior del músculo ciliar debido a la ausencia de cobertura endotelial o epitelial de esta estructura. A través del músculo ciliar el humor acuoso llega al espacio supraciliar y supracoroideo, y de allí puede tomar dos vías: la uveoescleral, saliendo a través de la esclera intacta y los vasos que la penetran; o por la vía uveovorticosa, saliendo por los vasos de la coroides para drenar en las venas vorticosas (Fig. 5B).

Iris

Es un disco circular contráctil pigmentado de 12 mm de diámetro y 37 mm de circunferencia. Comprende la porción más anterior de la úvea. Se encuentra suspendido en el plano coronal, rodeado por humor acuoso. Constituye el límite entre cámara anterior y cámara posterior, a las cuales comunica a través de su orificio central, la pupila. Su porción periférica se encuentra unida a la parte media del cuerpo ciliar a través de una fina raíz.

Su estructura presenta cuatro capas, de anterior a posterior son: capa limitante anterior (interrumpida en las criptas), estroma (en el que discurren vasos y nervios, además de encontrarse el esfínter próximo al margen pupilar), epitelio pigmentado anterior (del cual deriva el músculo dilatador y se extiende centralmente hasta el margen del esfínter) y epitelio pigmentado posterior. Esta última capa, fina y muy oscura, puede separarse del resto y quedar intacta si al momento de hacer una iridectomía el corte es muy superficial.

Su irrigación proviene del círculo arterial mayor, que se encuentra en la porción anterior del

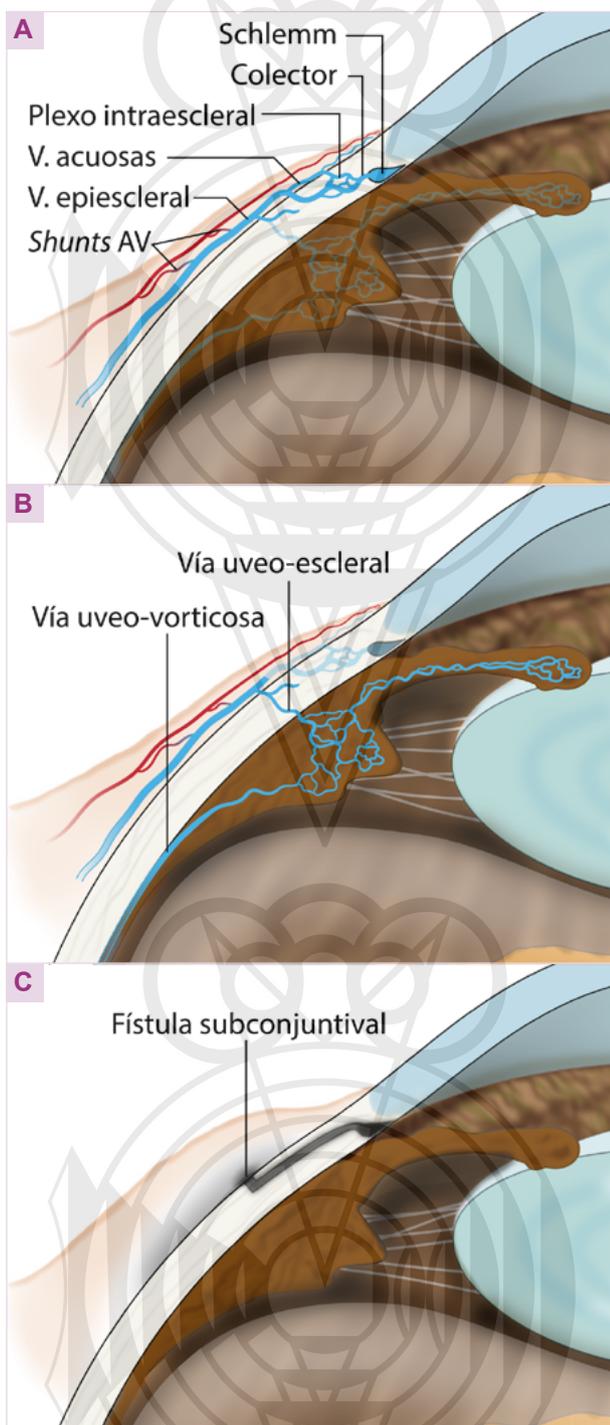


Figura 5: Vías de drenaje del humor acuoso. **A.** Vía convencional o trabecular, donde el acuoso que ha penetrado en el canal de Schlemm lo abandona por los colectores, que drenan hacia el plexo intraescleral y las venas acuosas, hasta llegar a las venas episclerales. **B.** Vía no convencional o uveal, en la que parte del acuoso es absorbido por el estroma uveal y el músculo ciliar, y el drenaje venoso lo conduce a la circulación episcleral (vía uveoescleral) o hacia las venas vorticosas (vía uveovorticosa). **C.** Drenaje subconjuntival, producido por fístulas quirúrgicas o dispositivos de drenaje; el acuoso es reabsorbido por los vasos sanguíneos y linfáticos conjuntivales.

cuerpo ciliar y emite ramas radiales para irrigar el iris hasta el margen pupilar. En el collarete (la porción más gruesa del iris, adyacente al esfínter pupilar) ocurren anastomosis entre las arcadas arteriales y venosas que acaban formando el círculo vascular menor del iris, que es frecuentemente incompleto.

La inervación autonómica iridiana es dual, ya que el músculo dilatador se contrae en respuesta a estimulación adrenérgica alfa-1 y se inhibe con la estimulación colinérgica parasimpática. Asimismo, el músculo del esfínter pupilar se contrae por estimulación muscarínica parasimpática. La inervación sensorial está suplida por ramas de los nervios ciliares largos y cortos, que son ramas del nervio nasociliar (división oftálmica del trigémino).

ANATOMÍA QUIRÚRGICA PARA EL ABORDAJE AB-EXTERNO

Este abordaje se emplea principalmente para técnicas de derivación del humor acuoso al espacio subconjuntival (filtrantes clásicas o dispositivos de drenaje tubo-placa), pero también para cirugías de la vía convencional (p. ej. canaloplastia *ab-externo*), cirugía de la vía uveoescleral (p. ej. *GoldShunt*) y para intervenciones relacionadas con complicaciones de la cirugía filtrante (p. ej. ciclopexia, drenaje coroideo, etc.).

Conjuntiva

La conjuntiva es un tejido fino y transparente compuesto por epitelio escamoso estratificado, no queratinizado, de dos a cinco células de altura con numerosas células caliciformes, que están más concentradas en la porción medial e inferior, pero están ausentes en el limbo. Posee una *substantia propria* muy vascularizada, con vasos linfáticos, células plasmáticas, macrófagos y mastocitos.

El tejido conjuntival recubre el interior de los párpados (conjuntiva tarsal) y en su parte más posterior y alejada del borde libre palpebral se refleja formando un vértice llamado fórnix o fondo de saco, para luego cubrir el globo ocular (conjuntiva bulbar).

La conjuntiva del fórnix es móvil y redundante en condiciones normales. Se entremezcla con elementos fibrosos de la aponeurosis del elevador y el

músculo de Müller en el fondo de saco superior y expansiones fibrosas del recto inferior fusionadas con el músculo tarsal inferior en el fondo de saco inferior. La distancia entre el limbo y el fórnix superior mide 9 mm, mientras que entre el limbo y el fórnix inferior mide 6 mm. Una patología cicatricial extensa y cirugías previas de estrabismo o glaucoma pueden contribuir al acortamiento de los fondos de saco, lo cual puede limitar la movilidad del globo ocular, sobre todo para de introducir el blefarostato.

En la conjuntiva del fórnix superior se encuentran los orificios de salida de las glándulas lagrimales principal y accesorias (Krause y Wolfring), que producen una secreción serosa que no debe ser confundida con humor acuoso procedente de una fuga (Seidel) en cirugías de filtración conjuntival, cuando se ha realizado una disección conjuntival muy extensa.

La conjuntiva bulbar es libre y móvil en condiciones normales, y se encuentra fusionada con la cápsula de Tenon hasta el área perilímbica donde se inserta la Tenon, a 2 mm del margen córneoal. Por delante de esta zona la conjuntiva bulbar recubre sola el limbo.

La irrigación de la conjuntiva bulbar depende de las arterias ciliares anteriores, a través de las arterias conjuntivales anteriores y las arterias conjuntivales posteriores. Las primeras se encargan de irrigar la porción anterior y las segundas irrigan la parte posterior junto con ramas provenientes de la arcada arterial periférica superior del párpado, que también suple la conjuntiva del fórnix. El área de solapamiento de los territorios vasculares se encuentra a 3-4 mm del limbo. La conjuntiva tiene inervación sensitiva de la división oftálmica del trigémino.

Vía de drenaje subconjuntival

Es una vía de drenaje no fisiológica para el humor acuoso. Tras la creación de una fístula desde la cámara anterior, el humor acuoso que accede a este espacio puede tomar varias rutas: filtración a través de la conjuntiva hacia la película lagrimal; absorción por vasos sanguíneos conjuntivales; absorción por vasos linfáticos (que drenan a los ganglios preauriculares y submandibulares); y drenaje a través de las venas episclerales (Fig. 5C).

Cápsula de Tenon, músculos extraoculares y poleas musculares

El globo ocular mantiene su posición en la órbita gracias al cojín de la grasa orbitaria y a un conjunto de ligamentos que forman el aparato suspensorio del globo, que incluye a la cápsula de Tenon, las vainas musculares y sus poleas, los septos intermusculares y los ligamentos o retináculos orbitarios. Estas estructuras enlazan los músculos extraoculares entre sí, con las paredes orbitarias y con los párpados (Fig. 7A).

La cápsula de Tenon es un saco fibroelástico que envuelve el globo ocular. Está compuesta principalmente por fibras de colágeno muy compacto y fibroblastos, pero también presenta macrófagos y mastocitos en el área perilímbica.

La Tenon se extiende desde el limbo (donde se une a la conjuntiva, aunque ésta se inserta un poco más anterior) hasta la vaina del nervio óptico. Su porción más gruesa es la que está en contacto con el ecuador del globo ocular. Los músculos extraoculares que se encuentran por dentro de ella anteriormente la penetran aproximadamente 10 mm por detrás de su inserción en el ojo (ver más adelante) y la dividen en una porción anterior y otra posterior. La Tenon anterior se relaciona con la conjuntiva y la grasa extraconal anterior, mientras que la Tenon posterior se relaciona con la grasa intraconal.

Entre el globo y la cápsula existe el *espacio sub-tenoniano*, donde el ojo se desliza durante sus movimientos. Dentro de este espacio, la cápsula emite unos pliegues alrededor de los músculos rectos: los pliegues falciformes de Guerin (que van de los tendones musculares hasta la cápsula) y las membranas intermusculares (repliegues que van de un músculo recto a otro).

En las cirugías de glaucoma, en especial en las de dispositivos de drenaje, hay que tratar cuidadosamente la cápsula de Tenon y sus estructuras relacionadas, para evitar cicatrices o herniación de grasa que causen síndromes adherenciales orbitarios.

El globo ocular se moviliza gracias a la acción de seis músculos que se encuentran en la órbita: recto superior, recto lateral, recto inferior, recto medial, oblicuo superior y oblicuo inferior. Conocer el origen, trayecto e inserción de estos músculos es importante principalmente para la cirugía con dispositivos de drenaje de tubo-placa, pero también para la realización y revisión de cirugías filtrantes.

Todos los músculos extraoculares que permiten el movimiento del globo ocular se originan en el ápex orbitario, excepto el músculo oblicuo inferior. Este músculo nace en el suelo orbitario, lateral a la apertura del canal nasolagrimal, cruza por debajo del recto inferior, con quien comparte vaina muscular y se inserta en el globo ocular; una disposición que es importante tener en cuenta al momento de colocar dispositivos de tubo placa en cuadrantes inferiores.

Los músculos rectos se insertan en la esclera por delante del ecuador del globo ocular. La línea que une los puntos de inserción de los músculos rectos describe una espiral, conocida como la espiral de Tillaux. El recto superior se inserta 7,7 mm posterior al limbo; el recto lateral a 6,9 mm; el recto inferior a 6,5 mm y el recto medial a 5,5 mm (Fig. 6).

Desde su origen en el anillo de Zinn, una estructura fibrosa en el ápex orbitario, los músculos rectos realizan un trayecto anterior en la órbita, recorriendo 40 a 42 mm hasta su inserción en el globo ocular. En este trayecto, los músculos rectos se encuentran inicialmente fuera de la cápsula, rodeados de grasa orbitaria, y aproximadamente 10 mm por detrás de su inserción escleral penetran la Tenon.

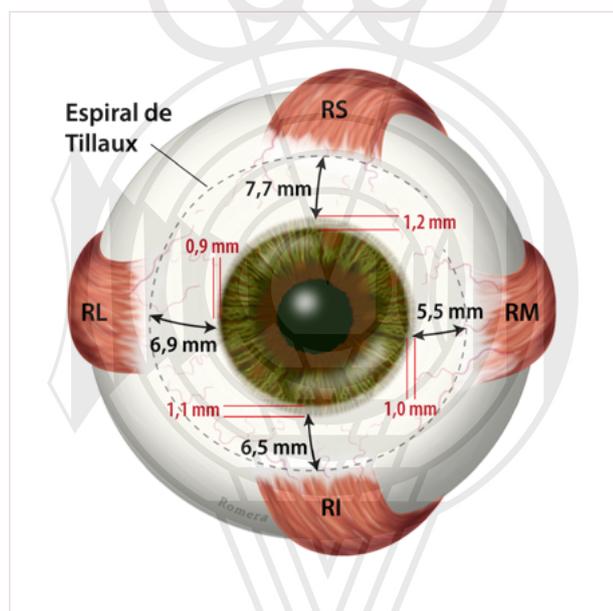


Figura 6: Inserciones de los músculos oculares extrínsecos en relación con el limbo esclero-corneal, siguiendo la espiral de Tillaux. En rojo se muestran los grosores aproximados del limbo en cada cuadrante.

Justo antes de penetrar en la cápsula de Tenon, los músculos rectos están rodeados por una condensación anular de tejido conectivo de la que salen fibras a modo de ligamento hacia las respectivas paredes orbitarias: son las poleas musculares, que funcionan como inserciones funcionales de los músculos rectos. Así, el segmento muscular entre el ápex y la polea no se desplaza dentro de la órbita durante las ducciones oculares, mientras que el segmento entre la polea y la inserción en el globo sí tiene mayor rango de movimiento.

Las poleas de los rectos medial y lateral se anclan a sus respectivas paredes orbitarias y a los tendones cantales palpebrales correspondientes, formando los retináculos medial y lateral de la órbita (Fig. 7B). La polea del recto superior forma un

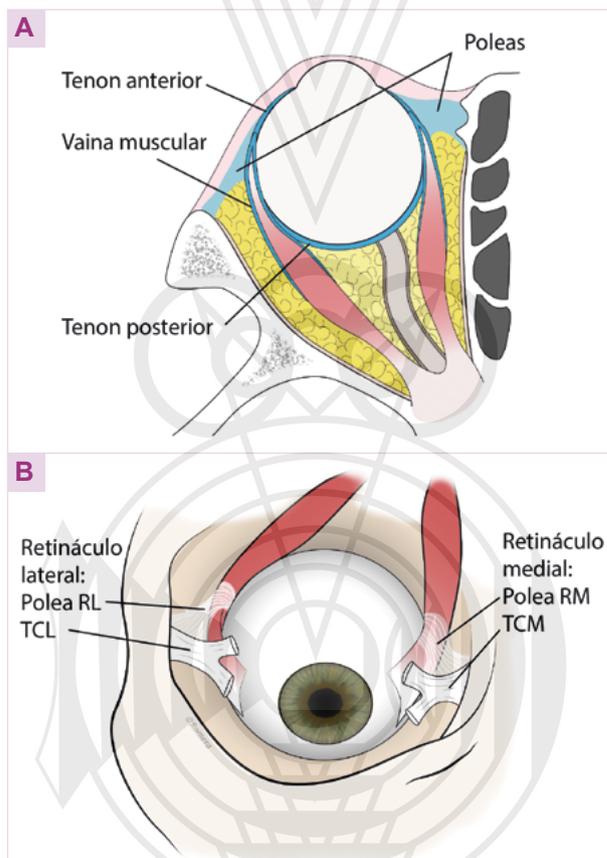


Figura 7: Aparato suspensor del globo ocular. **A.** En azul se muestran las estructuras que lo componen: la cápsula de Tenon, que envuelve el globo y se conecta con las vainas musculares y sus poleas, que emiten expansiones a las paredes orbitarias. **B.** Detalle de los retináculos medial y lateral del globo, formados por la expansión de la polea del músculo recto y el tendón cantal correspondiente. RL: recto lateral, TCL: tendón cantal lateral, RM: recto medial, TCM: tendón cantal medial.

complejo con el tendón reflejo del oblicuo superior, el músculo elevador y el ligamento de Whitnall. La polea del recto inferior se relaciona con la vaina compartida del recto inferior y del oblicuo inferior, el ligamento de Lockwood y la fascia cápsulopalpebral del párpado inferior.

El músculo recto superior está relacionado estrechamente con el músculo elevador del párpado superior, pero su origen e inserción es algo diferente. Este último se inserta por medio de su aponeurosis en el tarso superior, pero su cuerpo se superpone al músculo recto superior durante su trayecto desde el origen en el ala menor del esfenoides, justo por encima del anillo de Zinn.

El oblicuo superior se origina del periostio del cuerpo del esfenoides por encima y por dentro del canal óptico. Este músculo describe un trayecto anterior hacia la tróclea; pasa a través de la polea, justo por detrás del reborde orbitario; y luego cambia de sentido para pasar por debajo del recto superior e insertarse por detrás del centro de rotación del globo ocular. Es importante tener en consideración esta disposición anatómica al momento de aislar el recto superior ya que su abordaje se facilita introduciendo el instrumental por el lado temporal, lo que evita atrapar el oblicuo superior en la maniobra.

El oblicuo inferior se origina en una pequeña depresión de la lámina orbitaria del maxilar, en la porción antero-medial del suelo de la órbita, adyacente a la fosa del saco lagrimal. Desde allí se dirige posterior, lateral y superiormente para insertarse en el cuadrante temporal inferior detrás del centro de rotación del globo ocular, en relación con la mácula.

Los músculos rectos están irrigados por las ramas musculares de la arteria oftálmica, que dan origen a las arterias ciliares anteriores, las cuales atraviesan el vientre del músculo y penetran la esclera por delante de la inserción del músculo. El músculo recto lateral también recibe flujo sanguíneo de la arteria lagrimal; y los músculos recto inferior y oblicuo inferior también reciben irrigación de la arteria infraorbitaria.

La inervación de los músculos extraoculares depende de varios nervios craneales. El nervio oculomotor (III) tiene dos divisiones: la superior, encargada de inervar los músculos recto superior y elevador del párpado; y la inferior, encargada de los músculos recto medial, recto inferior y oblicuo inferior. El nervio troclear (IV) inerva el oblicuo superior y el nervio abducens (VI) inerva el recto lateral.

Limbo

Es la zona de transición entre la córnea periférica y la esclera anterior. Constituye una referencia anatómica de gran importancia para la cirugía de glaucoma ya que bajo ella subyace el receso angular, y en este, estructuras implicadas en el drenaje fisiológico del humor acuoso. Asimismo, es la fuente de células madre corneales.

En el limbo se encuentran las siguientes estructuras: la inserción de la conjuntiva, las empalizadas de Vogt (células madre corneales), epiesclera, la unión del estroma corneo-escleral y la porción inicial del aparato de drenaje del acuoso.

Por convención se diferencian dos conceptos de limbo: 1) el limbo anatómico, definido histológicamente por la finalización de las membranas de Bowman y de Descemet; y 2) el limbo quirúrgico, que es más amplio y contiene al anterior.

El limbo quirúrgico mide 2 mm aproximadamente. Su límite anterior es la terminación de la córnea clara, donde acaba la membrana de Bowman y el epitelio córneo hace transición a epitelio conjuntival. Su límite posterior es el espolón escleral.

A su vez, el limbo quirúrgico se puede dividir en dos partes (Figs. 8 y 9):

- a) «Zona gris o azul»: Se extiende desde la terminación de la córnea clara hasta la línea de Schwalbe (donde acaba la membrana de Descemet), corresponde al limbo anatómico. Aquí se superpone tejido escleral y estroma córneoal, lo que le otorga ese aspecto gris azulado.
- b) «Zona blanca»: Se extiende aproximadamente 1 mm desde la línea de Schwalbe hasta el espolón escleral. Se encuentra sobre la malla trabecular y el canal de Schlemm (ver más detalles en el apartado de cirugía *ab-interno*). Su borde posterior se puede identificar con técnicas de iluminación de dispersión escleral.

La zona azul es algo más amplia en los meridianos verticales que en los horizontales, a saber 1,2 mm superiormente, 1,1 mm inferiormente, 1,0 mm nasalmente y 0,9 mm temporalmente (Fig. 6). Su delimitación puede ser más difícil ante la presencia de gerontoxon, pannus, miopía magna o buftalmos. Además, se deben tener en cuenta los cambios inducidos por cirugías previas, en particular las incisiones corneoesclerales para cirugía de catarata o glaucoma, que pueden distorsionar la anatomía y dificultan la identificación de estructuras, en parti-

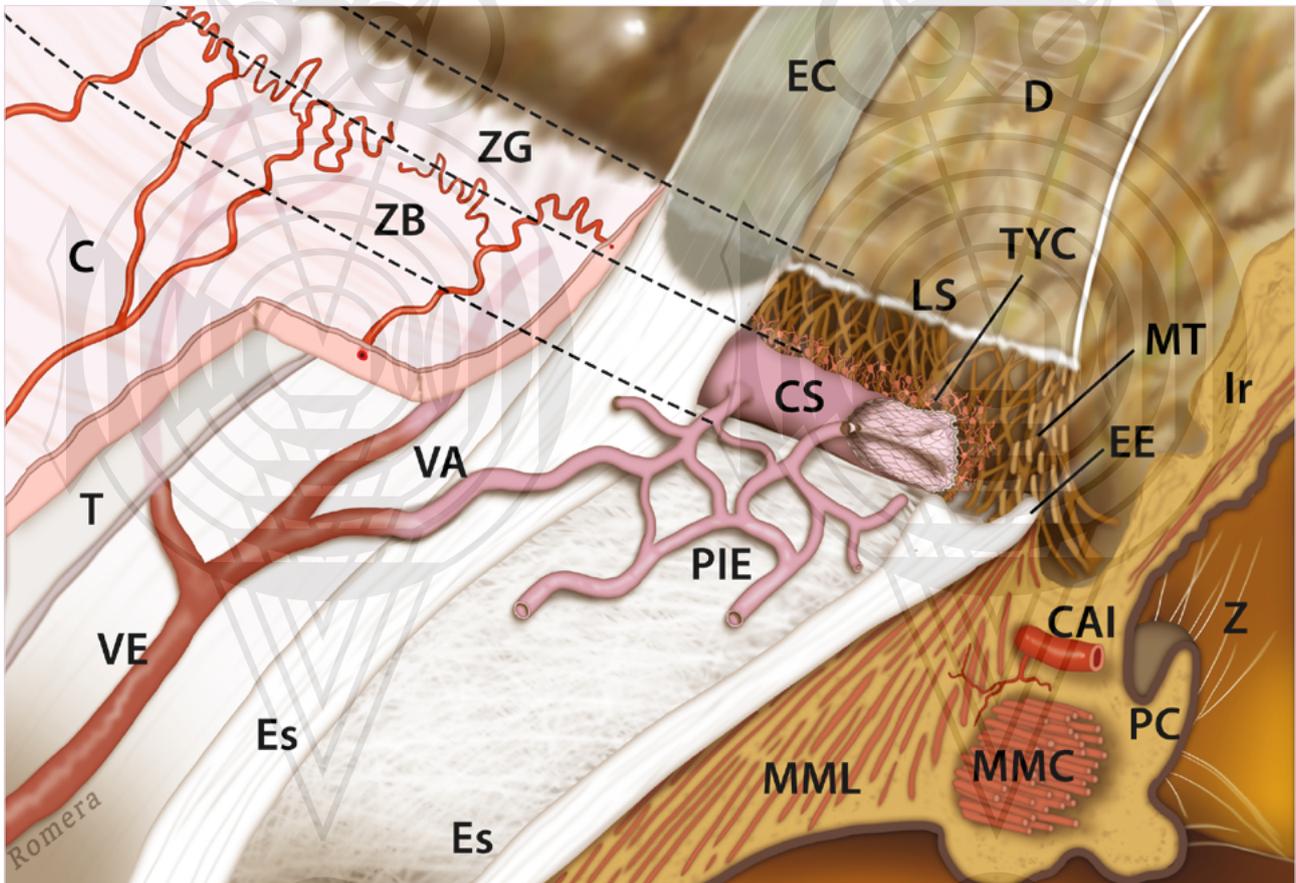


Figura 8: Reconstrucción tridimensional del limbo esclero-corneal para mostrar sus relaciones con las estructuras del ángulo cambrular. ZG: zona gris del limbo, ZB: zona blanca del limbo, C: conjuntiva bulbar, T: cápsula de Tenon, EC: estroma córneo, D: membrana de Descemet, LS: línea de Schwalbe, MT: malla trabecular, TYC: tejido yuxtacanalicular, CS: canal de Schlemm, EE: espolón escleral, Es: esclera (diseccionada en dos niveles para mostrar el ascenso hacia la superficie de los vasos acuosos), PIE: plexo intraescleral, VA: venas acuosas, VE: venas epiesclerales, Ir: iris, CAI: círculo arterial mayor del iris, MMC: músculo ciliar circular, MML: músculo ciliar longitudinal, PC: procesos ciliares, Z: zónula del cristalino.

cular en cirugías que requieren la disección escleral de espesor parcial y la reínscripción conjuntival.

Esclera

Es la capa más externa del globo ocular en algo más del 80 % de su superficie. Está formada por fibroblastos y fibras colágenas tipo I hidratadas que tienen una organización aleatoria, lo que le otorga su color blanco característico. La disposición relativamente desorganizada de las fibras esclerales cambia en la proximidad del canal de Schlemm, adoptando una disposición más paralela, lo cual va a constituir el espolón escleral, una estructura que puede reconocerse durante la disección por su coloración nacarada y el cambio de aspecto de las fibras esclerales antes mencionado (Fig. 9).

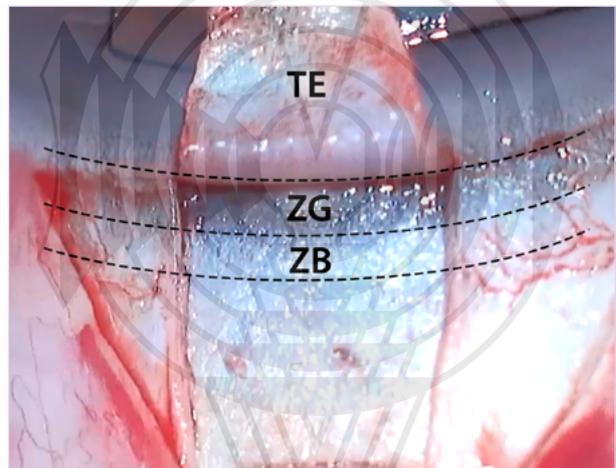


Figura 9: Disección quirúrgica del limbo. Tras levantar el tapete escleral (TE) se observan las bandas correspondientes a la zona gris (ZG), en relación con estroma córneo y Descemet, y la zona blanca (ZB), en relación con el trabéculo y el canal de Schlemm.

Por delante de la inserción de los músculos rectos, la epiesclera es un tejido conectivo vascularizado que se fusiona por encima con el complejo Tenon-conjuntiva y por debajo con la esclera superficial. Los vasos epiesclerales discurren por este tejido conformando dos plexos: uno superficial y uno profundo. El plexo superficial discurre de forma radial justo por debajo de la cápsula de Tenon y el plexo profundo descansa sobre la superficie de la esclera.

El estroma escleral es esencialmente avascular, excepto por los vasos del plexo vascular intraescleral, que están situados adyacentes al limbo. Aparte de este plexo, la esclera presenta varios canales (*emissaria*) que la penetran por delante de los músculos rectos para permitir la entrada hacia la úvea de las arterias ciliares anteriores (dos por cada músculo recto, excepto el recto lateral, del que solo se origina una), para luego anastomosarse con las arterias ciliares posteriores largas en el círculo arterial mayor y así contribuir a la irrigación del segmento anterior.

El grosor escleral varía según la edad, raza, longitud axial ocular, cirugías previas y antecedentes de patología inflamatoria escleral, entre otros. Cabe destacar que su mínimo está justo detrás de la inserción de los músculos rectos (cerca de 300 μm) y su máximo en el polo posterior (860 \pm 260 μm). El área suprayacente a la *ora serrata* tiene un grosor medio de 420 \pm 130 μm y aumenta progresivamente hacia el limbo donde tiene un grosor de 500 \pm 100 μm .

La capa más interna de la esclera se llama lámina fusca. Esta se mezcla de manera imperceptible con la lamela supraciliar y supracoroidea de la úvea delimitando los espacios virtuales supraciliar y supracoroideo. Se puede acceder al espacio supraciliar mediante una incisión justo por detrás del espolón escleral. El espacio supracoroideo puede llenarse de suero o sangre en condiciones patológicas como la hipotonía o la hemorragia coroidea.

La úvea está unida firmemente a la esclera solo en tres áreas: el espolón escleral, los puntos de salida de las venas vorticosas y el nervio óptico. Es por esta disposición por lo que los desprendimientos coroideos tienen esa característica forma en domo anterior.

Posterior al limbo, cuyas relaciones con estructuras profundas ya fueron descritas previamente, la esclera presenta relación con el cuerpo ciliar y la coroides.

Cuerpo ciliar

Es un anillo de unos 6 mm de ancho que se extiende desde el espolón escleral anteriormente hasta la *ora serrata* posteriormente. Tiene aspecto triangular en el corte trasversal.

En la porción más ventral del cuerpo ciliar (2 mm anteriores) se encuentra la *pars plicata*, una zona muy vascularizada en la que se distinguen las siguientes estructuras de superficial a profundo (Fig. 8):

- Las fibras longitudinales del músculo ciliar, que se insertan en el espolón anteriormente y en la lamela supracoroidea cerca del ecuador posteriormente.
- Las fibras oblicuas o radiales del músculo ciliar.
- Las fibras circulares del músculo ciliar, las más anteriores y cercanas al cristalino.
- Los procesos ciliares (70-80), entre los que se insertan las fibras zonulares.

Posteriormente se encuentra la *pars plana*, una porción pigmentada, relativamente avascular que se extiende por unos 4 mm desde los límites posteriores de los procesos ciliares hasta la *ora serrata* y la coroides. Representa la zona más segura para acceder a la cámara vítrea.

Por detrás de la *pars plana*, se encuentra la coroides, la capa vascular de la parte posterior del ojo. Tiene un grosor variable entre 100 y 250 μm . Entre la coroides y la esclera se delimita un espacio virtual con consideraciones clínico-quirúrgicas importantes mencionadas previamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ansari MW, Nadeem A. Atlas of Ocular Anatomy. USA; Springer; 2016.
2. Arciniegas Perasso CA, Duch Tuesta S, Romera M. Anatomía en la cirugía microincisional para el glaucoma. En: Lavín Dapena C, Alcocer Yuste P (editores). Cirugía microincisional del glaucoma. Mesa Redonda 92 Congreso de la Sociedad Española de Oftalmología; 2016. p. 37-46.
3. Brar VS, Couser NL, Singh Dhalla M, Goldman DJ, Kang KB, Richards NQ, Singh JK. Fundamentals and Principles of Ophthalmology. Basic and Clinical Science Course 2023-2024. American Academy of Ophthalmology. 2023.
4. Buffault, J., Labbé, A., Hamard, P., Brignole-Baudouin, F., & Baudouin, C. The trabecular meshwork: Structure, function and clinical implications. A review of the literature The trabecular mesh-work: Structure, function and clinical implications. A review of the literature. *Journal Français d'Ophthalmologie*, 2020(7), 217-230.

5. Carreon, T., van der Merwe, E., Fellman, R. L., Johnstone, M., & Bhattacharya, S. K. Aqueous outflow - A continuum from trabecular meshwork to episcleral veins. *Progress in Retinal and Eye Research*, 2017;57, 108-133.
6. Fleischmann D, Berdahl J. Surgical anatomy. En: Kahook, MY (editor). *Essentials of glaucoma surgery*. Thorofare (NJ): SLACK Incorporated; 2012. p. 11-22.
7. Forrester JV, Dick AD, McMenamim PG, Roberts F, Pearlman E. *The Eye – Basic Sciences in Practice*. 5th ed. UK: Elsevier; 2021.
8. Huang, A. S., Francis, B. A., & Weinreb, R. N. (2017). Structural and functional imaging of aqueous humour outflow: a review. *Clinical & Experimental Ophthalmology*.
9. Johnstone, M. A. The aqueous outflow system as a mechanical pump: Evidence from examination of tissue and aqueous movement in human and non-human primates. *Journal of Glaucoma*, 2004; 13(5), 421-438.
10. Khurana AK, Khurana I. *Anatomy and Physiology of Eye*. 2nd ed. India; CBS Publishers & Distributors Pvt. Ltd; 2015.
11. Kizhatil, K., Ryan, M., Marchant, J. K., Henrich, S., & John, S. W. M. Schlemm's Canal Is a Unique Vessel with a Combination of Blood Vascular and Lymphatic Phenotypes that Forms by a Novel Developmental Process. *PLoS Biology*, 2014; 12(7), 1-22.
12. Martin, E. A., & Johnstone, M. A. A Novel Technique Identifies Valve-Like Pathways Entering and Exiting Schlemm's Canal in Macaca nemestrina Primates With Similarities to Human Pathways. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 2022; 10.
13. SooHoo JR, Kahook MY, Seibold LK. Anatomy and Wound-Healing Considerations for MIGS. En Kahook MY (editor). *MIGS: advances in glaucoma surgery*. Thorofare (NJ): SLACK Incorporated; 2014. p. 17-25.
14. Vila-Arteaga J, Vila Mascarell E. *Anatomía del Ángulo*. En: Vila-Arteaga J (editor). *Atlas fotográfico de gonioscopia*. Barcelona: Ed. Glosa; 2013. p. 19-29.