

55
24

**MANUAL DE LA ANATOMÍA Y LA FISIOLÓGÍA
DEL OJO Y SUS ÓRGANOS ANEXOS EN EL PERRO
Y EL GATO: ESTUDIO RECAPITULATIVO
1980 A 1996**

258115

Tesis presentada ante la
División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

de la

Universidad Nacional Autónoma de México
para la obtención del título de
Médico Veterinario Zootecnista

por

Edmundo Romero García

Asesor: M. V. Z. José Luis Guerrero Arellano

México D.F. 1998.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A mis padres:

Mary y Enrique.

Por fin hemos llegado a la culminación de este esfuerzo. Digo "hemos" porque ustedes lo han iniciado y me a tocado a mí concluirlo. Gracias por haberme dado esta oportunidad.

A mis hermanos:

Guadalupe y Enrique.

Ustedes ya lo lograron, ahora me toca a mí...

Francisco, Luz María y Valeria.

Ustedes siguen...

A mi tía Elia y a Rosalía:

Gracias por el cariño y el apoyo que me han brindado en todo momento.

A mi abuela Luz.

A mi abuela Simo.

A aquellas personas que me han otorgado su apoyo, experiencia y amistad, alimentando mi vida profesional y personal:

Laura de Yta.

José Luis Guerrero.

Manuel Macouzet.

Y especialmente a Lupita.

A mis compañeros en la carrera con quienes recorrí paso a paso este camino:

Beatriz.

Rosario.

Bety.

Susana.

Edgar.

A mis amigos y compañeros de la Escuela de Iniciación Artística y de la Casa del Lago.

Una dedicatoria y un recuerdo especial a Cecilia Romero.

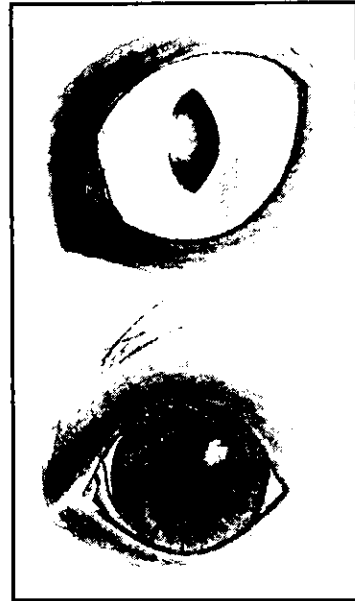
CONTENIDO

• RESUMEN.....	1
• INTRODUCCIÓN.....	2
• CAPÍTULO 1. EMBRIOLOGÍA OCULAR.....	5
• CAPÍTULO 2. PÁRPADOS.....	29
• CAPÍTULO 3. ÓRBITA Y MÚSCULOS EXTRAOCULARES.....	41
• CAPÍTULO 4. CONJUNTIVA.....	58
• CAPÍTULO 5. APARATO LAGRIMAL.....	64
• CAPÍTULO 6. TERCER PÁRPADO.....	71
• CAPÍTULO 7. CÓRNEA Y ESCLERA.....	76
• CAPÍTULO 8. ÚVEA.....	93
• CAPÍTULO 9. LENTE.....	132
• CAPÍTULO 10. CUERPO VÍTREO.....	155
• CAPÍTULO 11. RETINA Y NERVIO ÓPTICO.....	161
• APÉNDICE.....	190
• LITERATURA CITADA.....	197

RESUMEN

ROMERO GARCÍA, EDMUNDO. Manual de la anatomía y la fisiología del ojo y sus órganos anexos en el perro y el gato: Estudio recapitulativo 1980 a 1996 (bajo la dirección de José Luis Guerrero Arellano).

Se realizó una revisión de artículos referentes a la anatomía y la fisiología del ojo del perro y del gato aparecidos en libros y revistas editados entre los años 1980 y 1996 en los idiomas inglés, francés y español. El manual contiene información e ilustraciones de la anatomía macro y microscópica de las principales estructuras oculares del perro y del gato para contribuir con los médicos veterinarios y estudiantes interesados en el estudio de la oftalmología veterinaria.



Introducción

La oftalmología es la rama de la medicina que estudia al órgano de la visión, el ojo, y sus enfermedades. La oftalmología veterinaria es de particular relevancia debido a que toca muchas de las áreas relacionadas con la medicina general. Después de todo, es en el ojo de los animales en donde se realiza la investigación dirigida a la oftalmología humana (4).

Dentro de la práctica clínico veterinaria, el examen del ojo debe formar parte de la rutina realizada para llegar al diagnóstico de las enfermedades sistémicas, así como de aquellos padecimientos que se presentan en este órgano (4, 26).

Los avances y la diversidad de los conocimientos en la práctica de la medicina actual son muy amplios para un profesional. Sin embargo, todos los médicos veterinarios practicantes de la clínica, deben conocer las bases de la medicina oftalmológica, sobre todo las referentes a la anatomía y la fisiología del órgano visual. Con este conocimiento, es posible establecer un diagnóstico y un tratamiento adecuado, evitando cometer algún error en el manejo del problema en el paciente, conservando de esta manera la funcionalidad del ojo, órgano de suma importancia para su desenvolvimiento en el medio que lo rodea (4).

Se ha observado que de las afecciones clínicas generales que se presentan a consulta, cerca de un 12 a 20% están relacionadas en forma directa con el ojo o con sus órganos anexos y que las anomalías oculares representan el 15% de todos los defectos congénitos del perro y el 9% de los gatos (29, 47).

La necesidad de conservar sanos y funcionales los ojos de los pacientes, cuando presentan cualquier patología en la que se encuentran involucrados, ya sea de manera directa o indirecta, debe ser considerada de suma importancia (4) y el

conocimiento de las estructuras anatómicas del ojo, así como de su fisiología, es una base indispensable para el acertado diagnóstico de las enfermedades oculares.

En la práctica médica veterinaria general, la obtención de la historia perteneciente a las enfermedades oculares del paciente está limitada a los datos que nos proporcionan los propietarios de las mascotas. A pesar de ello, la mayoría de los diagnósticos en el ojo son anatómicos (48) y se basan en la inspección visual directa. En este examen se realiza una comparación del estado patológico observado, con el estado normal de las estructuras visuales visibles, del cual se debe tener un conocimiento previo. Mediante esta comparación anatómica y con la comprensión de las bases de la fisiología del ojo, se puede inferir el posible diagnóstico y determinar el tratamiento a seguir y su pronóstico.

Las anomalías que se llegan a observar durante el examen clínico del ojo son muy variadas. Por enumerar algunas, podemos mencionar la presencia de un constante lagrimeo (epífora) e hiperemia conjuntival y episcleral. A partir de estos hallazgos, y manejando el conocimiento de la anatomía y la fisiología normales del ojo, se debe realizar una observación más profunda y encontrar nuevos datos que permitan establecer un diagnóstico y un tratamiento adecuado para el problema presentado. Por ejemplo, al efectuar la revisión de manera más detallada, es posible encontrar opacidad y formación de vasos sanguíneos en la córnea que, en su estado normal es transparente y avascular. A través de las técnicas de tinción se encontraría, o no, la formación de una úlcera, causada quizá por un borde palpebral dirigido hacia el ojo (entropión), o porque una o más pestañas, en posición anormal, se dirigen hacia la córnea (triquiasis y distiquiasis) lacerándola o, entre otras posibles causas, por la presencia de un cuerpo extraño, que también es capaz de originar el problema. Para tratar esta lesión en la córnea, se procura la lubricación de su superficie para evitar que continúe su deterioro, se aplican antibióticos de amplio espectro para prevenir o controlar una posible infección en la córnea dañada o, dependiendo del grado de ulceración, la realización quirúrgica de colgajos conjuntivales para favorecer la cicatrización más rápida de la córnea, ya que por su condición avascular, su reparación por la vía natural sería prolongada. Si la causa del problema es la presencia de entropión, se buscará colocar el párpado en su posición normal por medio de la cirugía. En el caso de la triquiasis y la distiquiasis, se realiza la resección de la o las pestañas anormales para evitar que sigan dañando el epitelio corneal (4, 26, 29, 31, 70, 72).

Una cirugía que se realizaba con frecuencia, era la resección de la glándula del tercer párpado cuando se encontraba prolapsada. Con el paso del tiempo, varios de los animales tratados de esta manera, llegaban a presentar un cuadro de queratoconjuntivitis seca debido a la deficiencia en la producción de la lágrima, ya que no se tomaba en cuenta que esta glándula produce parte de la película lagrimal precorneal, la cual protege a la córnea del medio externo. En la actualidad, este procedimiento no se lleva a cabo y se busca colocar la glándula en su posición normal por medio de procedimientos quirúrgicos (70).

Otra patología ocular, en la que al inicio se puede encontrar hiperemia conjuntival y episcleral (sobre todo esta última, por lo que es importante saber diferenciarlas), además de epífora, es el glaucoma. El glaucoma se define como la elevación de la presión intraocular (PIO), causada por una ineficiencia en el drenaje del humor acuoso producido por el cuerpo ciliar. Además de los signos citados, es

posible observar edema corneal, dilatación de la pupila, aumento del tamaño del globo ocular y, cuando el problema es crónico, se presenta opacidad del lente. En algunas ocasiones se asocia a luxación o subluxación lenticular. Por medio de la gonioscopia, técnica que utiliza lentes especiales que se unen a la córnea, se observa el estado del ángulo iridocorneal, sitio en el que se encuentran las estructuras por las cuales drena el humor acuoso al sistema venoso central para mantener la PIO adecuada para el funcionamiento normal del ojo. Con esto se puede determinar si el ángulo es abierto o estrecho, o si está obstruido por restos mesodérmicos, además de poder observar si se encuentran cuerpos extraños, tumores o exudados inflamatorios. En el glaucoma crónico también se pueden encontrar cambios en el fondo del ojo, como el acopamiento del disco óptico y el adelgazamiento o la pérdida de los vasos retinales. A partir de estas observaciones, y comprendiendo que la elevación de la PIO es producida por el exceso de humor acuoso dentro del globo ocular, debido a su drenaje deficiente, dentro de su tratamiento se buscará reducir la presión por medio de diuréticos como el manitol (en el caso del glaucoma agudo), que disminuye la tensión en forma rápida pero temporal, también con inhibidores de la anhidrasa carbónica, enzima asociada con la síntesis del humor acuoso, y que por lo tanto, reducen su producción, o por técnicas quirúrgicas que favorezcan el drenaje del humor acuoso formado, como la iridectomía, u otras que reduzcan su producción como la ciclocrioterapia, que al causar necrosis en el cuerpo ciliar provoca la hipoproducción de este líquido (4, 21, 26 31, 70).

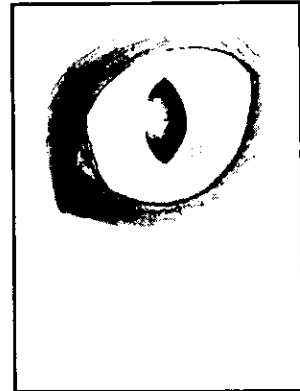
A través de estos ejemplos se quiere enfatizar la importancia del conocimiento y la comprensión de la anatomía y la fisiología ocular normal. En el examen clínico se identifican los signos anormales, conjuntándose incluso con aquellos signos no observados en el ojo, y se establece el diagnóstico de la patología presente en el paciente para prescribir su tratamiento, ya sea médico o quirúrgico, siendo en este último de obvia importancia el conocimiento de la anatomía para su realización, y tener éxito en el tratamiento de los pacientes presentados a consulta.

El objetivo de este trabajo es el de presentar una fuente bibliográfica en la que se conjunte información relacionada con la anatomía y la fisiología normal del ojo, ya que la mayoría de esta información se encuentra dispersa en libros y revistas referentes a la oftalmología veterinaria, lo que dificulta su estudio a los médicos ocupados en la práctica clínica o a los estudiantes interesados en el tema.

PROCEDIMIENTO.

Se realizó una recopilación y revisión de la información referente al tema de la anatomía y la fisiología ocular del perro y del gato, que se obtuvo en bibliotecas, hemerotecas y bancos de información. Los capítulos están divididos de acuerdo a las estructuras más importantes de globo ocular, presentándose en cada uno de ellos textos en los que se explica la histología, la anatomía y la fisiología cada estructura, así de cómo aquellas partes que la componen. Se presentan además, diversos esquemas que facilitan la comprensión de la localización, el funcionamiento y la interrelación entre cada una de las estructuras mencionadas.

CAPÍTULO 1



Embriología ocular

DESARROLLO GENERAL

La etapa prenatal se ha dividido en tres periodos:

1. Periodo del huevo. Ocurre del día 2 al 17 posterior a la fecundación y se caracteriza por la división celular del huevo, la formación de la mórula y después del blastocisto. Este último se encuentra libre en el tubo uterino para migrar al útero (fig. 1-1).
2. Periodo embrionario. Ocurre del día 19 al 35. Comienza con la implantación del blastocisto y termina con la completa organogénesis principal.
3. Periodo fetal. Del día 35 al nacimiento. En esta etapa el animal adquiere su aspecto característico, además de presentar la mayor parte de su crecimiento dentro del útero.

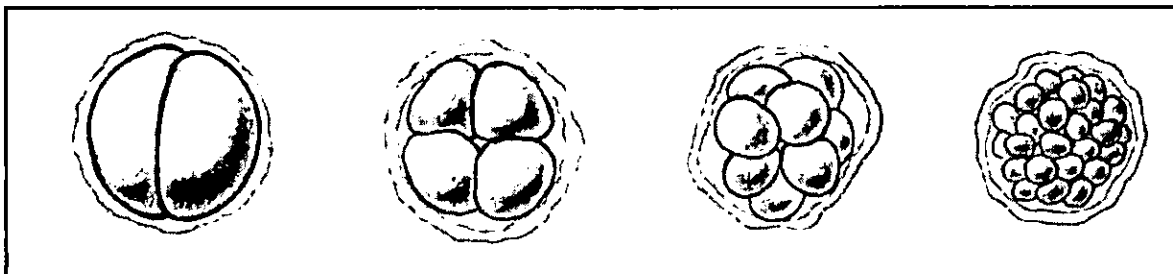


Figura 1-1. División celular del huevo y formación de la mórula entre los días 1 y 5 gestacionales (45).

Los estados sucesivos desde la división del huevo, la gastrulación, la implantación y la formación del somita primario, se completan antes del día 20 gestacional.

La fertilización ocurre en el oviducto. El cigoto (oocito fertilizado) se divide a las pocas horas, llegando al estado de mórula e iniciando su migración. Ya en el útero, la mórula se transforma al estado de blastocisto, que tiene la forma de una esfera hueca con una masa celular interna y una delgada superficie trofoblástica rodeada por la zona pelúcida. Las células trofoblásticas inician la formación de la placenta y elaboran enzimas que erosionan los tejidos maternos, formando la placenta zonal endoteliochorial.

Posterior a la formación del blastocisto, se inicia la etapa de gastrulación en la que se diferencian los estratos celulares que darán origen a los distintos órganos (fig. 1-2). Las capas formadas son (fig. 1-3):

- a) Ectodermo. Dará origen a la epidermis, al sistema nervioso y a una porción de los ojos, el aparato auditivo y el aparato olfativo.
- b) Mesodermo. Originará los músculos, el corazón, los vasos sanguíneos y el esqueleto.
- c) Endodermo. Formará la mayor parte del aparato digestivo y respiratorio.

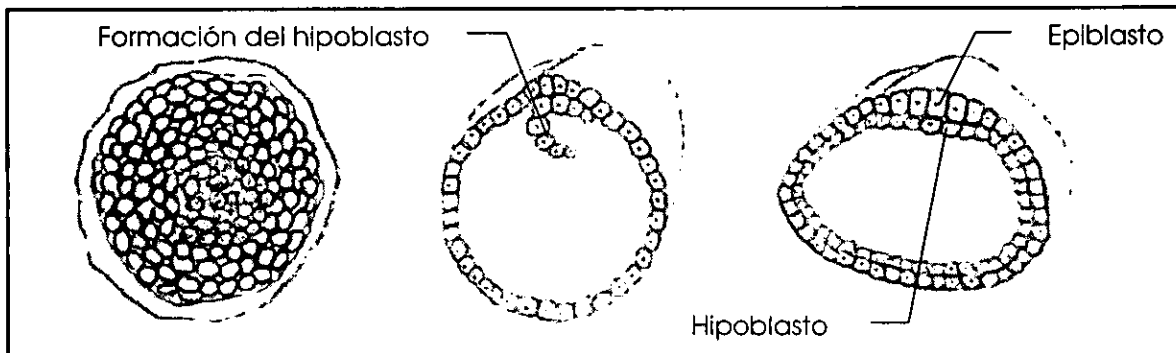


Figura 1-2. Blástula y formación de las capas embrionarias entre el día 9 y 10 gestacional (45).

El embrión se desarrolla en una secuencia cefalocaudal, comenzando con los pliegues de la cabeza y el cierre del tubo neural, para continuar con la formación del somita primario, las hendiduras branquiales, la plácoda del lente, la plácoda del oído, el abultamiento cardíaco y el brote de los miembros (20).

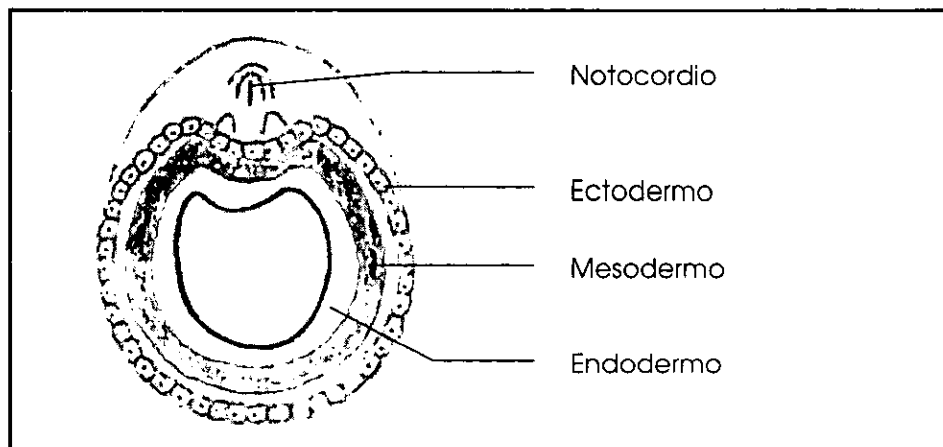


Figura 1-3. Capas embrionarias (45).

El proceso del desarrollo embrionario se divide en tres etapas:

1. Embriogénesis. Este periodo inicia con la fecundación y finaliza con la diferenciación de los estratos germinales primarios del embrión.
2. Organogénesis. Se produce la separación en el patrón general de los distintos órganos.
3. Diferenciación. Se desarrolla la estructura característica de cada órgano de una manera más detallada (70).

El desarrollo del ojo del perro y del gato es muy similar al del ser humano, la principal diferencia es el tiempo en el que ocurren los distintos eventos de la formación de su estructura. Cerca del fin del primer tercio de la gestación, el ojo se encuentra en su más temprano estado de desarrollo. En el término, aunque con una talla pequeña, el ojo del feto está desarrollado casi en su totalidad (3).

El primordio del ojo emerge de la porción del embrión que más tarde dará forma a la parte anterior del sistema nervioso central (fig. 1-4). El ojo evoluciona a partir del neuroectodermo, superficie ectodérmica y mesodermo. Las estructuras oculares se diferencian del resto del embrión en el estadio de lámina embrionaria. El sitio del futuro ojo está indicado por áreas aplanadas sobre el extremo anterior de la ranura neural. Esta fisura se profundiza, hundiéndose en el mesodermo y desprendiéndose de la superficie ectodérmica superyacente para formar el tubo neural a partir del cual se desarrolla el sistema nervioso central. Antes que el extremo anterior del tubo neural cierre, se forman unos hoyos diminutos, los surcos ópticos, en el ectodermo neural (fig. 1-5) (70).

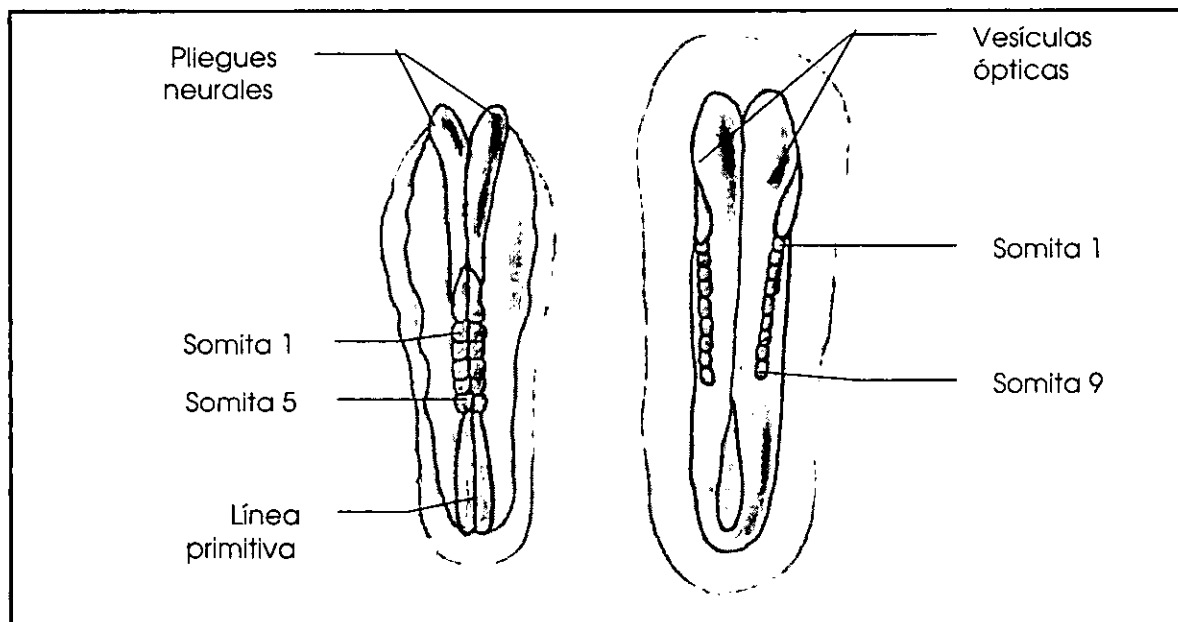


Figura 1-4. Estadios de somita 5 y somita 9 en los que se muestra el lugar dentro del cual se forman las vesículas ópticas (45).

Los surcos ópticos son la primera indicación de la formación del ojo y se localizan en el pliegue neural rostral del notocordio en cada lado. El neuroectodermo que rodea estos surcos prolifera hacia rostralateral y se forma un abolsamiento hueco a cada lado del prosencéfalo, estas evaginaciones son las vesículas ópticas. Las vesículas ópticas quedan unidas al prosencéfalo por medio del tallo óptico, el cual tiene un crecimiento lento. Cada vesícula crece hacia el exterior y la superficie caudal (futura temporal) se contacta con el mesénquima mesodermal, el resto de esta superficie se rodea por la superficie ectodérmica. Las células migrantes de la cresta neural contribuyen a formar a la vesícula y a futuros tejidos orbitales (fig. 1-6).

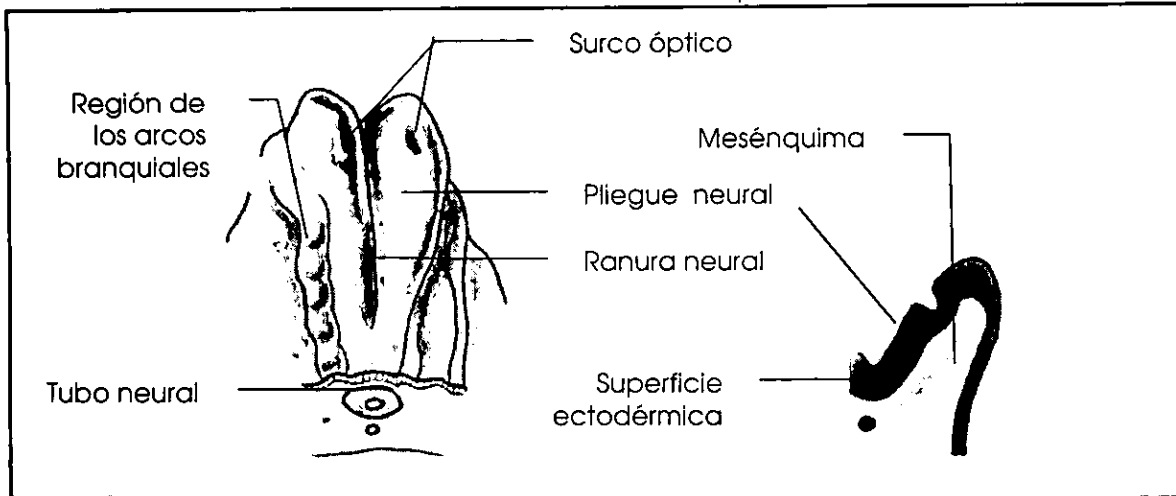


Figura 1-5. Imagen dorsal del extremo craneal de un embrión de cerca de 15 días de gestación en la que se muestra la primera indicación del desarrollo ocular embrionario. Sección transversa a nivel del surco óptico (70).

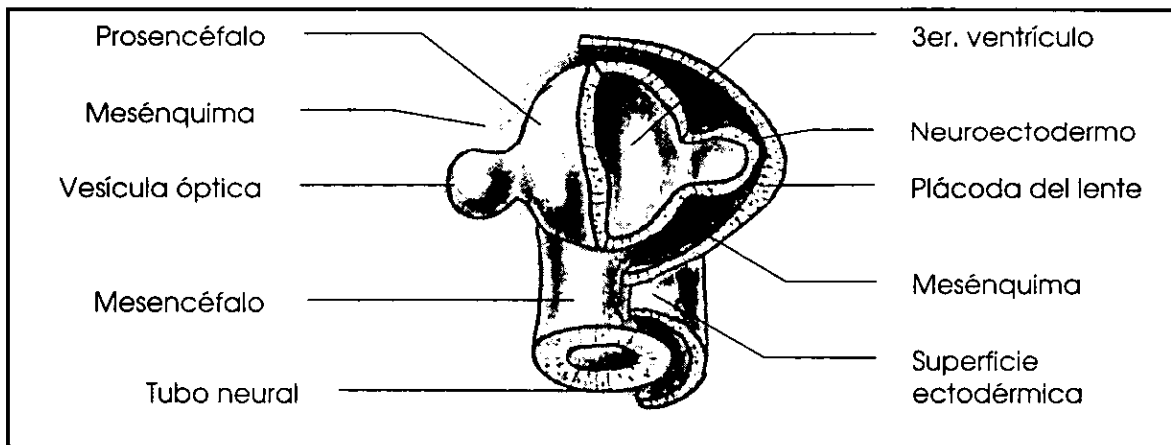


Figura 1-6. Esquema del prosencéfalo, donde se muestra la localización de la vesícula óptica y las estructuras adyacentes en un embrión de 15 a 17 días (53, 70).

La vesícula óptica induce a la superficie ectodérmica que la recubre a engrosarse y a invaginarse contra ella. El engrosamiento de la superficie ectodérmica sobre las vesículas ópticas forma la plácoda del lente. La inducción de la plácoda y de la vesícula, está basada en la interacción de las fibronectinas de la membrana basal de la vesícula óptica con las proteínas de la membrana basal del epitelio del lente cuando las dos entran en contacto (fig. 1-7). Esta actividad cambia la conformación de la vesícula óptica, que de presentar una capa simple de células, se transforma en una estructura con forma de copa que posee una doble capa celular. A esta nueva estructura se le llama copa óptica.

La invaginación que forma a la copa óptica es exagerada en el borde ventral debido a un crecimiento desigual, esto provoca una muesca en esta porción. La muesca o invaginación, continua por toda la superficie ventral del tallo óptico y forma una ranura a lo largo de éste. Esta ranura ventral se comunica con la cavidad de la

copa óptica. La ranura y la muesca en la copa óptica (las cuales son continuas), juntas son llamadas fisura óptica. La fisura óptica es el meridiano ventral a lo largo del cual, los pliegues lateral y medial de la copa óptica se unen y se funden. El mesodermo penetra en esta fisura y genera el sistema vascular hialoideo. La fisura óptica comienza a cerrarse de manera gradual, con la fusión de sus bordes poco después de que la copa óptica está formada. Mientras está abierta, la fisura permite a una rama de la arteria coroidal (además de algo de mesénquima) pasar a través y en el interior de la cavidad de la copa óptica. Esta arteria, la arteria hialoidea, corre hacia la parte anterior de la copa óptica, donde invierte la superficie caudal del lente en desarrollo (fig. 1-8 a 1-11). El cierre de la fisura es muy importante en la organización del desarrollo, y la demora o falla puede tener un profundo efecto en el desarrollo normal del ojo. La fusión incompleta origina el defecto de una o más túnicas del ojo (coloboma).

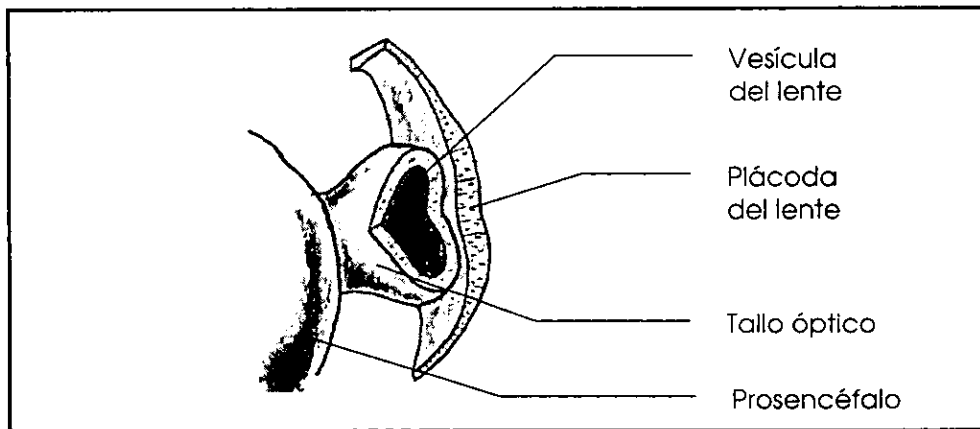


Figura 1-7. La vesícula óptica induce a la formación de la plácoda del lente y comienza a invaginarse (45, 53, 70).

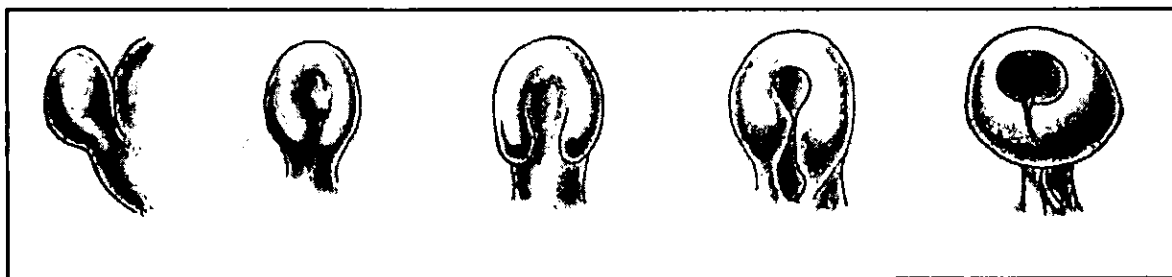


Figura 1-8. Invaginación de la vesícula óptica mediante la formación de la fisura embrionaria para formar la copa óptica. En el último esquema se observa el ingreso de la arteria hialoidea en la extremidad proximal de la fisura (70).

Como se ha descrito, la base de la copa óptica está dirigida hacia el prosencéfalo, uniéndose a éste por el estrecho y hueco tallo óptico. Su reducido grosor se debe a que no se expande de manera tan amplia, ni tan rápida como la copa y la vesícula ópticas. El lente se desarrolla y se sitúa en la abertura final de la copa óptica ocluyéndola.

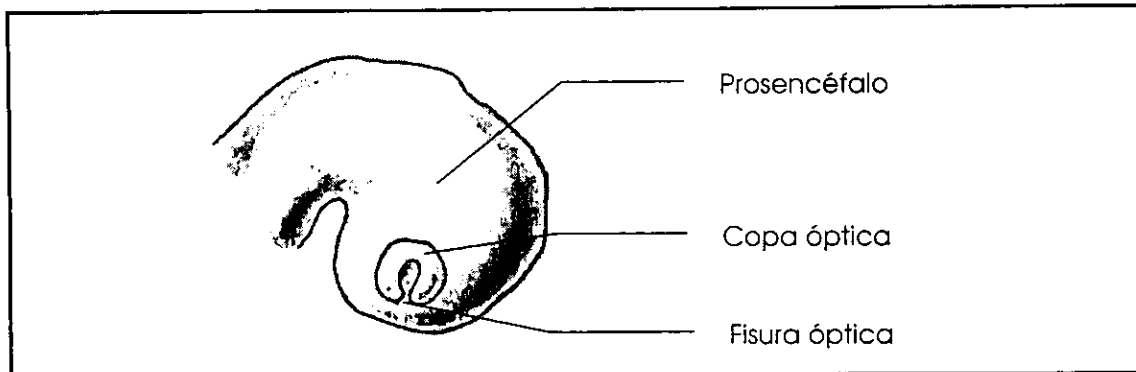


Figura 1-9. Imagen lateral del cerebro de un embrión de 17 a 19 días donde se observa el aspecto externo de la copa óptica (70).

En este estadio del desarrollo, se ha determinado la estructura general del ojo. La abertura de la copa óptica, donde el lente se forma, define la futura pupila del ojo. El iris se formará en el área del borde de la copa. En el área detrás de este borde se desarrollará el cuerpo ciliar.

El remanente de la pared de la copa óptica forma la retina, las capas externa e interna forman las partes pigmentada y neural de la retina cada una. El tallo óptico sirve como una vía para los axones, originados en la retina neural para crecer y conectarse en el prosencéfalo, marcando la posición del nervio óptico. En este momento, la fisura óptica no se ha cerrado por completo. La cavidad detrás del lente, que comprende la mayor parte del volumen de la cavidad de la copa óptica, será la cámara vítrea.

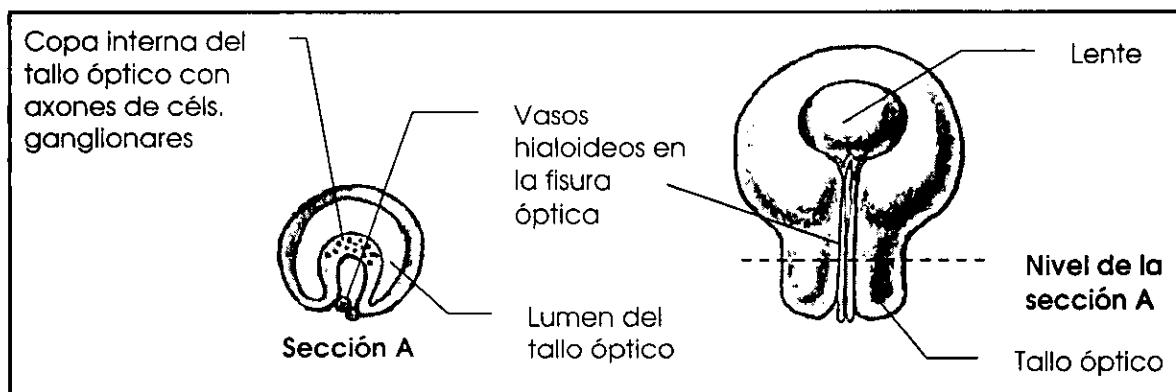


Figura 1-10. Último estadio evolutivo de la copa óptica y de la vesícula del lente. Se muestra el estadio inicial en el cierre de la fisura óptica. A, sección transversa (70).

Mientras la copa óptica está en desarrollo el ectomesénquima que la rodea derivado de la cresta neural, se condensa formando una capa distinta. Ésta se subdivide en una capa interna y otra externa. La capa interna está próxima a la copa óptica. Estas capas son las que forman a la coroides y a la esclera. El ectomesénquima circundante y el epitelio de la copa óptica actúan uno con otro para que se dé el desarrollo normal del ojo.

A comienzos de la gestación, la diferenciación de las estructuras oculares adultas es más rápida en el segmento posterior, mientras que el desarrollo del segmento anterior es más tardío (1, 20, 45, 70).

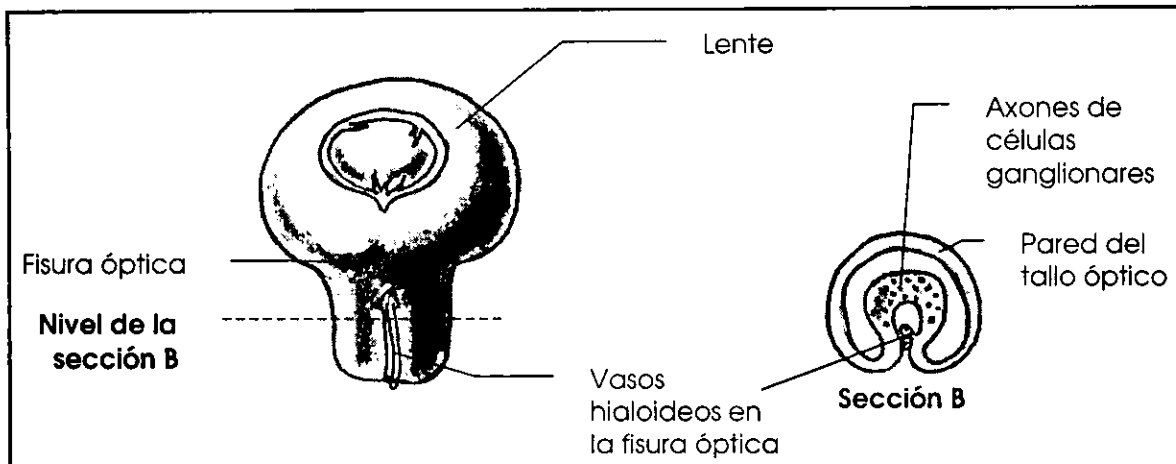


Figura 1-11. Estadio de cierre de la fisura óptica. B, sección transversa (70).

DESARROLLO REGIONAL

Estructuras anteriores

Córnea.

En el adulto, la córnea está constituida por el epitelio anterior, la sustancia propia de tejido conectivo y el epitelio posterior con su gruesa lámina basal. El epitelio anterior es una continuación del epitelio de la conjuntiva, que a su vez es una continuación de la epidermis. Por lo tanto, el epitelio anterior de la córnea es un tejido epidermal modificado siendo un derivado directo del ectodermo superficial. Las propiedades especializadas del epitelio epidermal que cubre la superficie externa de la córnea, como la ausencia de queratinización, están basadas en la interacción con el ectomesénquima que lo sustenta. Al inicio, la especialización de este epitelio es inducida por el lente.

La sustancia propia de la córnea se forma a partir de un crecimiento interno adicional de la capa externa del ectomesénquima (mesodermo) que rodea a la copa óptica, entre el epitelio anterior y el epitelio posterior. La sustancia propia de la córnea se puede considerar como un área especializada de la esclera con la que se continúa. El epitelio posterior también se deriva del ectomesénquima (1, 45).

Las primeras células que se diferencian son las del epitelio posterior y secretan la lámina limitante posterior. En este momento, surgen dos espacios en el mesodermo entre la cápsula anterior del cristalino y la córnea: la cámara anterior que se localiza entre el iris y la córnea y la cámara posterior que está entre el lente y el iris (3, 45).

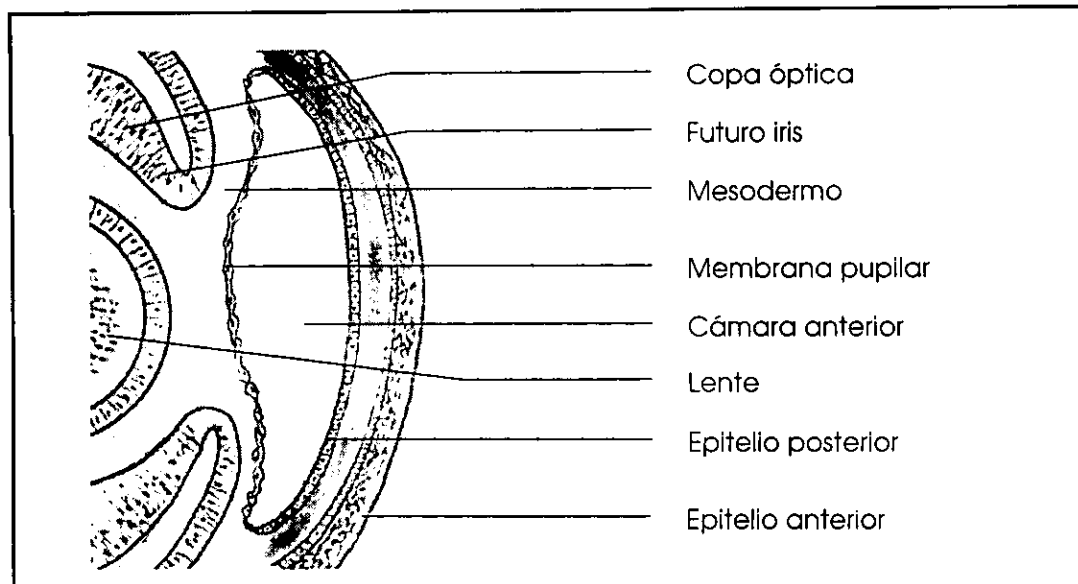


Figura 1-12. Formación de la cámara anterior y de la córnea con la presencia de la membrana pupilar (1, 45, 70).

Cámara anterior.

A diferencia de las cámaras posterior y vítrea que se forman como consecuencia del desarrollo de las otras estructuras del ojo, la cámara anterior se origina de manera independiente y el desarrollo de las partes adyacentes sólo contribuye para que aumente su tamaño, una vez que la cámara ya está formada. El inicio del desarrollo de la cámara anterior se da por un proceso activo de rarefacción, con el cual se forma una hendidura en el ectomesénquima, justo frente al lente. El ectomesénquima que se encuentra anterior a la hendidura dará origen a la sustancia propia de la córnea. La porción posterior, la cual cubre al lente, contribuye a la formación de la membrana pupilar. La hendidura crece de manera activa y también por el crecimiento y desarrollo del iris (fig. 1-12) (3, 45, 53).

Cámara posterior.

La cámara posterior (espacio limitado por el iris, el cuerpo ciliar, fibras zonulares y el lente) se demarca cuando se forman el iris y las fibras zonulares. Se comunica con la cámara anterior mediante la pupila después de que desaparece la membrana pupilar. Puede también comunicarse con la cámara vítrea a través de los espacios entre las fibras zonulares, si éstos no están ocluidos por la membrana que demarca el borde del cuerpo vítreo (3, 45, 53).

Humor acuoso y ángulo iridocorneal.

Las cámaras anterior y posterior contienen al humor acuoso. Este fluido es secretado por las células epiteliales del cuerpo ciliar. El humor acuoso pasa a través de la pupila hacia la cámara anterior. Es drenado a través del retículo trabecular constituido por fibras de tejido conectivo que permite al humor acuoso pasar hacia los capilares sanguíneos regresando a la sangre. El retículo trabecular se localiza en la

unión de la esclera, córnea e iris en un área conocida como ángulo iridocorneal. Al principio el ángulo está ocluido por una vaina de células epiteliales que se ajustan entre el epitelio posterior de la córnea y la superficie anterior del iris. El mesénquima no prolifera tan rápido en esta área, por lo que no crece de manera proporcional al crecimiento del ojo y este déficit es cubierto por el humor acuoso. Esta acción produce los espacios presentes en el retículo trabecular. La vaina epitelial se perfora por rarefacción. Los eventos que dan forma al ángulo de filtración y al retículo trabecular no se completan sino hasta después del nacimiento (45).

Iris.

El ectomesénquima adyacente a la copa óptica, cuya mayor parte se origina en la cresta neural, es inducido por la capa externa de la copa para formar la túnica vascular del globo ocular, la cual es homóloga a la meninge aracnoides del cerebro. La túnica vascular comprende al iris, al cuerpo ciliar y a la coroides (53).

El iris que se continúa con el epitelio doble del cuerpo ciliar se desarrolla a partir de la extensión periférica del borde de la copa óptica, con dos capas de células, que cubre los bordes de la vesícula del lente. Los bordes de la copa óptica conducen a la vesícula del lente hacia su interior. La capa interna de la cobertura ectomesenquimatosa se mueve a lo largo con el borde de la copa óptica. La capa neuroectodermal externa de la copa óptica pierde su carácter epitelial y forma fibras de músculo liso, que darán origen a los músculos dilatador y esfínter del iris. La capa interna retiene su naturaleza epitelial, pero sus células se pigmentan. El ectomesénquima muy vascularizado y que rodea a la túnica vascular anterior del lente, genera a la sustancia propia y al epitelio anterior del iris, y sus células forman tejido conectivo y pigmento. De esta manera, el iris es una estructura constituida por una sustancia propia de tejido conectivo y músculo liso, con una capa de epitelio a lo largo de la superficie posterior (1, 3, 45, 53, 70).

Una hoja del ectomesénquima, asociada con la porción anterior de la túnica vascular del lente, se estira sobre el orificio de la pupila, formando la membrana pupilar. Con el desarrollo posterior, la membrana pupilar se atrofia y desaparece después del nacimiento, aunque pueden quedar hebras minúsculas adheridas a la superficie anterior del iris o al epitelio posterior de la córnea. A esta condición se le denomina persistencia de la membrana pupilar y puede ser observada durante el examen clínico (53, 70).

Cuerpo ciliar.

El epitelio ciliar, al igual que la superficie posterior del iris, se deriva del neuroectodermo de la copa óptica (53). Detrás del iris, la capa interna del ectomesénquima, cuyas células se originan en la cresta neural, prolifera de manera desigual formando una serie de crestas que originarán a los procesos ciliares. Las dos capas de la copa óptica retienen su naturaleza epitelial, aunque de cualquier manera las crestas mesenquimales se cubren con dos capas de epitelio. La capa externa se continúa con la capa pigmentada de la retina y comienza a pigmentarse por sí misma. La capa interna se continúa con la capa neural de la retina hacia posterior y el epitelio del iris hacia anterior. La capa interna será la fuente del humor acuoso cuando el sistema acuoso sea funcional. El ectomesénquima se continúa con el estroma iridial

hacia anterior y la coroides hacia posterior formando tejido conectivo y a la musculatura ciliar.

El desarrollo de los procesos ciliares ocurre al mismo tiempo que el de la ora serrata, que es la separación anatómica entre la neurorretina y el cuerpo ciliar. Los procesos ciliares desarrollan centros vasculares y se elongan al mismo tiempo que aumenta el tamaño del globo ocular, llegando al ecuador del lente, para formar la zónula ciliar definitiva. La diferencia entre la corona ciliar (parte plegada), la parte orbicular ciliar (parte plana) no es distinguible sino hasta después del nacimiento (3, 45, 53, 70).

Lente.

El ectodermo superficial, adyacente a las vesículas ópticas, se espesa formando la plácoda del lente, la cual se invagina dentro de la ahora copa óptica, para transformarse en la vesícula del lente mediante el proceso llamado de inducción (fig. 1-13, 1-14). El vértice de las células ectodérmicas está dirigido hacia el centro de la vesícula del lente, mientras que la porción basal apunta hacia fuera. Después, la vesícula del lente se aísla de la superficie ectodérmica de origen (fig. 1-15) (53, 70).

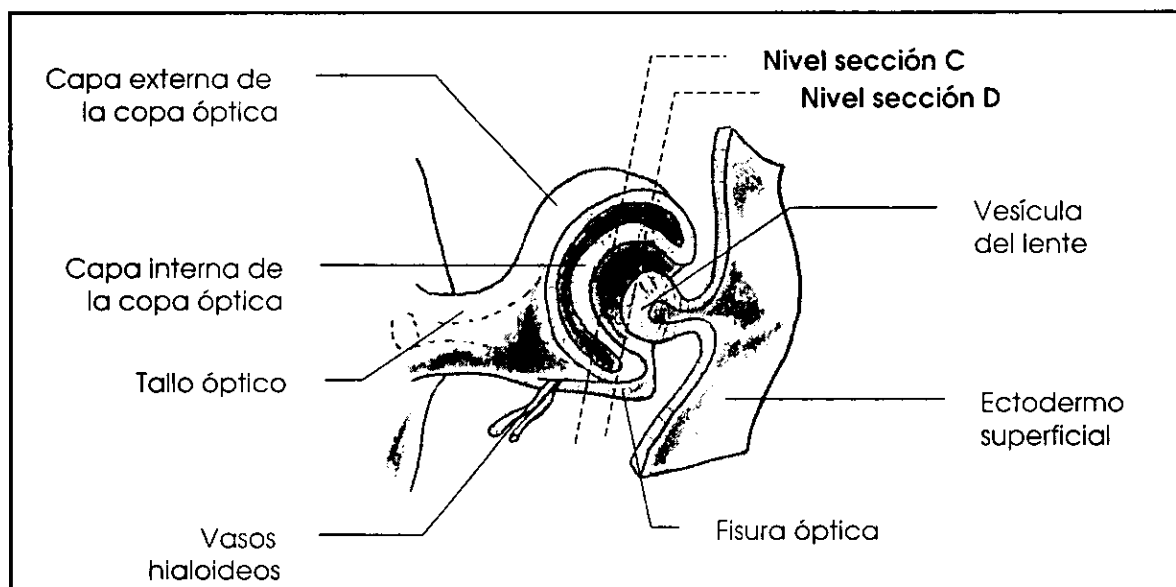


Figura 1-13. Formación de la copa óptica (1, 45, 53, 70).

La vesícula del lente, que al principio es hueca, se modifica para formar un lente sólido. Las células anteriores permanecen de forma cuboide, pero las células en la mitad posterior se elongan, transformándose en células cilíndricas, y obliteran la cavidad vesicular llegando al epitelio anterior. Estas células elongadas se denominan fibras lenticulares primarias. Los núcleos de las fibras lenticulares primarias desaparecen en forma gradual. Las células cuboideas anteriores persisten como el epitelio del lente adulto. La unión de las células cuboideas y cilíndricas se realiza en la periferia del lente, denominada zona ecuatorial. Como el lente crece en diámetro, se aplana de manera anteroposterior. Las células del lente se continúan elongando, pero ahora la dirección de este alargamiento es de polo a polo, más que de la pared

posterior a la pared anterior, y las células son más gruesas en la zona media. A esta segunda población de células elongadas se les llama fibras lenticulares secundarias. Estas fibras proliferan a partir de la zona ecuatorial del lente hacia anterior por debajo de las células cuboidales, y hacia posterior por debajo de la cápsula lenticular. Las fibras secundarias continúan formándose durante la vida de adulto desde la región ecuatorial y se depositan externas a las fibras preexistentes, unas sobre otras.

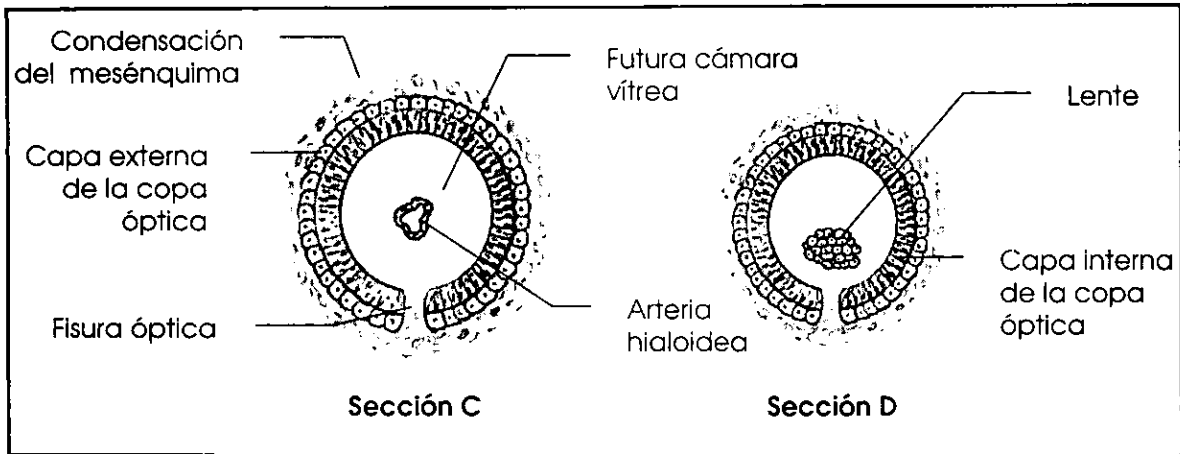


Figura 1-14. Secciones transversas de la figura anterior (45).

Ninguna de las fibras tiene la suficiente longitud para alcanzar la distancia de un polo a otro, además de que las células son demasiado gruesas en los extremos, no pudiendo encontrarse en un solo punto, por lo que se producen estructuras en forma de Y, llamadas suturas del lente. La sutura anterior es una Y vertical, mientras que la posterior se encuentra invertida. Sobre la parte posterior del lente hay células no muy diferenciadas, además de no estar elongadas. Estas células proliferan y se mueven a los polos, sirviendo como una fuente para la formación de nuevas fibras lenticulares (fig. 1-16) (1, 45, 70).

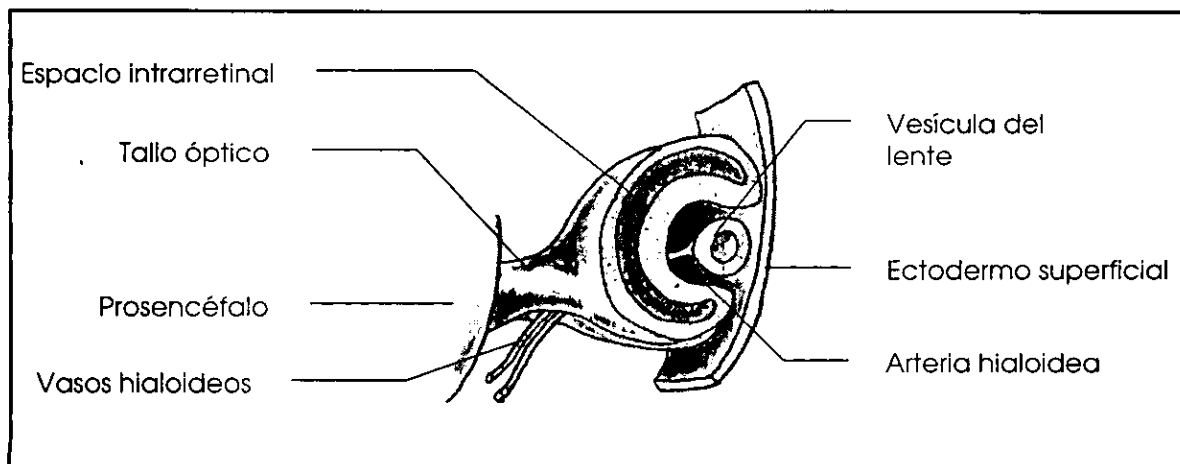


Figura 1-15. Último estadio evolutivo de la copa óptica y la vesícula del lente (1, 70).

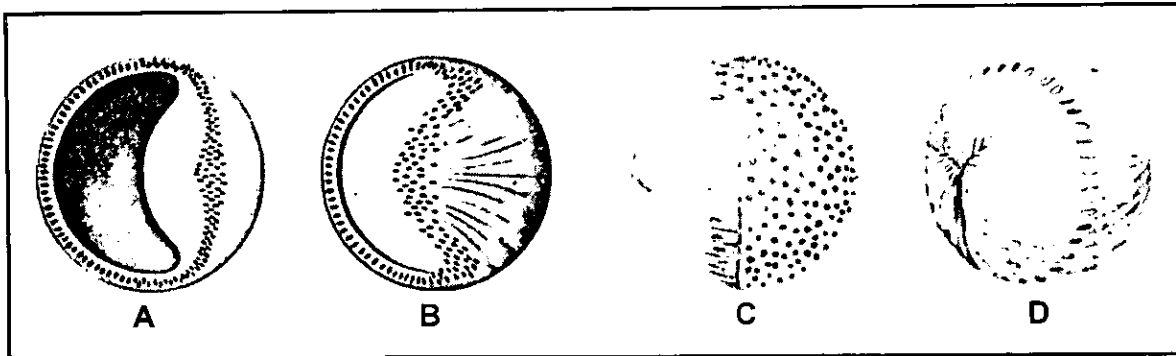


Figura 1-16. A, elongación y crecimiento anterior de las células epiteliales posteriores para formar las fibras lenticulares primarias. B, al elongarse las fibras se oblitera la cavidad de la vesícula del lente y se forma el arco de los núcleos de las células. C, las fibras lenticulares secundarias proliferan desde la región ecuatorial del lente y cubren a las fibras primarias y a los núcleos de células cuboides esparcidos. D, formación de la sutura Y anterior en la unión de las fibras lenticulares secundarias (70).

Las células del lente producen una sustancia elástica que forma una cápsula sobre su superficie (45, 70). La cápsula puede considerarse como una membrana basal de las células epiteliales del lente. Las fibras zonulares del cuerpo ciliar se implantan en esta cápsula. Las fibras zonulares son fibras colagenosas que se forman a partir de células mesenquimales que entran a la copa óptica a través de la pupila y se sitúan entre el cuerpo ciliar y el lente. La cápsula da al lente la propiedad elástica necesaria para permitir el proceso de acomodación (45).

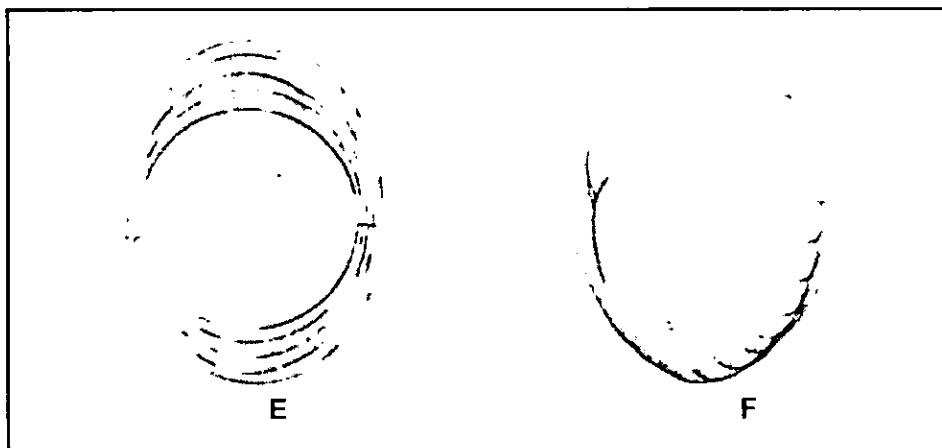


Figura 1-17. E, capas sucesivas de las fibras lenticulares. F, lente adulto (70).

El lente requiere un extenso aporte sanguíneo en su rápido desarrollo que es cubierto por una túnica vascular que lo cubre en esta etapa. Esta túnica se origina de vasos sanguíneos que llegan de dos regiones. La fuente que nutre la porción anterior del lente viene de los vasos de la sustancia propia del iris. Las ramas de estos vasos llegan por medio de la membrana pupilar. Esta se extiende a través de la pupila y la ocluye de manera temporal. La otra fuente es una rama de la arteria coroidea que

pasa a través de la fisura óptica, abarcando la cámara vítrea, e invistiendo la superficie posterior del lente. Este vaso es la arteria hialoidea (45). La arteria hialoidea irriga las capas internas de la copa óptica y al mesodermo asociado, además de la vesícula del lente en desarrollo. Los bordes de la fisura óptica se aproximan y fusionan de manera paulatina, encerrando los vasos hialoideos con el nervio óptico. Las porciones anteriores de los vasos hialoideos se degeneran en diferentes momentos en el desarrollo pre y posnatal. En los perros, el sistema hialoideo proporciona la perfusión vascular a la región posterior del lente hasta casi el sexto día de vida, pero los remanentes a veces se aprecian en el examen oftalmoscópico hasta los 4 meses de edad. Tanto la membrana pupilar como la arteria hialoidea desaparecen después del nacimiento (3, 45, 53, 70).

Sistema vascular primitivo.

La arteria hialoidea, rama de la arteria oftálmica, ingresa a la copa óptica a través de la fisura óptica. La arteria madre continua hacia anterior para formar un anillo anastomósico alrededor del margen de la copa óptica, el vaso anular. Los vasos hialoideos forman una red en el vítreo en desarrollo, cuya extensión anterior (túnica vascular lenticular) envuelve al lente en crecimiento. Entre la túnica vascular lenticular y el vaso anular se extienden ramas anastomósicas. La superficie exterior de la copa óptica está circundada por un plexo de vasos y células pigmentadas que dan origen a la coroides. Dentro de esta malla se forman las arterias ciliares posteriores largas, nasal y temporal, que crecen hacia delante, en el plano horizontal, para irrigar al futuro cuerpo ciliar. Un vaso circular concéntrico con el vaso anular se desarrolla y conecta a éste mediante anastomosis, formando el círculo vascular mayor del iris.

Durante el desarrollo fetal, el sistema hialoideo se atrofia en sentido posterior a anterior. Con la excepción de restos venosos variables sobre la superficie del disco óptico canino, los remanentes que forman la arteria y vena central retinal en los primates, no existen en los animales domésticos. La circulación retinal de los animales domésticos deriva de la irrigación ciliar alrededor del nervio óptico (53, 70).

Estructuras posteriores

Coroides.

La coroides y al esclera se forman del ectomesénquima que rodea a la copa óptica. Se continua con la parte de la sustancia propia del iris y del cuerpo ciliar. En la parte más dorsal del fondo, las células mesenquimales de la coroides que son adyacentes a la capa pigmentada de la retina, se aplanan y forman las células del tapetum fibroso. El aplanamiento es más notable en los ungulados, en los que las células forman una apariencia fibrosa. Las fibras tapetales aparecen al inicio del tercer trimestre de la gestación y forman el *tapetum lucidum* (45).

Cámara vítrea.

La cámara vítrea (espacio detrás del lente) se origina cuando la vesícula óptica se transforma en la copa óptica (45).

La cámara vítrea se llena de un material en gel, el cuerpo vítreo. El cuerpo vítreo es un tejido dinámico que contiene células y fibras. Se origina de las células mesenquimales que entran a la copa óptica a través del área pupilar cuando está formada. Algunas células mesenquimales también pueden llegar a la cámara vítrea a través de la fisura óptica antes de que se cierre. Estas células llegan con la arteria hialoidea o de manera independiente.

El volumen del cuerpo vítreo mantiene un crecimiento proporcional con el crecimiento del ojo en su conjunto. Esto es un factor importante para mantener la presión intraocular adecuada, lo que ayuda a que la retina neural permanezca en contacto con el estrato retina pigmentado.

El cuerpo vítreo se forma a partir del vítreo primario, secundario y terciario. El vítreo primario consiste d células mesodérmicas, fibras y secreciones de la superficie neural de la retina y el lente, asociadas con el sistema vascular hialoideo. Este sistema, persiste en los adultos por detrás del polo posterior del lente como el canal hialoideo (canal de Cloquet) que llega hasta el disco óptico. La arteria hialoidea se desarrolla en el mesénquima que rodea a la copa óptica. Entra en el tramo posterior de la fisura óptica y nutre la superficie interna de la copa óptica y el mesénquima que la llena. La arteria hialoidea crece y alcanza la superficie posterior del lente, donde se ramifica de manera extensa para formar la porción posterior de la túnica vascular del lente, que lo rodea en su totalidad.

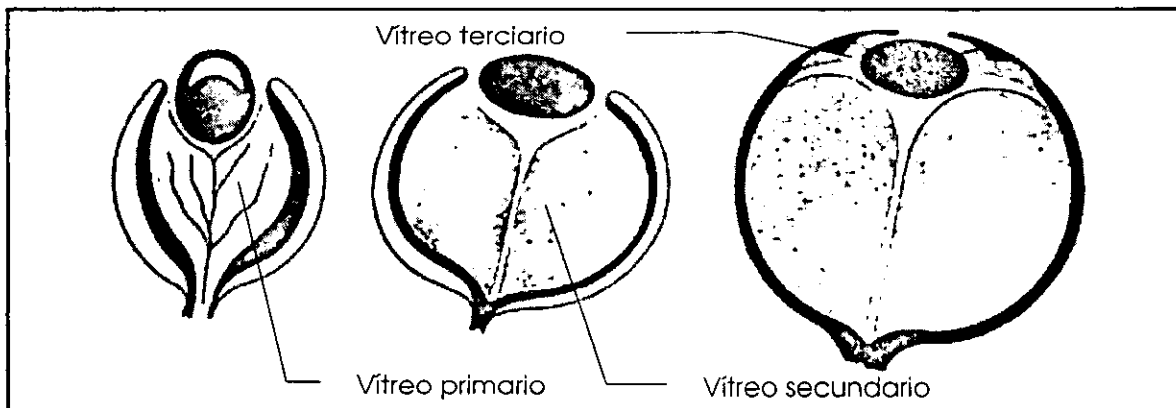


Figura 1-18. Estadios evolutivos del cuerpo vítreo (46, 70).

El vítreo secundario es más denso, más homogéneo y avascular. Se encuentra rodeando al vítreo primario, reduciéndolo a un delgado embudo que forma al canal hialoideo. Es secretado por el ectodermo retinal y las fibrillas vítreas en su interior, que se continúan con las fibras de Müller en la retina. Este fenómeno puede explicar las uniones definitivas entre el cuerpo vítreo y la retina en el adulto. Las uniones son muy importantes para mantener la integridad de la retina. Los vasos hialoideos comienzan a atrofiarse, pero es frecuente que permanezcan remanentes después del nacimiento (45, 53).

El vítreo terciario es secretado por el epitelio ciliar. Haces de condensaciones fibrilares vítreas se extienden en forma radial desde el futuro epitelio ciliar hasta el ecuador lenticular, desplazando al vítreo secundario. El vítreo terciario persiste en el adulto como la zónula ciliar (fig. 1-18) (45, 70).

Retina.

La cavidad de la vesícula óptica, que se continúa con el tercer ventrículo del cerebro, se oblitera fusionando las paredes interna y externa de la vesícula al formarse la copa óptica. Las capas epiteliales de la parte posterior de la copa forman a la retina. La capa externa permanece como un estrato simple de células epiteliales que se pigmentan, excepto sobre el área del *tapetum lucidum*, formando el estrato epitelial pigmentado de la retina. La capa interna forma la capa neuroblástica de la retina (1, 45, 53, 70).

Los núcleos dentro de la capa neuroblástica migran hacia dos estratos: las hojas neuroblásticas interna y externa, separados por una lámina fibrosa que está desprovista de núcleos. Las células de la capa neuroblástica externa se diferencian formando los bastones y conos adyacentes al epitelio pigmentado y a las células horizontales que se encuentran en el estrato nuclear interno. La capa neuroblástica interna produce las células ganglionares, bipolares, amacrinas y gliales radiales (3, 70). De este modo la retina está invertida presentando a los conos y los bastones adyacentes al estrato pigmentado. Por lo tanto, la luz debe atravesar los estratos de la retina para llegar a los fotorreceptores sensoriales (70).

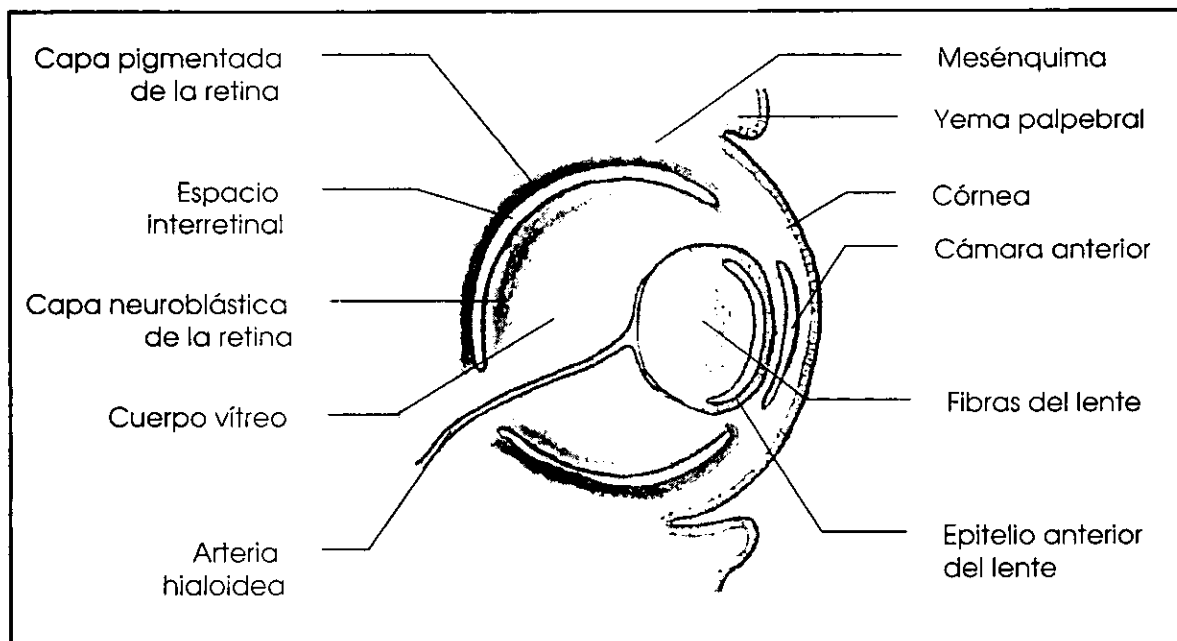


Figura 1-19. Desarrollo avanzado de la copa óptica. Ésta se encuentra rodeada del mesénquima que dará origen a la esclera y a la coroides. Se observa la formación de las yemas palpebrales y de la cámara anterior, además del espacio interretinal. Etapa entre los 25 y 30 días de gestación (1).

Durante el desarrollo y en el estado adulto, la cavidad de la vesícula óptica nunca está obliterada en su totalidad. Más bien, la vesícula óptica retiene un espacio potencial permanente entre las porciones pigmentada y neural durante toda la vida del animal. El factor principal que conserva a las dos capas en contacto, es el mantenimiento de la presión intraocular normal debida a los humores acuoso y vítreo. Por esto, hay un fundamento en el desarrollo embrionario para la potencial separación

de las dos porciones de la retina. Esta separación puede presentarse en condiciones patológicas que afecten al ojo. A causa de este proceso, el punto débil de la retina se localiza entre estas dos porciones, siendo en este sitio en donde se presentan los desprendimientos retinales, ya sean congénitos o adquiridos (figs. 1-19, 1-20) (45, 70).

Los axones de la capa más interna de neuronas crecen sobre la superficie interna de la retina, dirigiéndose a través de la pared del tallo óptico hacia el diencefalo (45, 70). Como el número de axones crece y se cubren con la vaina de mielina, la pared del tallo óptico se engrosa. Esto oblitera la cavidad del tallo. El resultado es la formación de una estructura sólida, el nervio óptico. El desarrollo normal y la diferenciación de la retina neural dependen del contacto cercano y las interacciones con la capa pigmentada, y entre los elementos gliales y neurales de la misma capa neural. La disrupción de estos contactos produce un desarrollo y una maduración anormal de la retina. La maduración de la retina se va realizando del centro hacia la periferia. La retina del perro y del gato no está desarrollada por completo en el momento del nacimiento. Los fotorreceptores no se desarrollan hasta tres o cuatro semanas después de nacer, a diferencia de los ungulados, cuya retina ya se encuentra madura en el nacimiento (3, 45, 53, 70).

Nervio óptico.

La formación del nervio óptico inicia con la presencia de una capa simple de células con un lumen central. Las fibras nerviosas de las células ganglionares de la capa neuroblástica interna crecen hacia el tallo óptico, formando la capa de fibras nerviosas de la retina y después el nervio óptico. En un punto en el centro del futuro disco óptico, los axones de las células ganglionares retinales cruzan la retina para ingresar al nervio óptico. Más tarde las fibras se extienden hacia posterior para crear el quiasma y las cintillas ópticas. La medulación de las fibras nerviosas se extiende en forma periférica desde el cerebro hacia la lámina cribosa.

Al fusionarse los labios de la fisura óptica, el sistema hialoideo queda atrapado en el centro del nervio óptico. En este punto las células gliales son desplazadas hacia delante para conformar la vaina de la arteria hialoidea. Este grupo de células puede protuir desde el disco óptico durante la vida adulta como la papila óptica. La atrofia variable de estas células causa la copa fisiológica en el disco óptico (70).

Estructuras externas y anexas del globo ocular

Esclera y músculos extraoculares.

El mesodermo que rodea a la copa óptica forma dos túnicas, una interna que vascular y adyacente a la retina (la coroides) y otra externa y fibrosa, la esclera. Las células de la cresta neural son la fuente de los fibroblastos de la sustancia propia (queratocitos), así como de las células del epitelio corneal posterior. La condensación de la esclera comienza anterior al ecuador, cerca del cuerpo ciliar y sigue hacia posterior, llegando al nervio óptico donde se continúa con la vaina externa de éste.

Los músculos extraoculares se derivan del mesodermo localizado detrás de la vesícula óptica en desarrollo (fig. 1-19, 1-20) (3, 53, 70). Mientras las miofibrillas de estos músculos son mesodermales, el tejido conectivo asociado con éste, se origina en la

cresta neural. Se ha demostrado que los músculos extraoculares del gato se originan en tres distintos, pero cercanos, puntos germinales que son homólogos con las cavidades premandibular, mandibular e hiodea de la cabeza de los vertebrados inferiores. Es probable que se presente la misma situación en el desarrollo de los músculos extraoculares del perro (53).

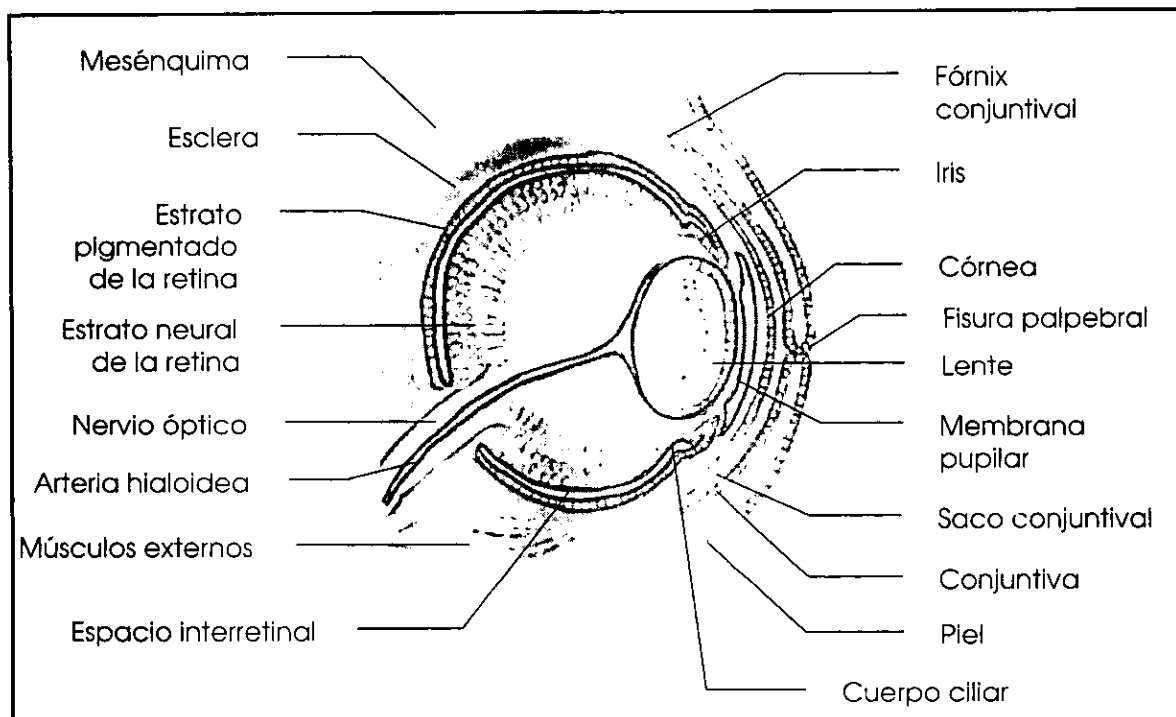


Figura 1-20. Desarrollo del ojo entre los 30 y 40 días de gestación. Se observa la formación de la esclera y de los músculos externos. Los párpados se fusionan. También se muestra la continuidad del epitelio corneal con el epitelio de la conjuntiva (1).

Párpados y glándulas anexas.

Los párpados se desarrollan a partir de las yemas palpebrales, las cuales crecen sobre la superficie corneal. Los pliegues del párpado inferior y el tercer párpado se forman mediante el crecimiento de los procesos maxilares. Cada párpado es un pliegue de piel formado del ectodermo y con un centro mesodermal (fig. 1-19). La capa interna del pliegue, derivada también de la superficie ectodérmica, forma la conjuntiva, y su epitelio se continúa con el epitelio de la córnea. También forma al tercer párpado. A partir de brotes de la superficie ectodérmica, se forman las glándulas lagrimal y tarsal, la del tercer párpado, las sebáceas y las sudoríparas modificadas de los párpados (70). Por estos múltiples brotes, la glándula lagrimal tiene tres o más ductos en el animal adulto (45).

Aparato nasolagrimal.

El surco nasolagrimal separa el pliegue nasolateral de los procesos maxilares. En el fondo del surco, se forma un cordón sólido de células ectodérmicas que queda cubierto por los procesos maxilares cuando crecen y se fusionan con el pliegue nasal lateral. Dos brotes ectodérmicos adicionales crecen desde el extremo superior del

cordón enterrado hacia los pliegues palpebrales cerca de sus bordes nasales. Estos brotes se desarrollan formando los puntos lagrimales superior e inferior. El extremo inferior del cordón ingresa en la porción rostral del meato nasal ventral. Todo el cordón se transforma en el conducto nasolagrimal mediante un proceso de canalización. La canalización incompleta es frecuente en los animales domésticos. Los puntos y la mitad superior del conducto nasolagrimal suelen ser afectados en los perros y los gatos (fig. 1-21) (70).

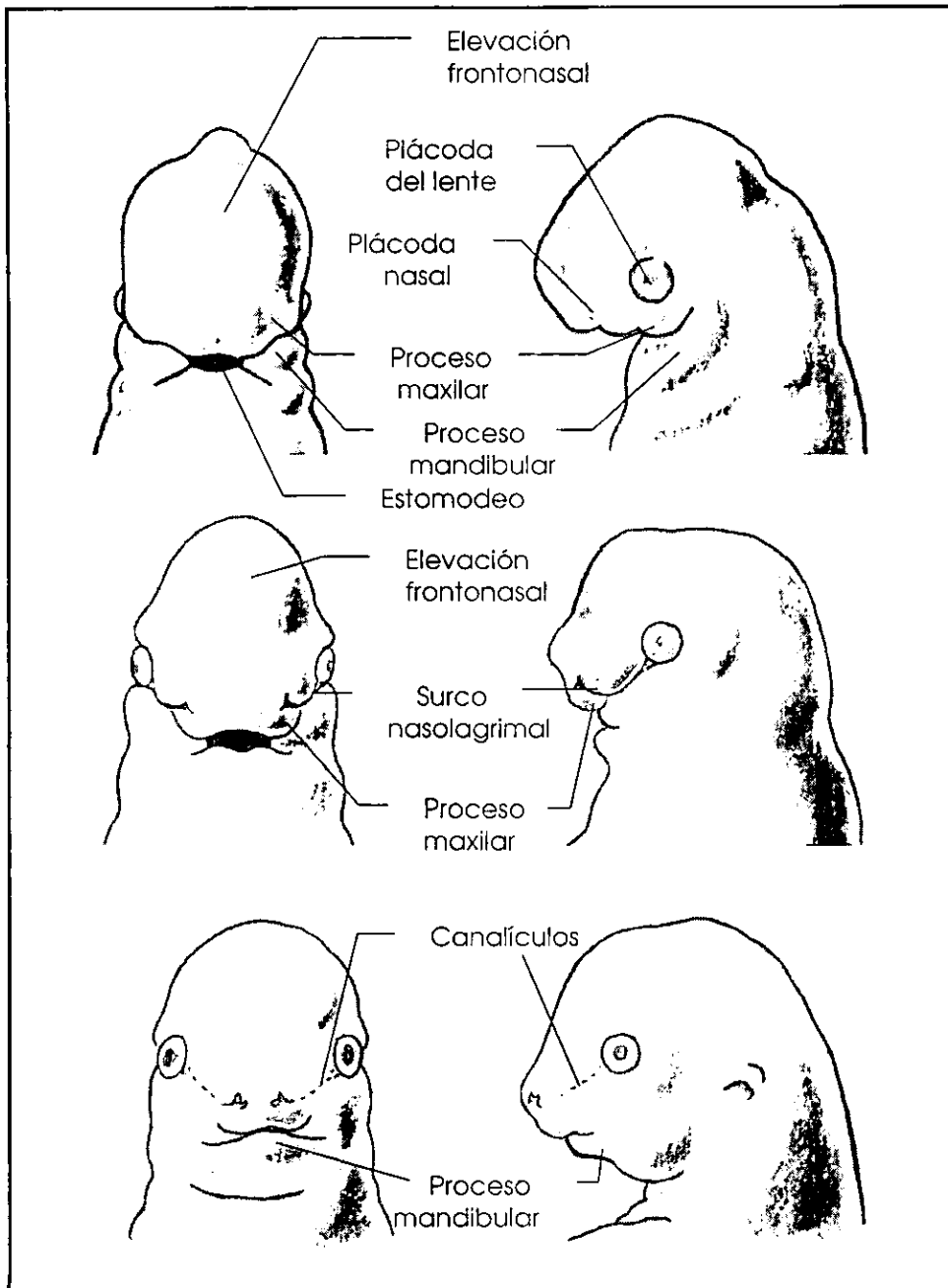


Figura 1-21. Formación del sistema de drenaje nasolagrimal (70).

Tabla cronológica del desarrollo del ojo canino (3, 70)

<u>Evento</u>	<u>Edad gestacional en días</u> <u>(Edad posnatal en días)</u>
Lente	
Vesícula óptica	15 - 17
Plácoda del lente	15 - 17
Copa óptica y vesícula del lente	19
Vesícula del lente se separa del ectodermo superficial	25
Fibras primarias del lente	25
Obliteración de la cavidad de la vesícula del lente	30
Inicio de la formación de la cápsula del lente	32 - 33
Cápsula del lente completa	35
Fibras secundarias del lente	40
Mesodermo vascular perilenticular	
Arteria hialoidea llega al lente	25
Túnica vascular del lente	30
Inicia la atrofia de la arteria hialoidea	45
Permanencia de remanentes de la red lenticular vascular posterior	(11)
Permanencia de remanentes de la túnica vascular del lente	(14)
Persistencia de la membrana pupilar	(14)
Iris	
Crecimiento del margen de la copa óptica	32 - 33
Círculo arterial mayor del iris	32 - 33
El iris alcanza el frente del lente	40
Pigmento de la sustancia propia del iris	45
Músculo esfínter	51
Músculo dilatador	(1)
Cuerpo ciliar	
Procesos ciliares	40
Procesos ciliares alcanzan el ecuador del lente	45
Condensación ciliar (precursora del músculo ciliar)	56
Diferenciación de la parte orbicular	(10)
Desarrollo total de la parte orbicular	(13)
Coroides	
Red coroidal en el polo posterior	30
Red coroidal completa	35
Grandes vasos coroidales externos	40
Lámina coroidocapilar	40
Pigmentación de la coroides	40

Córnea		
Epitelio anterior de la córnea (ectodermo superficial) y mesénquima estromal		25
Epitelio posterior se diferencia del mesénquima estromal		32 - 33
Inicia la formación de la lámina limitante posterior		45
Epitelio multiestratificado (adulto)		(16)
Esclera		
Condensaciones de tejido fibroso		25
Condensación escleral anterior al ecuador		30
Condensación escleral posterior al ecuador		35
Túnica escleral se extiende rodeando al ojo		40
Vítreo		
Vítreo primario alcanza al lente		25
Vítreo secundario		26
Vítreo terciario (la zónula no se ve en ningún estadio)		(después del 45)
Ángulo de la cámara anterior		
Cámara anterior		35
Comienza la atrofia del tejido mesodermal de la cámara anterior		45
La atrofia del tejido mesodermal de la cámara anterior alcanza el nivel de la raíz del iris		51
Ángulo de la cámara anterior desarrollado		56
Hendidura ciliar y trabécula uveal		(19)
Anexos del globo ocular		
Fibras de los músculos extraoculares		40
Brote de los párpados		25 - 28
Los brotes palpebrales se unen y adhieren		32 - 33
Brote del tercer párpado		32 - 33
Tercer párpado desarrollado		40
Células caliciformes de la conjuntiva		32 - 33
Músculo orbicular del ojo		40
Glándulas del fórnix conjuntival		51
Separación de los párpados		(14)

Desarrollo cronológico de la retina canina (3)

<u>Evento</u>	<u>Tercio posterior</u>	<u>Tercio Medio</u>	<u>Tercio periférico</u>
Desarrollo prenatal			
Zonas nucleadas marginal interna y externa	25	25	26
Copa externa multilaminada de la vesícula óptica forma una capa delgada de epitelio simple	25	32 - 33	35
Capa de fibras nerviosas	30	32 - 33	56
Nervio óptico formado	32 - 33	---	---
Capas neuroblásticas interna y externa	32 - 33	35	40

Membrana limitante externa	32 - 33	32 - 33	32 - 33
Ora serrata	---	---	40
Capa plexiforme interna	45	45	51
Vasos retinales	51	56	(12)
Células tapetales	56	56	*
Desarrollo posnatal			
Segmentos internos de los conos y los bastones	(1)	(1)	(7)
Capas externas neuroblásticas separadas en capas externa e interna	(7)	(7)	(13)
Diferenciación de la capa plexiforme externa	(7)	(12)	(19)
Segmentos interno y externo de los conos y los bastones	(16)	(21)	(35)

Nota:

* Área deprovista de *tapetum lucidum*

Los números entre paréntesis corresponden a días posnatales.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL GLOBO OCULAR.

El globo ocular del perro y del gato es casi esférico, la diferencia entre los diámetros sagital, transverso y vertical es pequeña. El tamaño del globo ocular varía según las razas, sobre todo en los perros, en los que la forma y el tamaño de los cráneos es más variable (53).

Diámetros en milímetros (52)

	<u>Sagital</u>	<u>Transverso</u>	<u>Vertical</u>
Perro	19 - 24	20 - 21	18 - 22
Gato	19 - 21	18 - 21	19 - 20

Para describir la localización de las estructuras en el ojo se utilizan los términos anterior y posterior, equivalentes a los términos rostral y caudal, usados en la descripción de la posición de las partes que conforman el resto de la cabeza, con excepción del encéfalo. Superior e inferior se utilizan sustituyendo a dorsal y ventral.

El vértice de la córnea se designa como el polo anterior del ojo. El punto que se opone, de manera directa a éste, es el polo posterior. Este último es sólo un punto geométrico, y no corresponde con la salida del nervio óptico, el cual se encuentra inferior y lateral al polo posterior.

La línea que une a los polos posterior y anterior, y que pasa a través del centro del lente, es el eje óptico. Las líneas que unen a los polos posterior y anterior sobre la superficie del globo ocular se han designado como meridianos. El ecuador del globo es la máxima circunferencia localizada a la mitad, entre los polos del globo ocular. Como el ojo es casi esférico, los términos anatómicos de dirección no se aplican en

ciertas estructuras, como en las capas retinales. En estos casos, se utilizan los términos externo e interno, tomando como referencia el centro del globo (19, 34, 53).

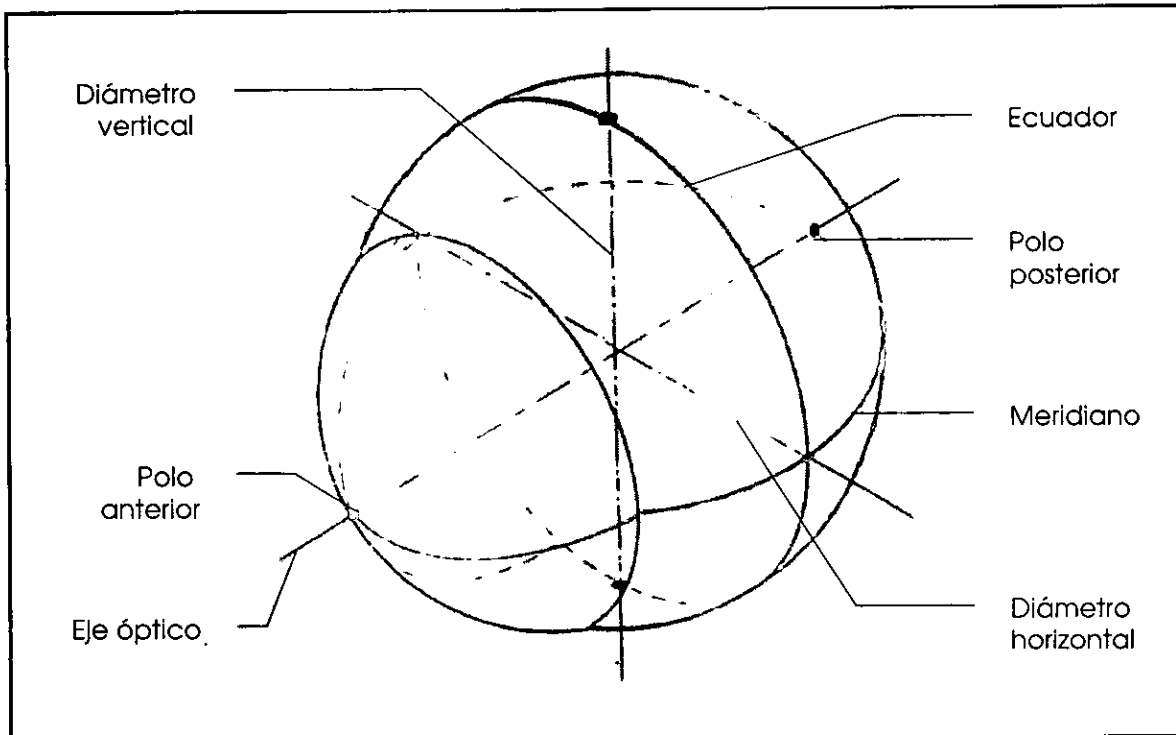


Figura 1-22. Nomenclatura de las direcciones de las estructuras oculares.

El globo ocular desarrollado está conformado por tres capas o tunicas (34, 68):

1. **Túnica fibrosa.** Es la porción más externa del globo, se divide en dos porciones unidas por el limbo corneal:
 - a) **Córnea**, en la porción anterior.
 - b) **Esclera**, en la porción posterior.
2. **Túnica vascular.** Que corresponde a la porción media y presenta tres estructuras principales:
 - a) **Iris**, en la parte más anterior.
 - b) **Cuerpo ciliar**, posterior al iris.
 - c) **Coroides**, posterior a este último.
3. **Túnica interna.** Corresponde a la retina y los vasos sanguíneos retinales. Es la capa más interna del globo ocular y se localiza en la porción posterior de éste. Contiene a los fotorreceptores que reciben los estímulos luminosos, además del disco óptico que es la porción anterior del nervio óptico que conduce los estímulos al cerebro.

Dentro del globo ocular se localizan las siguientes estructuras:

4. Cámara anterior, que contiene al ángulo iridocorneal y al humor acuoso. Se localiza entre la córnea y el iris.
5. Pupila, formada por la abertura central del iris.
6. Cámara posterior, que también contiene humor acuoso y se localiza entre el iris y el lente.
7. Lente, mantenido en suspensión por la zónula ciliar. Se encuentra entre la cámara posterior y la cámara vítrea.
8. Cámara vítrea. Ocupa la mayor parte del globo ocular, sus límites son el lente, la zónula ciliar y la retina. Contiene al cuerpo vítreo, una estructura en forma de gel que ayuda a mantener la presión intraocular normal.

Las estructuras anexas del globo ocular son:

1. Los músculos extraoculares, que confieren movimiento a los párpados y al globo ocular.
 - Párpados:
 - a) M. orbital.
 - b) M. elevador del párpado superior.
 - Globo ocular:
 - a) M. recto dorsal.
 - b) M. recto ventral.
 - c) M. recto medial.
 - d) M. recto lateral.
 - e) M. retractor del globo.
 - f) M. oblicuo dorsal.
 - g) M. oblicuo ventral.
2. La órbita, que contiene al globo ocular. Tiene una porción ósea conformada por algunos huesos del cráneo y otra porción de tejido blando, constituida por el ligamento orbital y las fascias orbitales.
3. Los párpados, superior e inferior. Son órganos que protegen al ojo del medio ambiente, presentan algunas glándulas que participan en la formación y en el mantenimiento de la película lagrimal precorneal.
4. Túnica conjuntiva. Es la capa mucosa que recubre la parte bulbar de los párpados y en la que se origina el tercer párpado que contiene la glándula del mismo, productora de una porción de la película lagrimal precorneal.

5. Aparato lagrimal, que contiene a la glándula lagrimal y a los ductos y estructuras que producen y drenan a la lágrima.

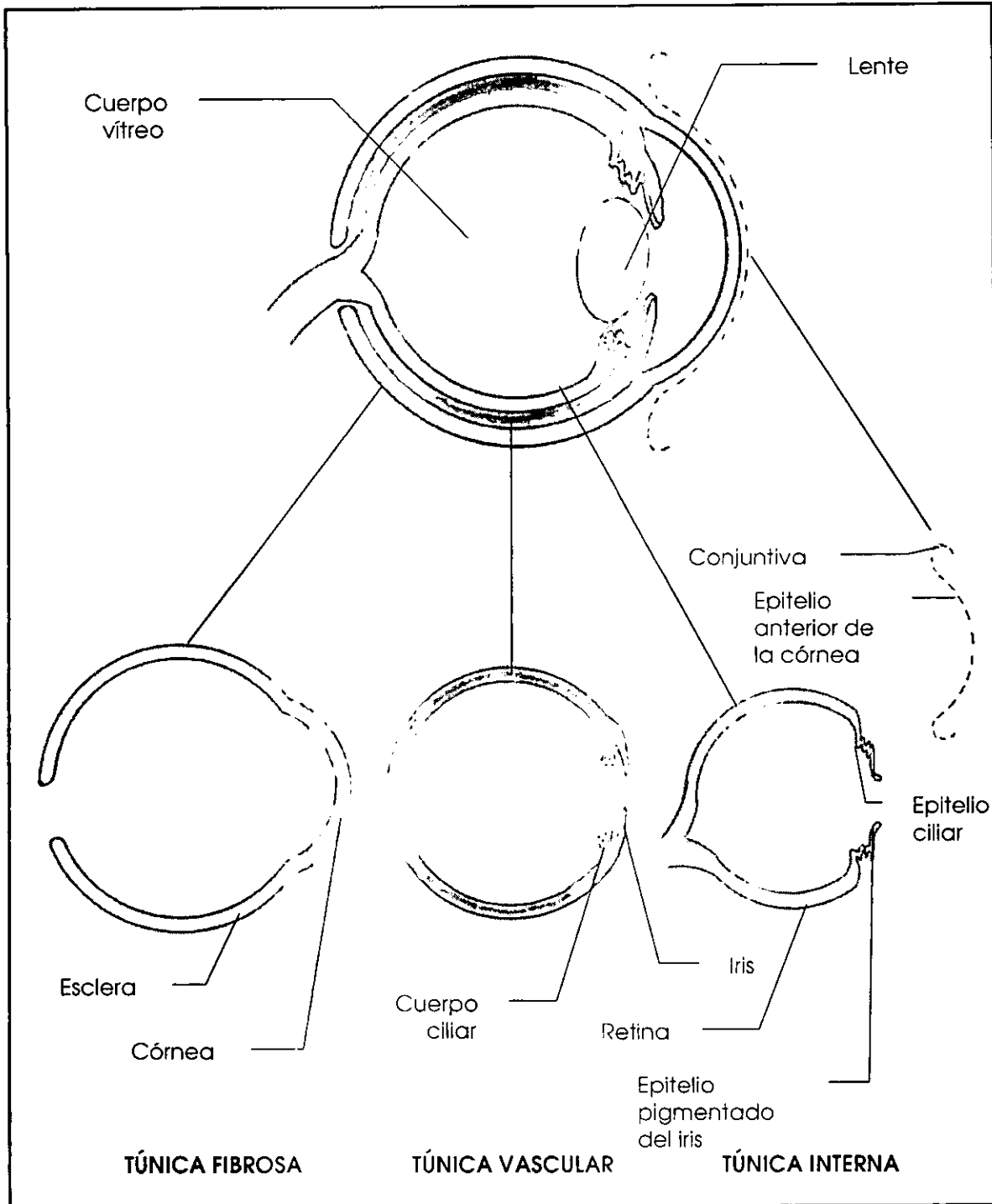
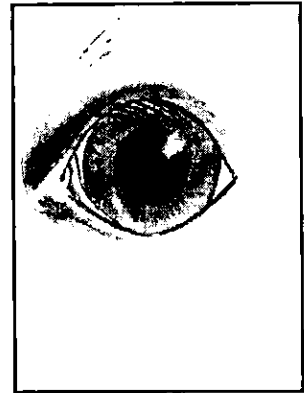


Figura 1-23. Esquema de las principales estructuras del globo ocular (70).

CAPÍTULO 2



Párpados

ANATOMÍA

Los párpados son pliegues del integumento modificado que cubren la parte dorsal y ventral de la entrada de la órbita en la parte anterior del ojo (1, 53, 63). Son de naturaleza más delicada que la de la piel de cualquier otra parte del organismo (27, 70). Su función consiste en proteger al ojo de manera mecánica y por la producción de una pequeña porción de la película lagrimal precorneal (17, 47, 70, 74, 79).

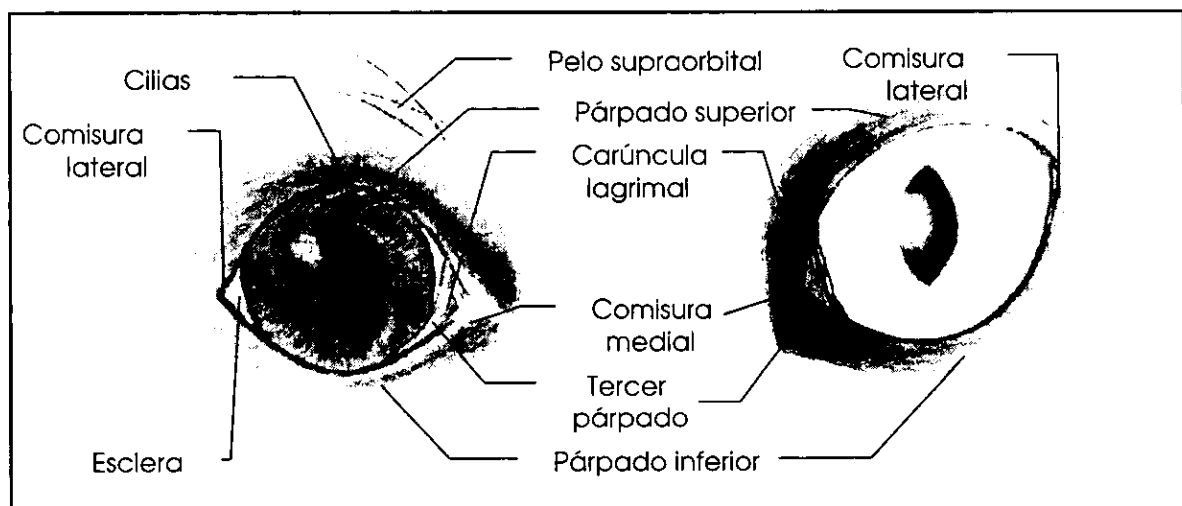


Figura 2-1. Exterior del ojo del perro y del gato. Los gatos carecen de cilias en los párpados (47, 53).

Los bordes libres del párpado inferior y del párpado superior forman una abertura que recibe el nombre de hendidura palpebral (17). Los puntos de unión de ambos párpados se denominan comisura palpebral medial y comisura palpebral lateral. Éstas forman el ángulo medial y el ángulo lateral. El ángulo medial es mayor que el lateral. El receso nasal entre los párpados se llama laguna lagrimal, desde la cual se proyecta una pequeña prominencia carnosa llamada carúncula lagrimal. La

carúncula lagrimal está cubierta por epitelio estratificado que contiene glándulas sudoríparas, sebáceas y lagrimales modificadas, además de estar provista de algunos pequeños cilios (fig. 2-1) (16, 17, 53, 63).

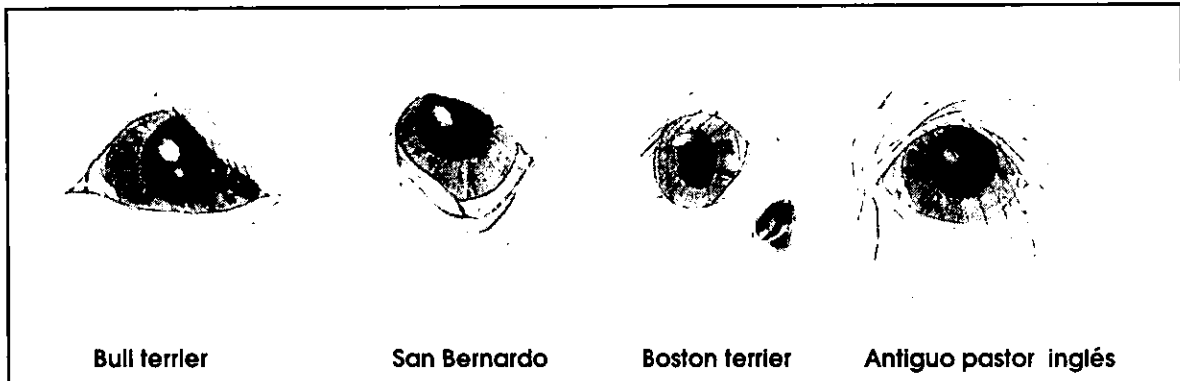


Figura 2-2. Aspecto de los párpados en distintas razas de perros (53).

La hendidura palpebral de los gatos, aunque similar, es menos elíptica que la de los perros. El canto medial es más elevado con relación al eje visual. Los bordes palpebrales, tanto superior como inferior, no presentan cilios (74). Como el ojo está casi al nivel de la piel, el pelo superficial cercano al párpado lleva a cabo las funciones de las pestañas, actuando como pelos táctiles. El margen palpebral es liso y de color negro, y su carúncula lagrimal es rudimentaria (fig. 2-1).

Los párpados se pueden dividir en cuatro capas principales: piel, capa muscular, tarso y conjuntiva palpebral (72).

Piel.

La superficie externa de los párpados está cubierta con un epitelio escamoso estratificado que descansa sobre la dermis de tejido conjuntivo laxo, y en donde se encuentran pelos finos que la cubren, además de glándulas sudoríparas y sebáceas (fig. 2-3) (1, 17, 47, 72). La piel es fina y sensible a los traumatismos. Los gatos, en especial los machos, tienen la piel de los párpados más gruesa que la de los perros. La piel del párpado inferior es más delgada que la del párpado superior. El párpado superior de los gatos carece de pliegues palpebrales. La pigmentación continúa desde la zona del limbo del párpado (unión de la piel del párpado con la conjuntiva del borde palpebral) hasta su conjuntiva en muchos animales (17, 79). Existe un punto lagrimal superior y un punto lagrimal inferior en el párpado superior y el inferior respectivamente, los cuales son una abertura de las glándulas tarsales. En el perro, los puntos lagrimales inferior y superior se abren sobre la superficie bulbar del margen de los párpados de 2 a 5 mm de la comisura medial (fig. 2-4) (63, 64, 77, 79).

En el margen del párpado canino hay un número de pelos especializados llamados cilios o pestañas. Las cilias están presentes en el párpado superior, no así en el inferior, aquí las cilias son reemplazadas por el pelo del párpado (16, 47, 53, 74). Los gatos no presentan cilias en ninguno de los dos párpados, es posible que la posición del globo dentro de la órbita y los pelos de la superficie de los párpados sean suficientes para proteger sus ojos (fig. 2-1). Cada cilia presenta una raíz o folículo piloso y están asociadas de manera frecuente con prominentes glándulas sebáceas

de producción holócrina (también llamadas glándulas de Zeis) y con glándulas sudoríparas llamadas glándulas ciliares (o de Moll) con producción apócrina (1, 16, 17, 25, 27, 47, 70). Los conductos de las glándulas sebáceas se abren sobre la superficie del margen del párpado, cerca de la base de las cilia (53, 70). Las glándulas ciliares se abren en los folículos que producen las cilia. El epitelio cercano al término de la glándula consiste en una capa externa mioepitelial y en una capa interna de células glandulares apócrinas aplanadas. La estructura y localización de estas glándulas son similares en todas las especies domésticas pero la naturaleza de su función es desconocida (figs. 2-3, 2-4) (1, 53).

Al nivel del margen orbital dorsomedial del perro existe un grupo de largos pelos táctiles llamados pelo supraorbital que corresponden a las cejas en los humanos.

En el margen de los párpados, la piel se continúa con la conjuntiva palpebral. La epidermis cambia de forma abrupta de epitelio escamoso estratificado, pigmentado y queratinizado, típico de la piel, a epitelio escamoso estratificado, no pigmentado y sin queratinizar de la conjuntiva (1, 53).

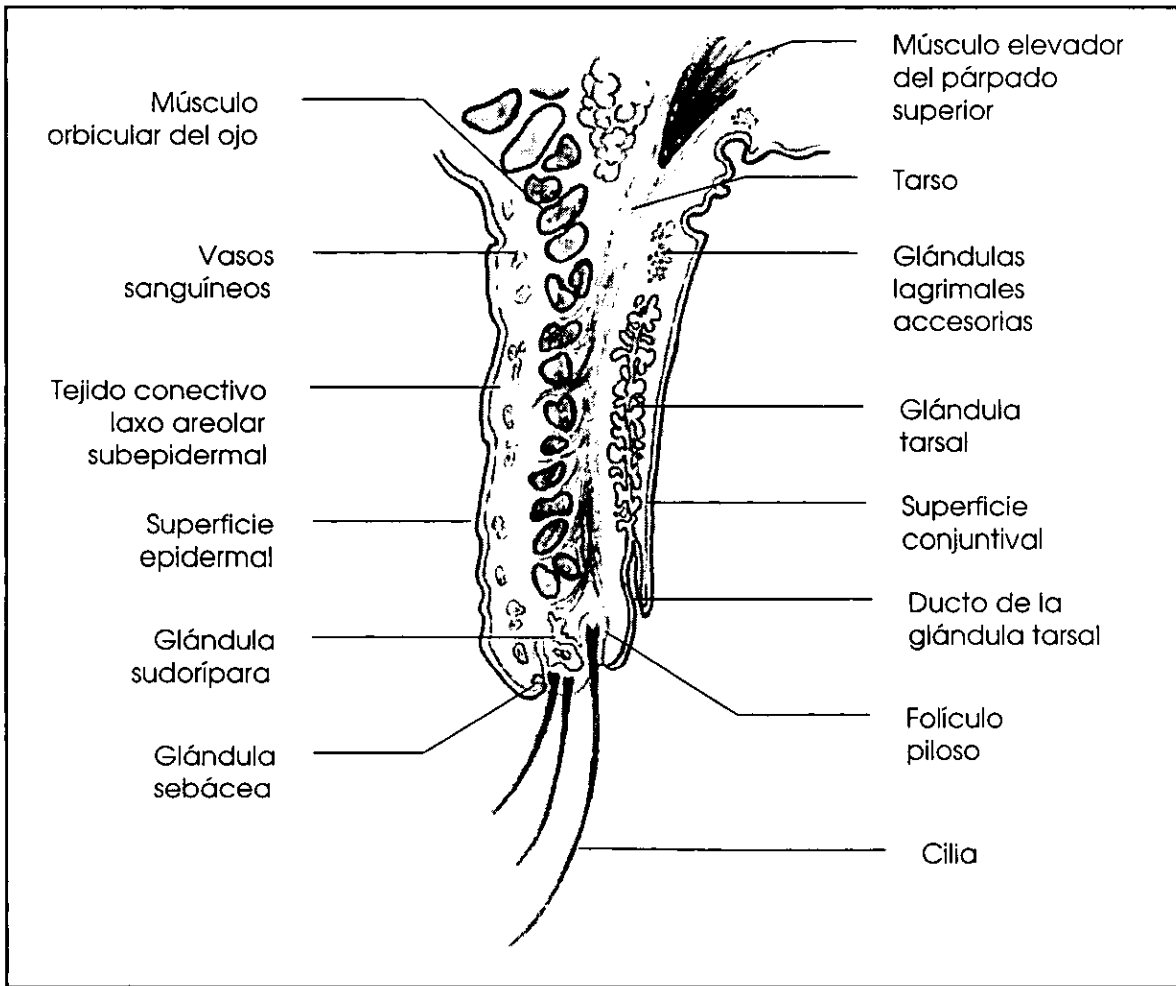


Figura 2-3. Corte del párpado superior en el que se observan las estructuras que contiene (53, 62).

Capa muscular.

La capa muscular se compone de las fibras de músculo estriado esquelético del músculo orbicular del ojo, el músculo elevador palpebral y el músculo recto ventral.

El músculo orbicular del ojo circunda la entrada de la órbita y tiene la función de un esfínter que cierra los párpados y, por lo tanto, la hendidura palpebral (1, 27, 47, 63, 64). El segmento del párpado superior de este músculo presenta una mayor fuerza de contracción que la del segmento inferior del mismo. Los dos ligamentos palpebrales que unen los cantos a la pared orbital, no permiten que la hendidura palpebral llegue a formar una abertura circular (16, 63, 70, 79). El ligamento palpebral medial se inserta en el periosteo de los huesos nasales. En los perros no existe el ligamento palpebral lateral, pero este es reemplazado por el músculo retractor del ángulo lateral del ojo, que es una porción del músculo frontal. Surge de la fascia temporal y se extiende de forma horizontal al canto lateral, atravesando el músculo orbicular del ojo, el cual también es su sitio de inserción. En el gato, el ligamento palpebral lateral está unido al hueso frontal (17, 27, 77). El músculo orbicular del ojo envía algunas fibras que se insertan en la pared medial de la órbita, pasando por detrás del saco lagrimal, formando la parte lagrimal del músculo orbicular (músculo de Horner), ayudando también a mantener la forma elíptica de la hendidura palpebral (fig. 2-5) (16, 70, 77).

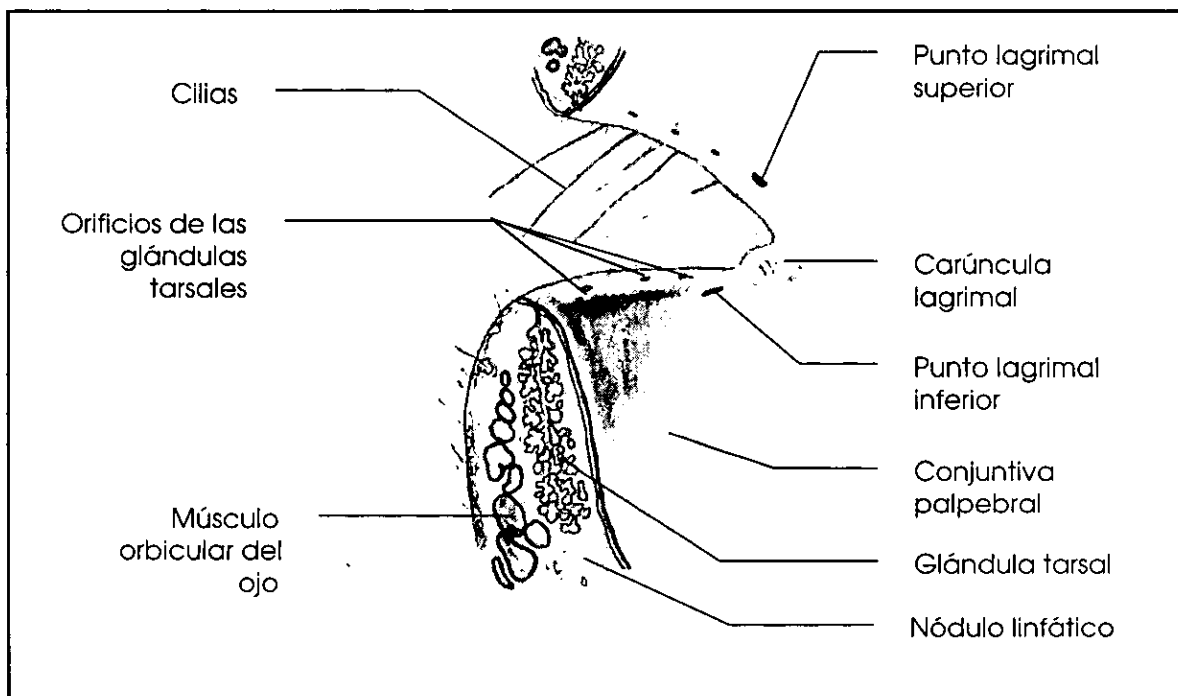


Figura 2-4. Aspecto posterior de la comisura medial de los párpados (53).

El grupo de músculos elevadores del párpado superior está formado por el músculo elevador palpebral superior que se inserta en el tarso, el músculo elevador del ángulo medial del ojo y el músculo orbital (también llamado músculo de Müller, formado por fibras de músculo liso) que se localiza posterior al músculo elevador superior, reforzando su acción (16, 27, 70, 77). Cerca de la base del párpado, el músculo

elevador es grueso, pero cuando se aproxima a la lámina tarsal y a los fascículos del músculo orbicular del ojo junto al borde del párpado, es más delgado (17). También, cerca de la base del párpado, la separación entre los músculos orbicular y elevador palpebral superior puede estar llena de grasa, pero cerca del borde del párpado, la placa del tarso sirve como sitio de inserción de las fibras, y separa los músculos de manera parcial. El músculo elevador palpebral superior es delgado y surge de la parte caudal de la órbita entre el músculo recto dorsal y el músculo oblicuo dorsal. Su origen está cerca del foramen óptico (63, 64).

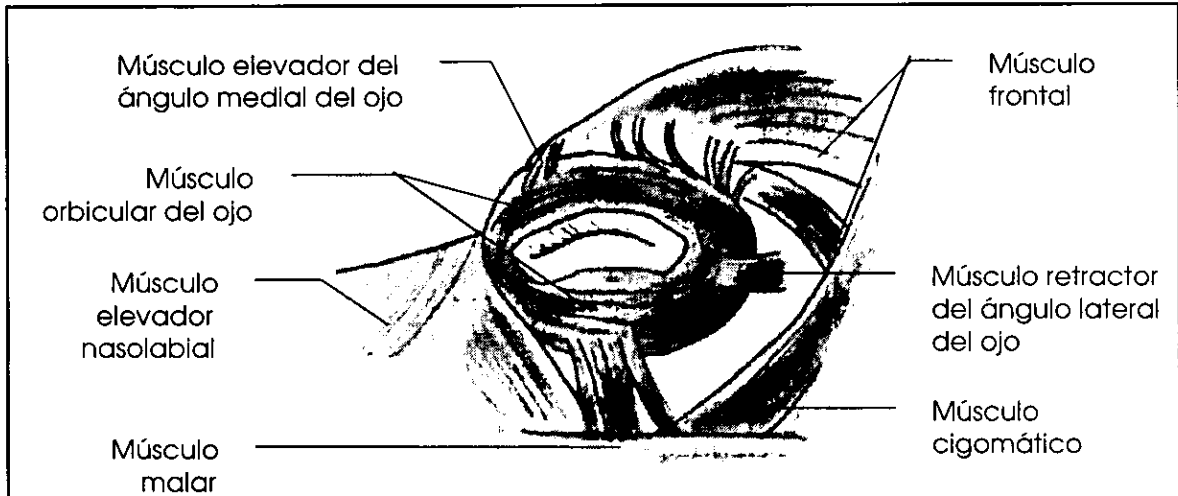


Figura 2-5. Músculos superficiales de los párpados (53, 56).

El músculo frontal también contribuye a elevar el párpado superior. El músculo elevador del ángulo ocular medial, surge cerca de la línea media del hueso frontal a partir de la fascia nasofrontal. Sus fibras van hacia anterior y lateral antes de intermezclarse con las fibras del orbicular en el ángulo medial del ojo. Estas fibras pasan bajo la piel del párpado que soporta a las cejas. Cuando se contraen se ponen en erección las cejas y contribuyen a elevar la porción nasal del párpado superior (16). El músculo malar es el único encargado de abrir el párpado inferior (figs. 2-5, 2-6) (16, 70).

Tarso.

El tarso es una hoja fibrosa compuesta por tejido conectivo de colágena que se localiza entre el músculo orbicular del ojo y la conjuntiva palpebral. Esta lámina fibrosa es la que da forma al párpado (fig. 2-3) (1, 25, 53, 70). Forma un tabique orbital que cubre a las glándulas tarsales. Estas glándulas son alargadas y están dispuestas de manera paralela, una a la otra. Existen de 20 a 40 glándulas por párpado, con conductos de 0.08 mm de diámetro que desembocan en el margen palpebral (17, 47, 63, 74). Están unidos entre sí por pequeños conductos laterales con grandes conductos excretores centrales, compuestos de epitelio estratificado escamoso. Cerca del margen palpebral, este cambia a epitelio pseudoestratificado ciliado columnar. Se dice que las glándulas tarsales están más desarrolladas en el gato (47). En esta especie, los conductos de las glándulas tarsales se encuentran en un surco poco profundo cerca del limbo anterior palpebral. Se encuentran unas cuantas glándulas tarsales más en el

párpado inferior que en el superior. Existen cerca de 28 conductos en el párpado superior del gato (17). Las glándulas tarsales producen una secreción lipídica que ayuda a prevenir la evaporación de la película lagrimal precorneal (42).

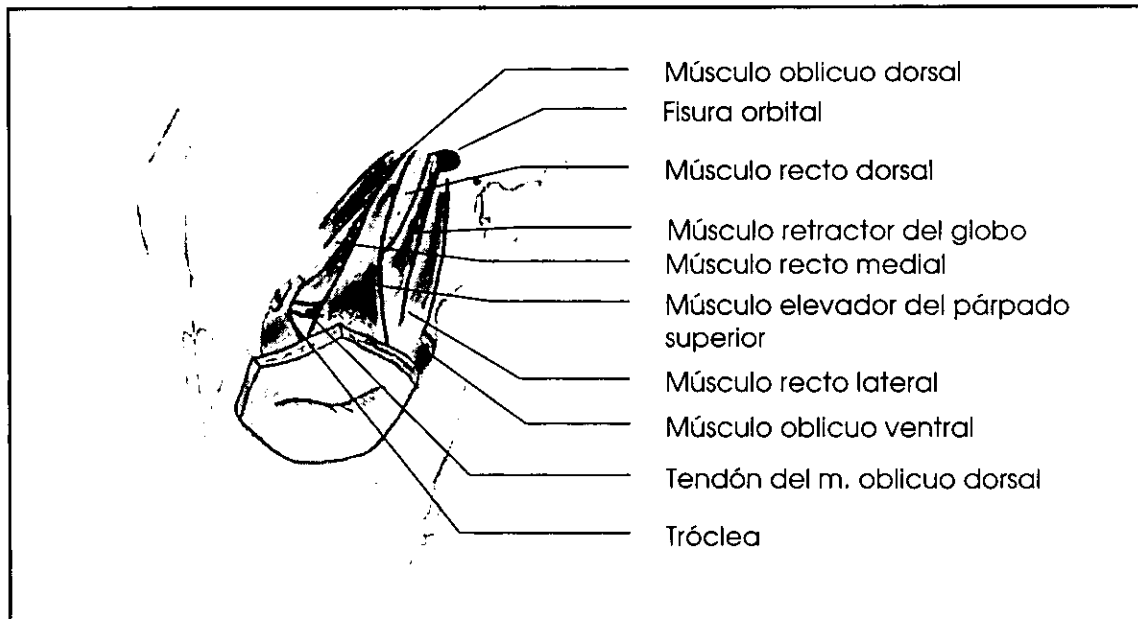


Figura 2-6. Aspecto dorsal de los músculos extrínsecos del ojo (53).

Conjuntiva palpebral.

La conjuntiva palpebral es la membrana mucosa de la superficie interna del párpado. Está compuesta por tejido conectivo laxo. Se inicia en el borde palpebral interno y continúa hasta formar un doblés, o ángulo, llamado fórnix conjuntival, el cual divide a la conjuntiva palpebral de la conjuntiva bulbar. La lámina epitelial de la conjuntiva puede ser de tejido columnar estratificado o escamoso estratificado con células caliciformes. En el punto de reflexión sobre la superficie de la córnea es escamoso estratificado. La conjuntiva se refleja desde los párpados hasta el bulbo del ojo, uniéndose a éste cerca del limbo corneal, donde se transforma en el epitelio anterior de la córnea (1, 17, 74). La conjuntiva palpebral contiene folículos linfoides y células caliciformes productoras de moco. También se encuentran algunas glándulas lagrimales accesorias (también llamadas glándulas de Krause y de Wolfring) las cuales ayudan a producir la película precorneal lagrimal (1).

El fórnix conjuntival del párpado inferior no está tan alejado del borde palpebral inferior como la reflexión similar del párpado superior (17).

Irrigación.

La irrigación de los párpados está dada por las ramas de la arteria lagrimal, cigomática (oftálmica) y facial. La conjuntiva palpebral está irrigada por las arterias palpebral y ciliar anterior (53).

Drenaje linfático.

Drena a los nódulos linfáticos mandibulares (17, 53).

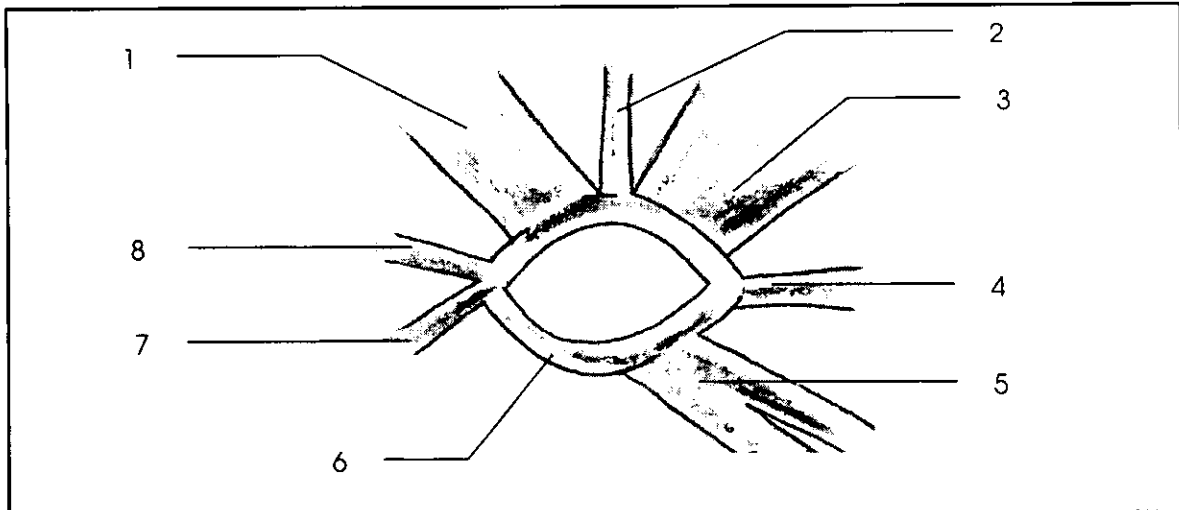


Figura 2-7. Acciones e inervación de los músculos palpebrales (70).

1. M. elevador del ángulo medial, inervado por la rama palpebral del nervio facial (E).
 2. M. elevador del párpado superior, inervado por el n. oculomotor (E).
 3. M. frontal, por la rama palpebral del n. facial (E).
 4. M. retractor del ángulo lateral, por la rama palpebral del n. facial
 5. M. malar (D).
 6. M. orbicular del ojo, por la rama palpebral del n. facial (C).
 7. Parte lagrimal del m. orbicular del ojo.
 8. Ligamento palpebral medial.
- Clave: (E) elevador del párpado superior.
(D) depresor del párpado inferior.
(C) constrictor de la fisura palpebral.

Inervación.

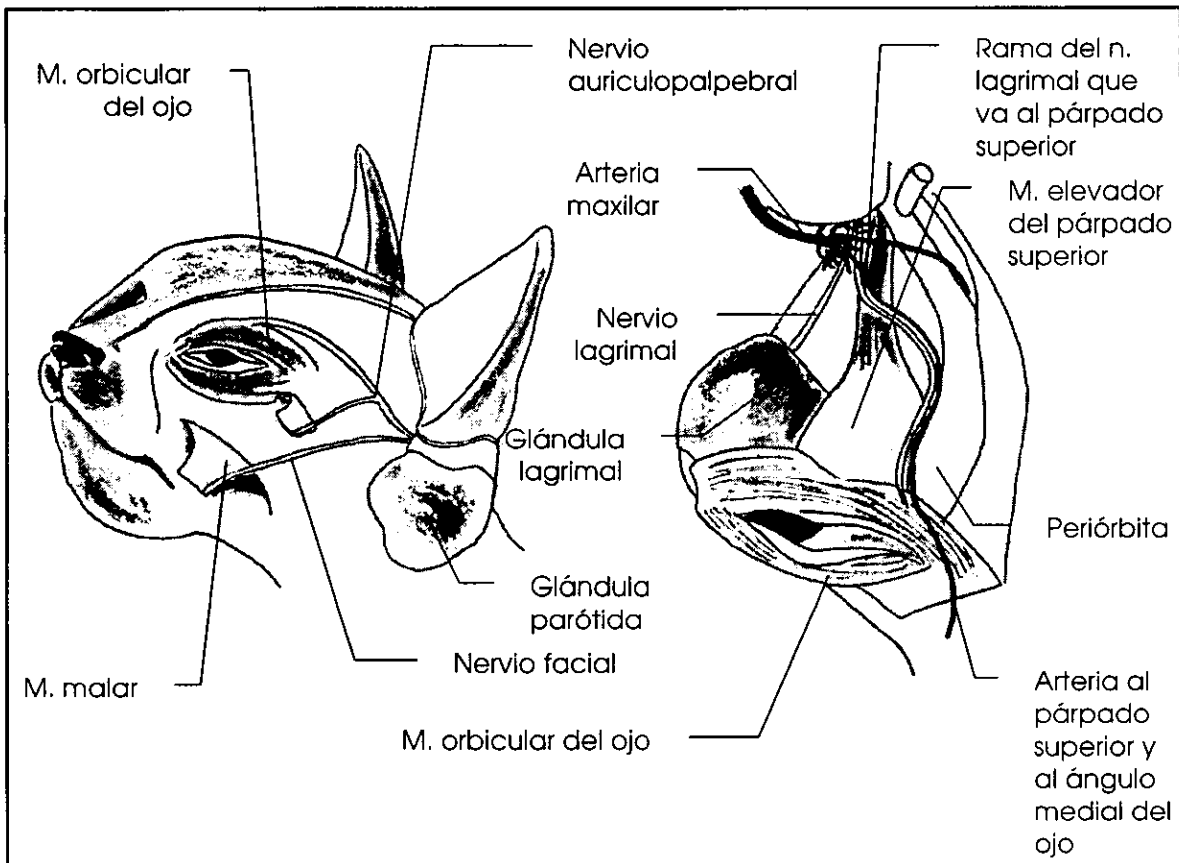
Dada por la rama palpebral del VII par craneal (facial) en forma eferente, y por la rama oftálmica y maxilar del V par craneal (trigémino) en forma aferente. El músculo orbicular del ojo está inervado por la rama palpebral del VII par craneal (facial). El elevador palpebral superior por el III par craneal (oculomotor). El músculo malar por la rama bucodorsal del nervio facial. El músculo frontal y el elevador del ángulo medial del ojo por el nervio palpebral (figs. 2-7, 2-8, 2-9) (16, 27, 42, 47, 70, 77).

FISIOLOGÍA

Los párpados son uno de los elementos más importantes para la protección del ojo, su función principal es proteger al segmento anterior del ojo, sobre todo a la córnea. Los mecanismos de protección son:

- a) Protección física ante el trauma, con la ayuda de la capacidad sensorial y protectora de las ciliadas sobre el párpado superior (en los perros).

- b) Las secreciones producidas por las glándulas tarsales y las células caliciformes dentro de la conjuntiva, colaboran con las capas lipóide (externa) y de mucopolisacáridos (interna) de la película precorneal.
- c) La fisura palpebral enmarca dicha película precorneal. Si el párpado se abre demasiado (como ocurre en las razas caninas braquiocefálicas) resulta una inestable película lagrimal. También la secreción producida por las glándulas sebáceas en el margen palpebral evitan que las lágrimas pasen sobre el borde del párpado y caigan a la cara.
- d) Diseminación de las lágrimas en la superficie de la córnea por el parpadeo periódico.
- e) Intervienen en la regulación de la cantidad de luz dirigida hacia el ojo.
- f) Ayudan a remover desechos y pequeños cuerpos extraños.
- g) Ayudan a remover la lágrima hacia el conducto nasolagrimal (por la acción de bombeo del músculo orbicular del ojo), promoviendo una película precorneal con espesor uniforme y propiedades ópticas adecuadas (17, 25, 27, 47, 53, 70, 74, 77, 79).



Figuras 2-8 y 2-9. Cabeza de gato mostrando la inervación del músculo orbicular del ojo y vista dorsal del ojo del gato después de retirar al hueso frontal (17).

En el perro y el gato, el párpado superior es más móvil que el inferior y, en el caso particular del perro, presenta pestañas (53, 63). Al ser tocada una pestaña por un objeto o una partícula, se estimula el plexo nervioso y se produce el reflejo protector del parpadeo. Están inervadas por ramas del V par craneal. Los grandes pelos táctiles

(vibrisas) se hallan alrededor de los ojos y de la cara en los animales domésticos, éstos también están inervados por ramas del V par craneal (17, 47).

La frecuencia normal de parpadeo en el perro es de 15 a 25 en un lapso de 5 minutos, aunque puede ser mayor. Los párpados cierran juntos cerca del 85% de las veces.

El parpadeo produce una acción de bombeo que ayuda a mover las lágrimas hacia el conducto nasolagrimal por la acción del músculo orbicular del ojo (79). Este músculo está anclado en la pared medial de la órbita por el ligamento palpebral medial. El saco lagrimal se aloja posterior y ventral a este ligamento. La parte lagrimal del músculo orbicular del ojo pasa por detrás del saco lagrimal. Durante la contracción del músculo orbicular, las fibras insertadas en su pared lateral lo traccionan, creando una presión negativa dentro del saco que atrae las lágrimas hacia el mismo. Durante la relajación del orbicular, el saco recibe presiones que llevan a las lágrimas hacia el conducto nasolagrimal, contribuyendo a su drenaje (70, 74).

Reflejos de los párpados.

En la neuro-oftalmología veterinaria se consideran tres tipos de reflejos en el globo ocular y sus estructuras anexas:

- a) Reflejos de tipo sensorial. Se presentan como respuesta del organismo a un estímulo que es recibido por las estructuras visuales del ojo, estos reflejos son:
 - Reflejo de parpadeo por amenaza.
 - Reflejo a la presencia de luz brillante.
- b) Reflejos de tipo sensitivo. Son la respuesta a estímulos recibidos por las estructuras sensitivas del ojo, y son:
 - Reflejo palpebral.
 - Reflejo corneal.
- c) Reflejos fotomotores. Aquí intervienen tanto los estímulos nerviosos sensoriales (vía aferente), como la respuesta motriz (vía eferente) a los estímulos.

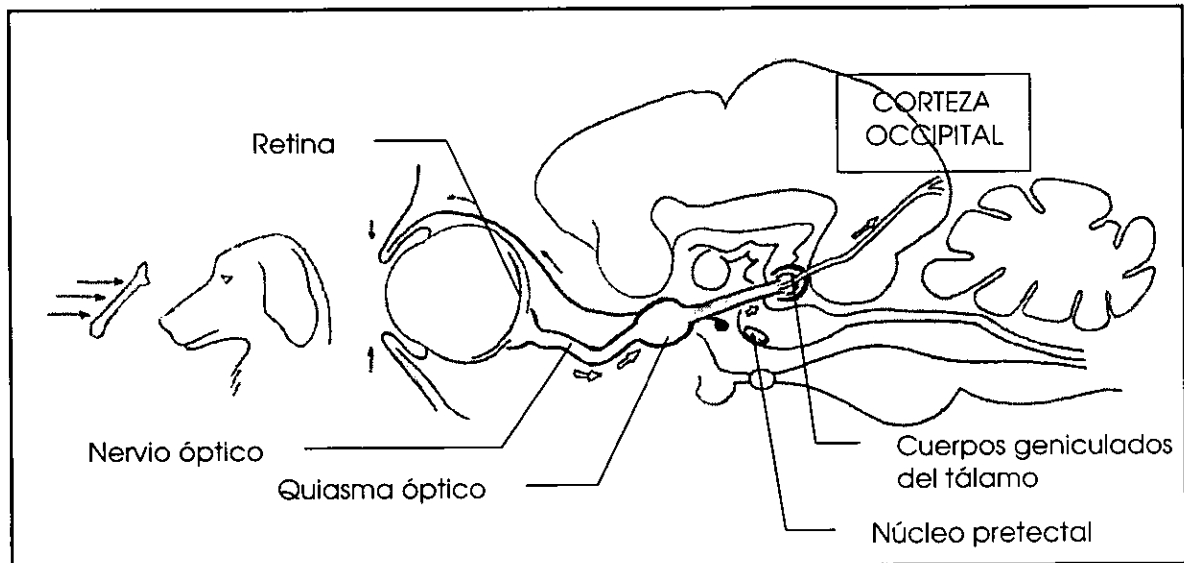


Figura 2-10. Reflejo de parpadeo a la amenaza (15).

Reflejos de tipo sensorial

Reflejo de parpadeo a la amenaza (fig. 2-10).

Se presenta cuando se dirige un objeto hacia el ojo. La respuesta es el cierre de los párpados o el movimiento de la cabeza. Las vías ópticas sensoriales que intervienen son:

- Retina y nervio óptico.
- Quiasma óptico.
- Cuerpos geniculados del tálamo.
- Vías óptico corticales que se dirigen a la corteza occipital.

En la vía aferente, se necesita que la información del objeto amenazante se transmita a la corteza occipital, desde los núcleos cerebrales, e incluye la conciencia del sujeto.

La respuesta se realiza por los núcleos motores del nervio facial (par craneal VII), produciendo el cierre de los párpados, por la excitación motriz del músculo orbicular del ojo, inervada por el nervio auriculopalpebral, que es una rama del nervio facial. Esta respuesta, por lo tanto es voluntaria, a diferencia del reflejo a la presencia de luz brillante, donde la respuesta es involuntaria.

Reflejo a la presencia de luz brillante.

Se presenta cuando un estímulo intenso de luminosidad llega al ojo. Las vías ópticas que intervienen son:

- Nervio óptico.
- Quiasma óptico.
- Colículos rostrales.
- Tectum mesencefálico.

Se trata, por lo tanto, de una integración subcortical del mensaje nervioso, sin necesidad de la conciencia del sujeto.

La respuesta se realiza de manera inconsciente por la relación entre los centros subcorticales y los núcleos motores del nervio facial, continuando por la misma vía eferente a la rama auriculopalpebral del nervio facial, produciendo la contracción del músculo orbicular del ojo y, por lo tanto el cierre de los párpados.

Reflejos de tipo sensitivo

Reflejo palpebral (fig. 2-11).

Este reflejo se presenta al tocar los párpados y se manifiesta por la sensibilidad de la piel de la cara, la cual está inervada por el nervio trigémino (par craneal V). La vía aferente la constituye el nervio trigémino, su núcleo y las relaciones entre este núcleo y el núcleo del nervio facial. La vía eferente está dada por el núcleo del nervio facial y su rama auriculopalpebral, lo que ocasiona la contracción del músculo orbicular del ojo.

Reflejo corneal (fig. 2-12).

Se manifiesta al tocar la córnea, ocasionando el cierre de los párpados. La vía aferente está dada por los nervios ciliares largos, que inervan a la córnea, nervio

nasociliar, rama oftálmica del nervio trigémino y del facial. La vía eferente la forman el núcleo del nervio facial, el nervio facial y la rama auriculopalpebral, provocando la contracción del músculo orbicular.

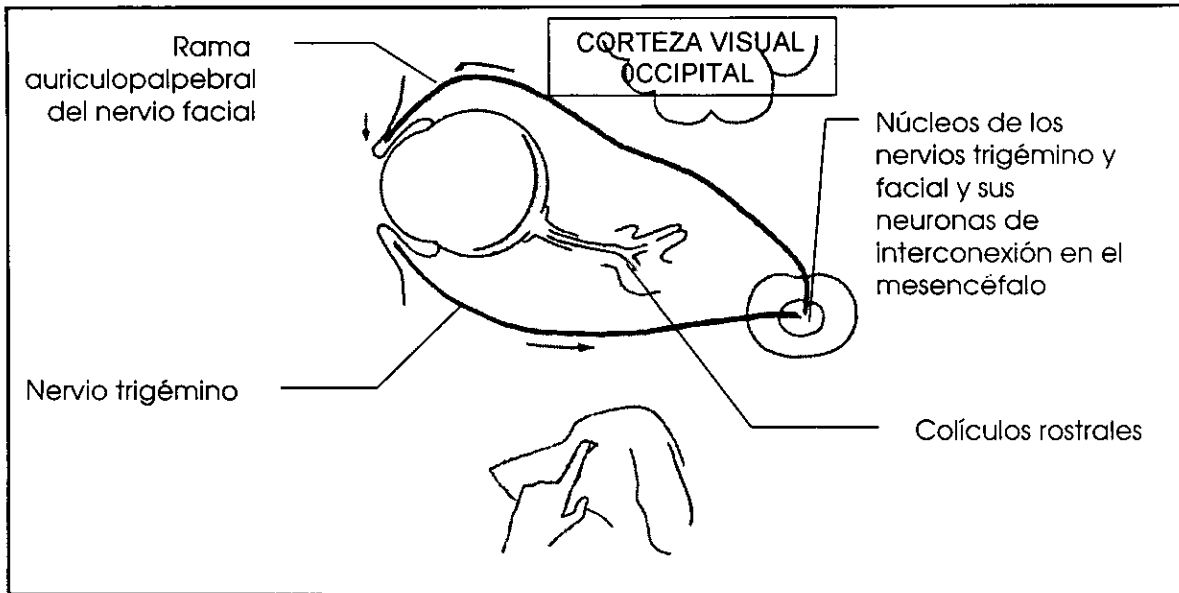


Figura 2-11. Reflejo palpebral (15).

Reflejos fotomotores.

Se relacionan con los estímulos luminosos y la respuesta de la pupila ante éstos (15). Este tipo de reflejos se comentará en la parte correspondiente a la fisiología del iris, en el capítulo 8 referente a la túnica vascular.

Los reflejos palpebrales se pueden clasificar según el siguiente cuadro (15, 67):

Reflejo	Reflejo sensitivo		Reflejo sensorial	
	Palpebral	Corneal	Amenaza	Luz brillante
Estímulo	Tocar párpados	Tocar córnea	Gesto amenazante	Luz brillante
Receptores	Rama oftálmica (superior) Rama maxilar (inferior)	Rama oftálmica	Conos y bastones	Conos y bastones
Aferente	Nervio trigémino	Nervio trigémino	Nervio óptico	Nervio óptico
Eferente	Nervio facial	Nervio facial	Nervio facial	Nervio facial
Efectores	Músculos palpebrales	Músculos palpebrales	Músculos palpebrales	Músculos palpebrales
Efecto	Parpadear	Parpadear	Parpadear	Parpadear

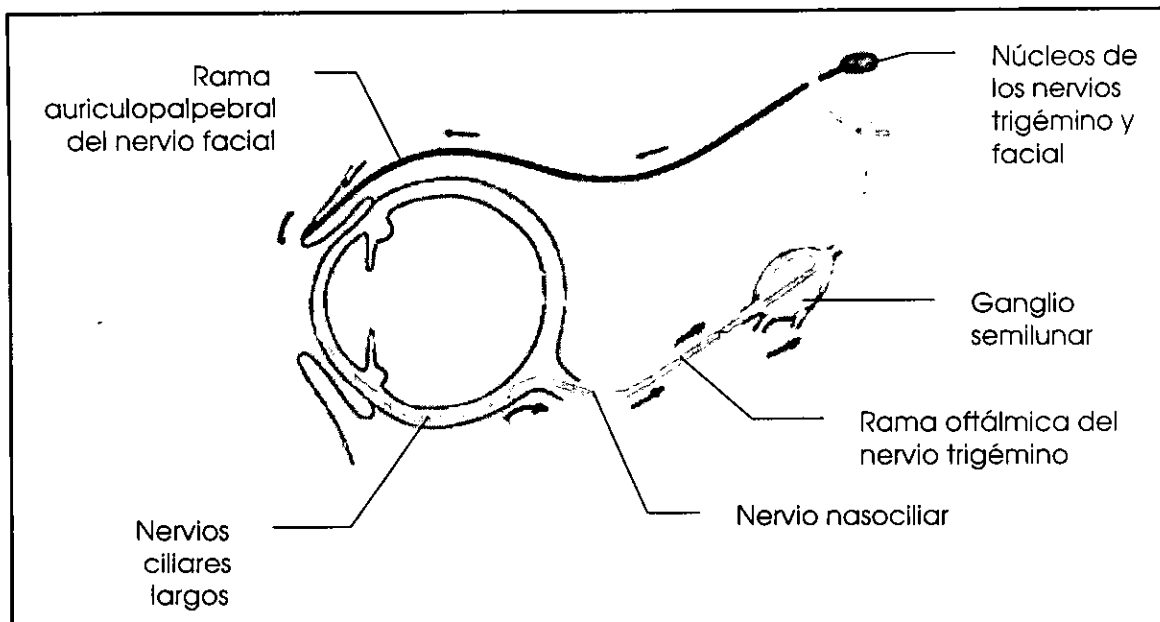
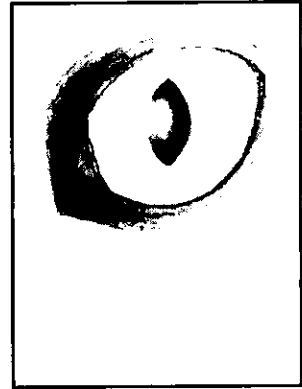


Figura 2-12. Reflejo corneal (15).

La apertura de los párpados en los cachorros de los perros y de los gatos es, por lo general, entre los 14 y los 7 días respectivamente, ya que antes de este tiempo, las funciones de la inervación, de los músculos de los párpados y de las glándulas lagrimales no están desarrolladas de manera completa, lo que pudiera producir queratitis por exposición si los párpados son abiertos antes de este tiempo. De lo contrario, si los párpados no se abren en este lapso puede producirse una infección, sobre todo por estafilococos, resultando una oftalmía neonatal (67, 70).

CAPÍTULO 3



Órbita y músculos extraoculares

ANATOMÍA

ÓRBITA

La órbita es la cavidad cónica que contiene al globo ocular, nervio óptico, músculos extraoculares, glándula lagrimal, vasos sanguíneos y nervios, tejido adiposo y vaina bulbar. Separa al ojo de la cavidad craneana rodeándolo y protegiéndolo.

En los animales domésticos existen dos patrones orbitarios:

1. Órbita ósea incompleta: presente en el perro y el gato.
2. Órbita ósea completa: presente en el caballo, el bovino, la oveja y el cerdo (53, 70).

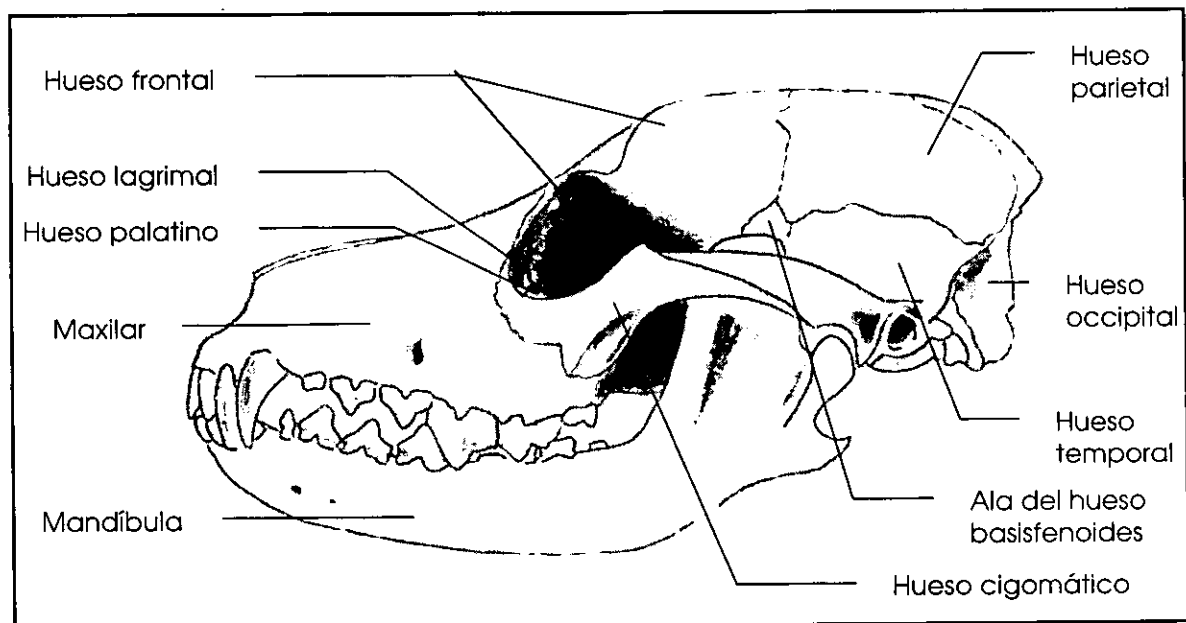


Figura 3-1. Principales huesos del cráneo del perro (11, 53, 56, 70).

El tamaño, forma y posición de la órbita depende del tiempo de actividad visual y de la conducta alimenticia del animal, factores que tienen una marcada influencia en la anatomía general del ojo (47). Los límites de la órbita de los humanos y los animales herbívoros están constituidos con hueso completo, mientras que en el perro y el gato, ambos carnívoros, sólo la pared medial y parte del techo son óseos (fig. 3-1, 3-3) (53, 64, 71).

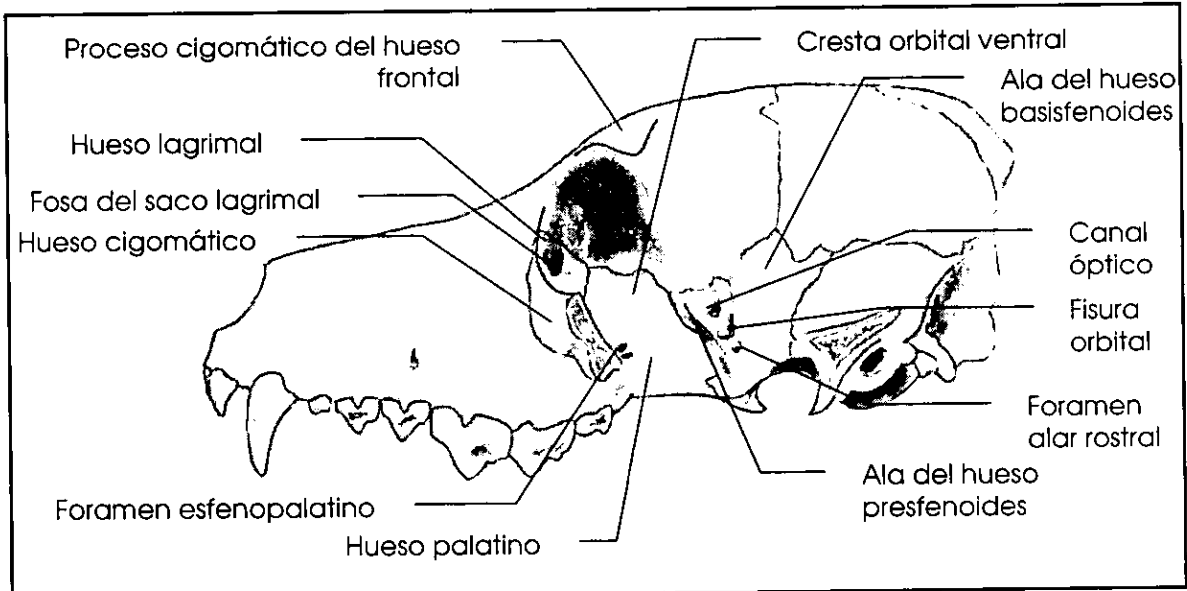


Figura 3-1. Vista lateral del cráneo del perro, el arco cigomático ha sido retirado (11, 17, 53, 70).

Los huesos que forman a la órbita de los perros y de los gatos son el frontal, el lagrimal, el presfenoides, el cigomático, el palatino y el maxilar. Otras estructuras que también integran a la órbita son el ligamento orbital, la glándula salival cigomática, el músculo pterigoideo medial y un colchón de grasa ventral (17, 27, 34, 49, 53, 64, 70, 71, 74).

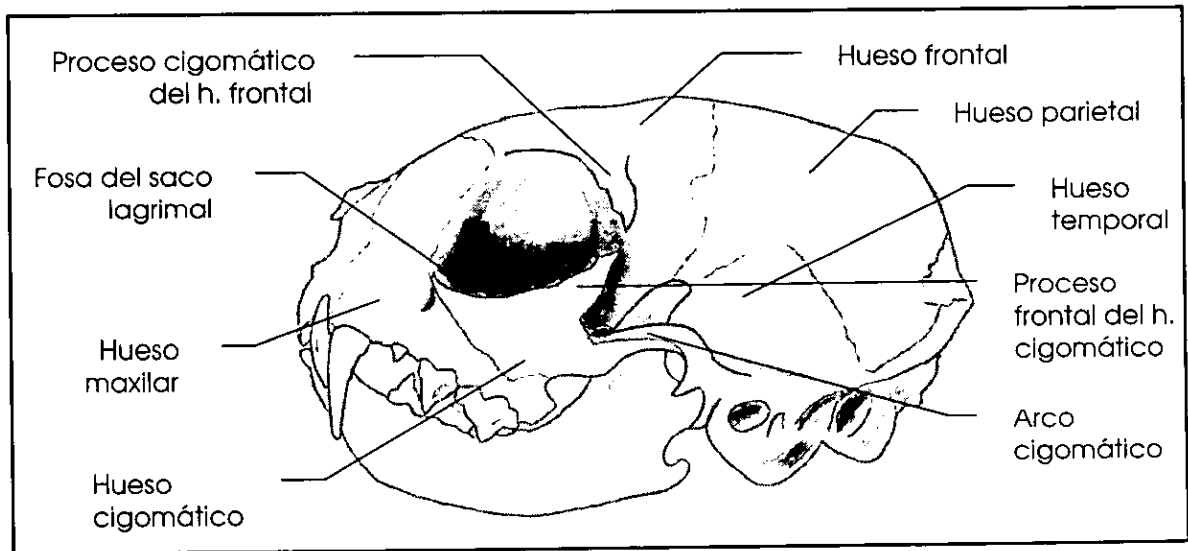


Figura 3-3. Vista lateral del cráneo del gato (56).

Debido a la cantidad de razas que existen en la especie canina, los perros presentan variaciones en la forma de su cráneo. Esto tiene un efecto en el tamaño de los huesos que constituyen a la órbita, además de la posición del globo ocular dentro de la misma. Existen tres tipos de cráneos caninos:

- a) Dolicocefálicos. Son cráneos alargados debido a la longitud de sus huesos faciales. Aquí las órbitas son profundas y los ojos están retraídos.
- b) Mesocefálicos. El cráneo presenta una longitud y una anchura media. Los ojos están a una exposición promedio
- c) Braquiocefálicos. El morro es acortado en comparación con la porción craneal. La órbita es poco profunda y los ojos están protuidos (10, 17).

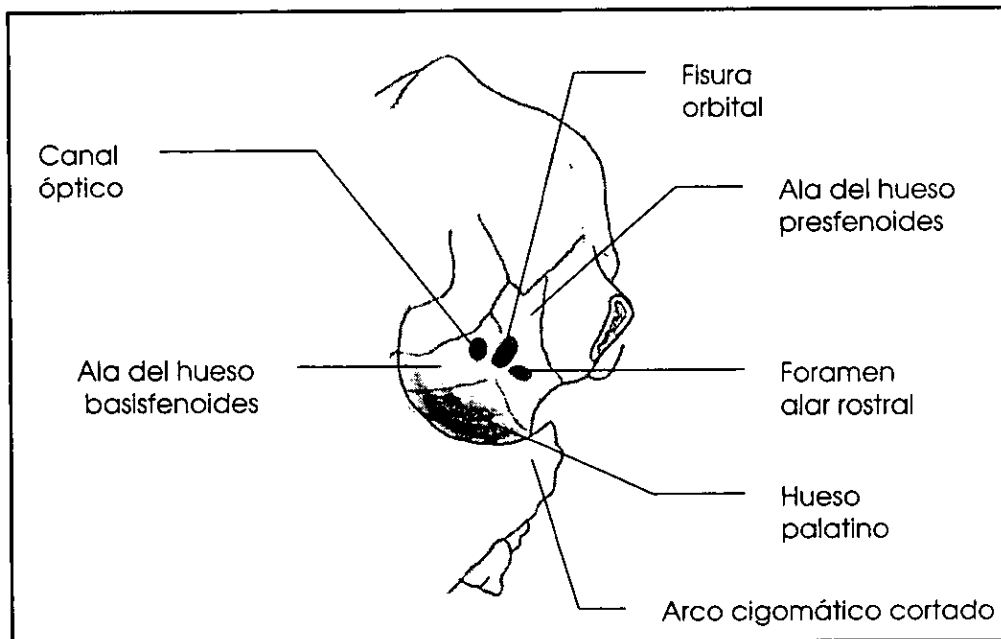


Figura 3-4. Ápice de la órbita (17, 53).

El ápice de la cavidad orbital se localiza hacia posterior, en la fisura orbital (fig. 3-4). La base del cono que forma, se encuentra hacia anterior, en el septo orbital. Este septo es una vaina de tejido conectivo que se extiende de la periórbita, en el margen orbital, a la placa tarsal de los párpados (49).

Casi cuatro quintas partes de la circunferencia que forma el margen de la órbita, son óseas. La otra quinta parte, que es dorsolateral, se completa con el ligamento orbital. En el caso de los perros braquiocefálicos, el ligamento presenta una mayor proporción de la circunferencia. El ligamento orbital es una banda fibrosa delgada, que contiene algunas bandas de músculo liso, y une al proceso cigomático del hueso frontal con el proceso frontal del hueso cigomático. Este ligamento también actúa como la unión lateral del músculo orbicular del ojo y el ligamento palpebral lateral (17, 53, 63, 70).

Los segmentos dorsal y medial del margen orbital están formados por el hueso frontal. En la mayoría de los perros y en los gatos, el hueso lagrimal forma una pequeña porción del margen orbital ventromedial. En algunos cráneos caninos

braquiocefálicos, el hueso lagrimal está confinado a la pared orbital medial y no contribuye al margen. Sólo en estos casos el margen orbital ventromedial está formado por el hueso maxilar. El margen orbital ventrolateral es el borde orbital del hueso cigomático (17, 27, 49, 53, 64, 71).

La pared medial de la órbita está formada por la parte orbital del hueso frontal y palatino. El ala orbital del presfenoides forma la parte caudal de la pared medial y contiene al canal óptico.

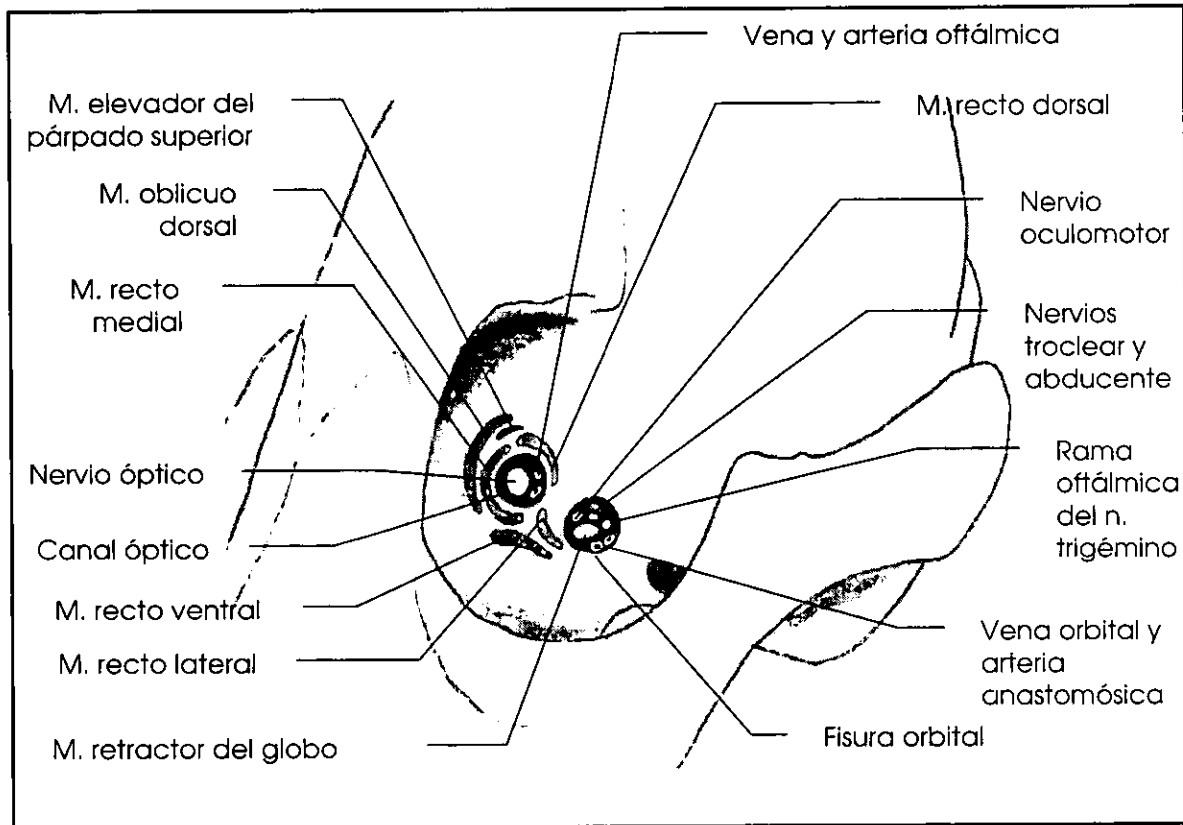


Figura 3-5. Ápice de la órbita mostrando las estructuras relacionadas con el canal óptico y la fisura orbital (47).

En la pared medial de la órbita se encuentran cinco forámenes. En el ápice están el canal óptico y la fisura orbital. El nervio óptico y la arteria oftálmica interna abandonan la cavidad craneal a través del canal óptico. La fisura orbital entre los huesos basiesfenoide y preesfenoide recibe el paso de los nervios oculomotor, troclear, abducente y oftálmico, la rama anastomósica de la arteria oftálmica externa y el plexo venoso orbital. El músculo retractor del globo se origina dentro de la fisura orbital. Rostrodorsal a la fisura se encuentran dos pequeños forámenes etmoidales que transmiten la arteria etmoidal externa y el nervio etmoidal. Hacia rostral, la fosa que ocupa el saco lagrimal en el centro de la cara orbital del hueso lagrimal. Esta fosa está continuada hacia rostromedial por el canal lagrimal, la cual contiene al conducto nasolagrimal (fig. 3-4, 3-5) (34, 53, 70, 71).

Forámenes orbitales y estructuras asociadas (fig. 3-5) (47).

Foramen o fisura	Estructura asociada con el foramen
Alar, Rostral	Arteria maxilar, nervio maxilar
Etmoidal	Nervio etmoidal y vasos
Orbital	Nervios abducente, oftálmico, troclear y oculomotor
Óptico	Nervio óptico, arteria oftálmica interna
Redondo	Nervio maxilar
Supraorbital	Nervio supraorbital y vasos

La cresta orbital ventral del hueso frontal demarca el límite entre la órbita hacia dorsal y la fosa pterigopalatina, más ventral. La cresta no es prominente, es el límite dorsal del origen del músculo pterigoideo medial, el cual forma el tercio medial del piso orbital. La glándula salival cigomática descansa en la superficie dorsolateral de este músculo. Esta superficie dorsal también forma piso orbital, del margen lateral a la cercanía del nervio óptico. La arteria y el nervio maxilar atraviesan al piso de la órbita cercano al ápice de ésta (53, 64).

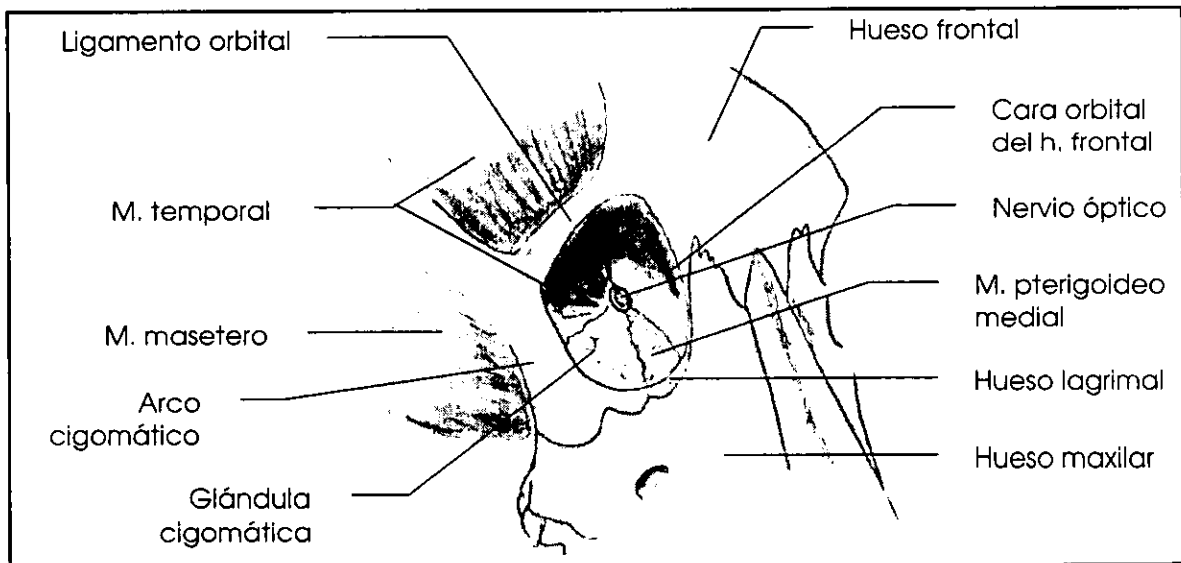


Figura 3-6. Vista del ápice de la órbita con el contenido orbital extirpado (53).

El aspecto medial del techo de la órbita está formado por el proceso cigomático del hueso frontal. En la cara medial de este proceso es frecuente encontrar un foramen muy pequeño. A través de éste pasa una pequeña arteria. En los gatos no está presente este foramen, por lo que cualquier nervio o arteria que pase por la cabeza, tiene que ir sobre el borde orbital dorsal. En algunos cráneos, existe una depresión palpable en la superficie ventral del proceso cigomático del hueso frontal en el origen del ligamento orbital, ésta es la fosa de la glándula lagrimal (17, 53).

La órbita está limitada, en su porción dorsolateral y lateral, por la superficie medial de los músculos temporales y del ligamento orbital. La rama de la mandíbula está enclavada en el masetero y los músculos temporales, caudal a la órbita,

estructuras que completan el margen orbital anterior en conjunto con el arco cigomático (fig. 3-6) (49, 53, 63). Cuando la boca está abierta, la parte dorsal de la rama de la mandíbula se mueve hacia rostral, comprimiendo el contenido orbital. El dolor al abrir la boca es un signo cardinal de absceso retrobulbar. La atrofia por denervación del masetero y de los músculos temporales agrandan la órbita y se observa un hundimiento del ojo (enoftalmos). Al contrario, la tumefacción de los músculos de la masticación, como en una miositis eosinofílica, resulta en exoftalmos.

Ya que el piso de la órbita está compuesto por tejido blando, un absceso retrobulbar se puede drenar dentro de la cavidad oral por medio de disección roma más atrás del último molar. De la misma manera, la parte lateral de la órbita puede ser explorada en cirugía, sin la necesidad de resección ósea (53, 70).

La glándula salival cigomática forma las dos terceras partes del piso de la órbita de los perros. Esta glándula se extiende dorsal y lateral a los músculos pterigoideos, y ventral a la periórbita y al margen ventral orbital. Anterior y lateral está limitado por la superficie orbital del hueso cigomático. La glándula se extiende al canal óptico. Tiene la forma de una pirámide burda y se ahusa hacia caudomedial. La superficie de la glándula es lobulada y cubierta por una delgada cápsula y una capa de grasa (fig. 3-7) (27, 53). La glándula cigomática no participa en la conformación de la órbita del gato (27).

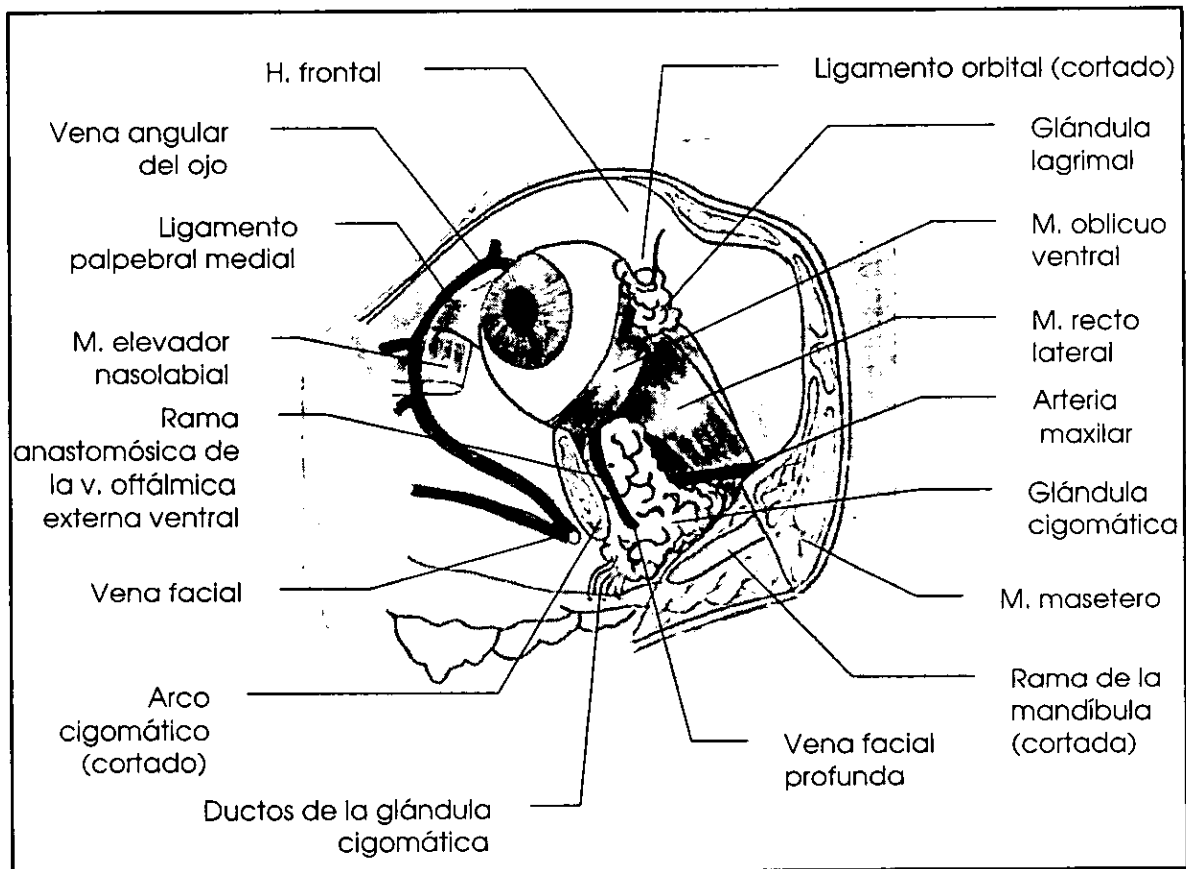


Figura 3-7. Parte lateral de la órbita, se ha removido el arco cigomático, la rama de la mandíbula y los músculos masetero y temporal (53).

Dimensiones de la órbita (47)

	Perro (mm)	Gato (mm)
Diámetro orbital		
Ancho	29.2	24.0
Altura	28.8	26.0
Distancia entre órbitas	35.5	23.0
Profundidad de la órbita	49.0	----

Existen tres importantes estructuras fasciales en la órbita: la fascia muscular, la vaina bulbar (cápsula de Tenon) y la periórbita, además del tejido adiposo que protege al globo ocular (fig. 3-8).

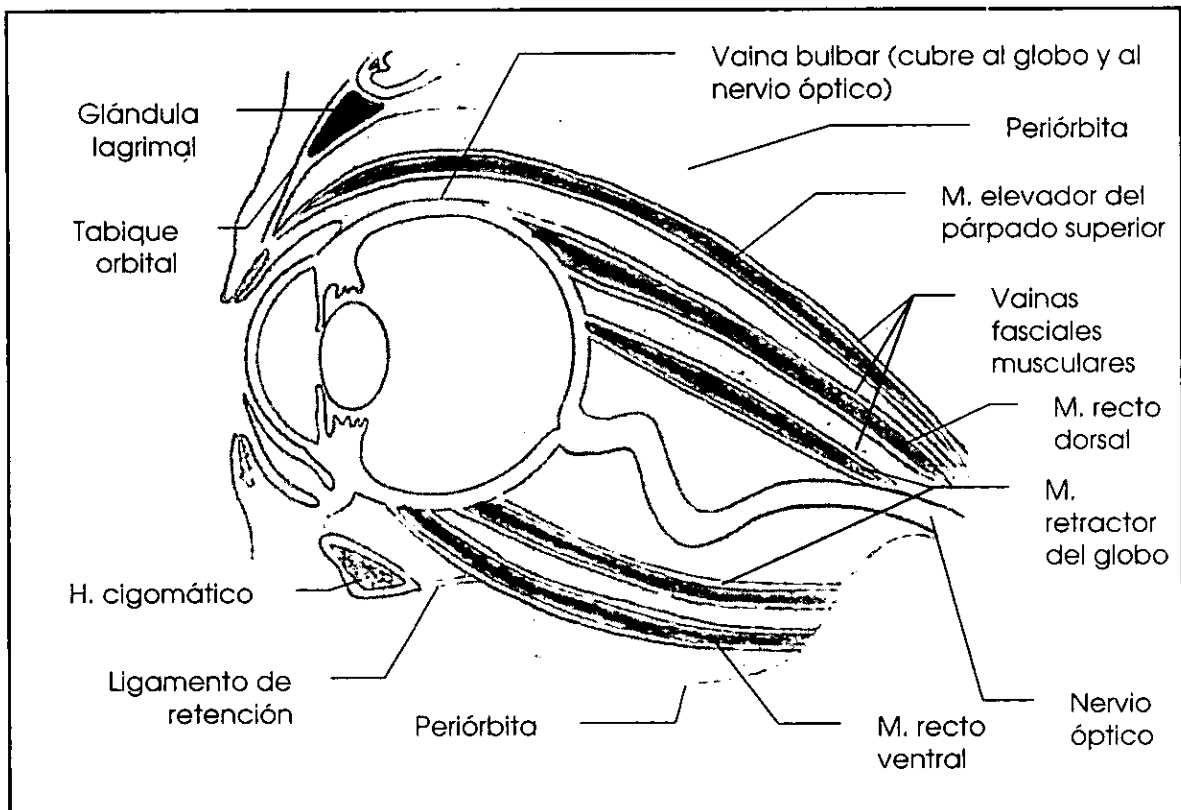


Figura 3-8. Corte sagital de la órbita (53, 63).

Fascia muscular (fig. 3-9).

La fascia muscular se divide en tres porciones:

- Fascia muscular superficial. Ésta se inserta hacia rostral en el septo orbital y hacia ventral con la base del tercer párpado. La glándula lagrimal se encuentra en la parte superficial de esta fascia. La fascia superficial también constituye el soporte del músculo elevador palpebral superior. Es más densa al nivel del globo ocular y

menos densa cerca del ápice orbital. La fascia está perforada por arterias, venas y nervios. La fascia superficial envía fibras entre los músculos rectos extraoculares (12, 19, 49, 53, 63).

- b) Fascia muscular media. Se origina desde el limbo y cubre al globo ocular. Es delgada en la parte ventral. Emite septos intramusculares que se unen con la fascia profunda. En el canto lateral, la fascia media se divide en láminas superficial y profunda. La lámina profunda se inserta en el ángulo lateral del tercer párpado y actúa como un ligamento de soporte. La lámina superficial actúa como la fascia superficial de la base del tercer párpado.
- c) Fascia profunda. Su origen es cerca del limbo, caudal a la fascia media y alcanza la parte ventral de la cavidad orbitaria. Se divide al nivel de la inserción del músculo oblicuo ventral en dos láminas. Una lámina superficial, mezclada con la aponeurosis de los músculos rectos ventral y lateral y con la aponeurosis rostral del músculo oblicuo ventral. Parte de las fibras aponeuróticas de estos dos músculos rectos perforan la fascia muscular profunda y se insertan en la esclera. La lámina profunda de la fascia muscular profunda se localiza en la porción profunda de los músculos rectos y los separa del músculo retractor del bulbo; esta lámina se mezcla con la fascia muscular media a través del septo intermuscular (19, 49, 53, 76).

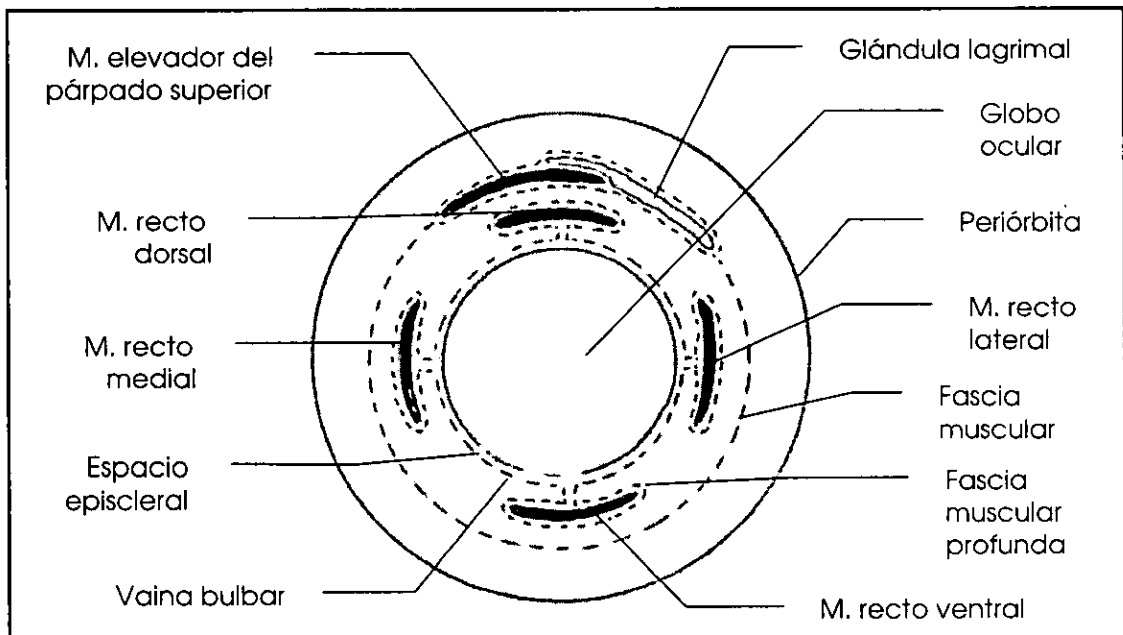


Figura 3-9. Esquema de las fascias de la órbita en un corte transversal. Parte de la fascia profunda forma a la vaina bulbar (19).

Vaina bulbar (fig. 3-10).

La vaina bulbar es una cápsula fibrosa delgada que envuelve al globo ocular, desde el limbo al nervio óptico. Está separada de la esclera por el espacio episcleral. Un delicado puente de trabéculas fibrosas en este espacio fija la vaina al globo ocular.

Hacia anterior, la vaina termina en el tejido episcleral y subconjuntival del limbo. Está bien desarrollada en el perro y complica ciertos procedimientos quirúrgicos oftalmológicos (12, 19, 53, 63).

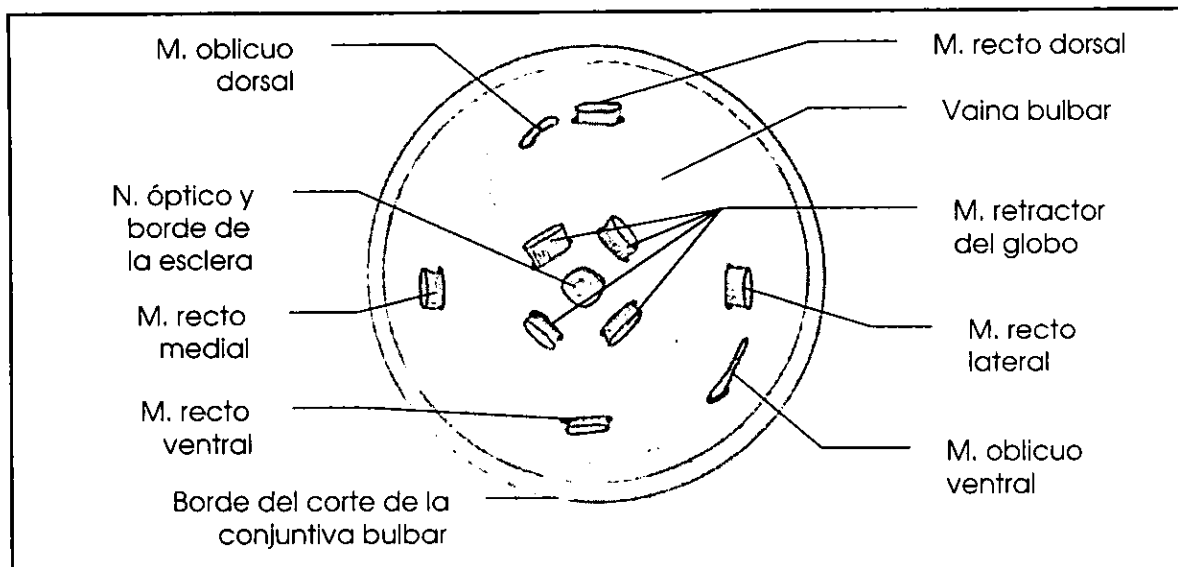


Figura 3-10. Ojo izquierdo removido para mostrar la parte anterior de la vaina bulbar con la entrada de los músculos extraoculares (53).

Cerca del ecuador del globo, la vaina bulbar se refleja alrededor de los tendones de inserción de los músculos extraoculares, así pasan a través de sus inserciones en la esclera. La vaina bulbar se continúa con la fascia muscular a estos puntos. Hacia posterior, la vaina se continúa con la fascia muscular, envolviendo a los vasos y nervios ciliares y adosándolos a la vaina externa del nervio óptico (53, 74).

Periórbita (fig. 3-8).

La estructura fascial de la órbita más fuerte y reconocible es la periórbita. Ésta es una membrana fibrosa cónica multilaminar que rodea al globo ocular a la que están asociados músculos, nervios y vasos. La periórbita es una estructura que presenta doble capa, superficial y profunda. La cara medial del ligamento orbital se funde con la periórbita por medio de bandas fibrosas. La periórbita está en contacto con los músculos pterigoideo y temporal y la glándula salival cigomática. En el perro, la periórbita y el periosteo orbital están típicamente distinguidos y separados. Hacia medioventral se pueden encontrar bandas fibrosas unidas a la capa superficial de la periórbita con el periosteo (12, 19, 53, 63, 70).

El ápice de la periórbita está adherido a los márgenes de la fisura orbital y el canal óptico. En estos sitios la periórbita se continúa con la duramadre encefálica y la vaina externa del nervio óptico. Los músculos extraoculares se originan de la periórbita adyacente a la fisura orbital. Los nervios craneales del ojo y los vasos oftálmicos internos y externos entran al cono orbital por este ápice. La base del cono periorbital es el margen orbital. En el margen orbital la periórbita se refleja sobre el periosteo de los huesos faciales. Una membrana de tejido conectivo, el septo orbital,

se extiende desde la periórbita al margen orbital hasta mezclarse con el tarso de los párpados. El septo orbital es el límite anterior de la órbita (12, 19, 53, 70).

La fascia periorbital contiene fibras de músculo liso que llegan a exhibir un grado de tono de manera normal. Estas acciones de tono de las fibras, empujan al globo ocular hacia fuera de la órbita, causando la prominencia normal del ojo, que se proyecta más allá del margen orbital. La estimulación simpática causa un marcado exoftalmos. De la periórbita se derivan fibras de músculo liso, músculos tarsales superior e inferior, las cuales se insertan en los párpados y ayudan a mantener su posición retraída cuando la hendidura palpebral está abierta. Otras fibras musculares lisas, derivadas de la periórbita, se insertan en la base del cartílago del tercer párpado y lo ayudan a mantener su posición retraída normal. La inervación de estas células musculares está derivada del ganglio cervical craneal. Las lesiones que llevan a su denervación causan enoftalmos, protusión del tercer párpado y caída del párpado superior (ptosis) (49, 53, 63).

La periórbita envaina al cono orbital, el cual contiene a los nervios craneales segundo, tercero, cuarto, sexto y a la rama oftálmica del quinto par craneal, además de arterias y venas, grasa, músculo liso, nervios autónomos y músculos extraoculares (49).

Tejido adiposo orbital.

El cuerpo adiposo orbital amortigua el contenido de la órbita y permite la rotación y retracción del globo ocular gracias a su maleabilidad. Se extiende y rodea a la periórbita excepto en la región del ligamento orbital. La grasa orbital está depositada dentro de la periórbita (cuerpo adiposo intraperiorbital) y entre la periórbita y las estructuras circundantes (cuerpo adiposo extraperiorbital), separándola de la órbita adyacente (12, 49, 53, 70, 74).

El tejido adiposo extraperiorbital se distribuye como isletas en varias regiones. A nivel del ligamento orbital, el tejido adiposo es triangular y se localiza en el eje longitudinal del cono ocular, éste es reemplazado hacia dorsomedial por algo de tejido conectivo que separa al periosteo de la capa externa de la periórbita. En el límite entre el lado medial y el dorsal de la órbita, el tejido conectivo se une con la capa superficial de la periórbita. Hacia medioventral hay otra isla de tejido adiposo que sostiene al globo ocular y a sus anexos. El tejido adiposo penetra por bandas de fibras esparcidas que unen a la capa superficial de la periórbita con el periosteo. Otra isla de tejido adiposo se encuentra en la porción medial del hueso cigomático en contacto con la glándula salival cigomática. Entre el músculo retractor del globo ocular y los músculos rectos se encuentran membranas delgadas de grasa intraperiorbital.

En la región del ligamento orbital no hay grasa periorbital. La grasa depositada puede ser extensiva ventral y lateral a la periórbita, sobre todo en los animales obesos. Un cuerpo graso prominente es un hallazgo constante en el margen ventral orbital (12, 53, 70).

Relaciones con otras estructuras.

Los senos paranasales están cerrados a la órbita. El seno frontal es dorsal y el seno maxilar es ventral a la órbita, la cavidad nasal y el laberinto etmoidal están localizados entre las paredes orbitales óseas mediales. La fosa craneal media de la cavidad craneal está asociada con la órbita hacia caudal, mientras que el piso ventral

de la órbita está cerca de la cavidad oral y de los alvéolos de los molares y premolares caudales superiores. Las lesiones presentes en estas estructuras pueden afectar a la órbita por extensión directa (49).

La vena oftálmica externa dorsal se localiza dentro del tejido adiposo extraperiorbital en la parte medial. La capa externa de la periórbita tiene bandas fibrosas asociadas con la ruta extraperiorbital de la vena, cercana al septo orbital. La vena atraviesa las dos capas de la periórbita alcanzando su interior.

La vena angular del ojo pasa entre las dos vainas en las que se divide la lámina superficial de la periórbita, a nivel del proceso cigomático del hueso frontal. La capa profunda de la periórbita se divide en dos láminas al nivel del ligamento orbital. Las arterias y las venas que se localizan y se protegen dentro de estas dos láminas, son las ramas de la arteria etmoidal externa, la vena lagrimal, la vena oftálmica externa ventral, la rama anastomósica de las venas oftálmicas dorsal y ventral, la rama anastomósica entre la vena facial profunda y la vena oftálmica externa ventral (12).

MÚSCULOS EXTRAOCULARES

Los músculos extraoculares están constituidos por músculo esquelético estriado. Este grupo lo constituyen los músculos recto dorsal, recto lateral, recto ventral, recto medial, oblicuo dorsal, oblicuo ventral y retractor del globo ocular, este último con cuatro vientres. La función de estos músculos es la de proporcionar movimiento al globo ocular dentro de la órbita (fig. 3-11).

Los músculos recto y retractor del globo son los más extensos, se originan en el ápice orbital y se extienden hacia rostral, con largas inserciones tendinosas al ecuador del globo. Los vientres del músculo retractor del globo son de diferente tamaño, el par ventral es el doble de tamaño que el par dorsal. Su origen es en la pared medial de la fisura orbital, dorsal al origen del músculo recto ventral. Una línea imaginaria que conecte los puntos de inserción del músculo retractor del globo en el globo ocular, forma un trapecoide. Esta forma, es el resultado del hecho de que uno de los dos músculos ventrales retractores del globo, se inserta ventral a la trayectoria e inserción del músculo recto medial, mientras que el otro está en una posición relativa similar al músculo recto lateral. Los dos músculos dorsales del retractor del globo se insertan en cada lado del músculo recto dorsal. Las inserciones de las cabezas musculares del retractor del bulbo están cerca del ecuador del globo ocular (figs. 3-12, 3-13).

Los músculos rectos tienen sus inserciones muy posteriores al limbo del globo ocular. Los músculos rectos dorsal, medial y lateral se originan en el margen del canal óptico, mientras que el músculo recto ventral tiene su origen en la pared medial de la fisura orbital. El músculo recto lateral cruza dorsal al origen del músculo recto ventral y provee un espacio entre los músculos recto dorsal y lateral, a través del cual el músculo retractor del globo y varios nervios pasan al cono de músculos. En el perro, los músculos rectos forman tendones planos que se insertan en la esclera, anterior a la inserción del músculo retractor del globo, 3 a 7 mm posterior a la unión corneoescleral. Anterior al ecuador del lente, el recto dorsal pasa sobre el tendón de

inserción del músculo oblicuo dorsal. El tendón del músculo recto ventral pasa profundo al músculo oblicuo ventral. En el gato los músculos rectos se unen en la esclera entre 0.9 y 1.0 cm posterior al limbo.

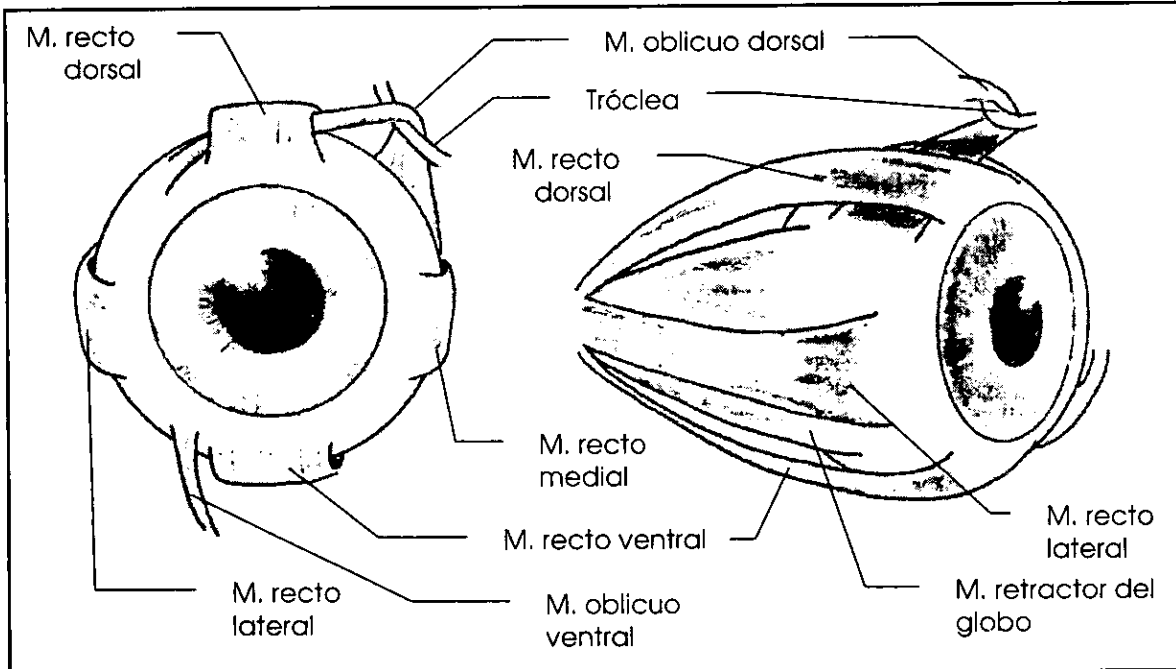


Figura 3-11. Músculos externos del globo ocular (34, 53).

El músculo oblicuo dorsal se origina en el margen dorsomedial del canal óptico, asociado con el origen de los otros músculos extraoculares. Corre hacia anterior dentro de la periórbita entre el recto dorsal y medial. Cerca del polo posterior del globo ocular, se origina un tendón delgado en el músculo que pasa por una pequeña tróclea cartilaginosa, localizada en el origen filogenético del músculo, en la pared medial de la órbita cerca del ángulo medial del ojo.

La tróclea es una pequeña lámina oval de cartilago hialino en la periórbita. Está sujeta con firmeza a la pared orbital medial por tres engrosamientos ligamentosos en la periórbita. El más grande de éstos corre del extremo anterior de la tróclea al periosteo, en la comisura medial de los párpados. Un ligamento corto se ancla en la tróclea al margen orbital dorsal, y un tercero corre del aspecto posterior del periosteo al proceso cigomático del hueso frontal.

El tendón del músculo oblicuo dorsal corre a través de una hendidura en la tróclea formada por una prominencia en la cara medial cerca del extremo anterior. Una vaina sinovial (vaina sinovial del músculo oblicuo dorsal) está presente en este punto. El tendón pasa sobre la tróclea y se dirige a través de un ángulo de cerca de 135° al vientre del músculo, para correr, de manera oblicua, hacia caudodorsal hasta su inserción en la esclera, profundo al tendón del músculo recto dorsal (fig. 3-12).

El músculo oblicuo ventral es el único músculo extraocular que se origina de un sitio alejado al ápice de la órbita. Se origina en una pequeña depresión en el hueso palatino, cerca de la unión de las suturas palatomaxilar y palatolagrimal. El músculo corre hacia dorsolateral, pasando ventral a la inserción del recto ventral. En la región

ventrolateral de la órbita, da origen a dos tendones cortos. El tendón más corto se inserta profundo a la inserción del recto lateral. La porción superficial pasa sobre el recto lateral y se inserta en el aspecto dorsolateral del globo ocular (11, 17, 19, 22, 47, 64, 74).

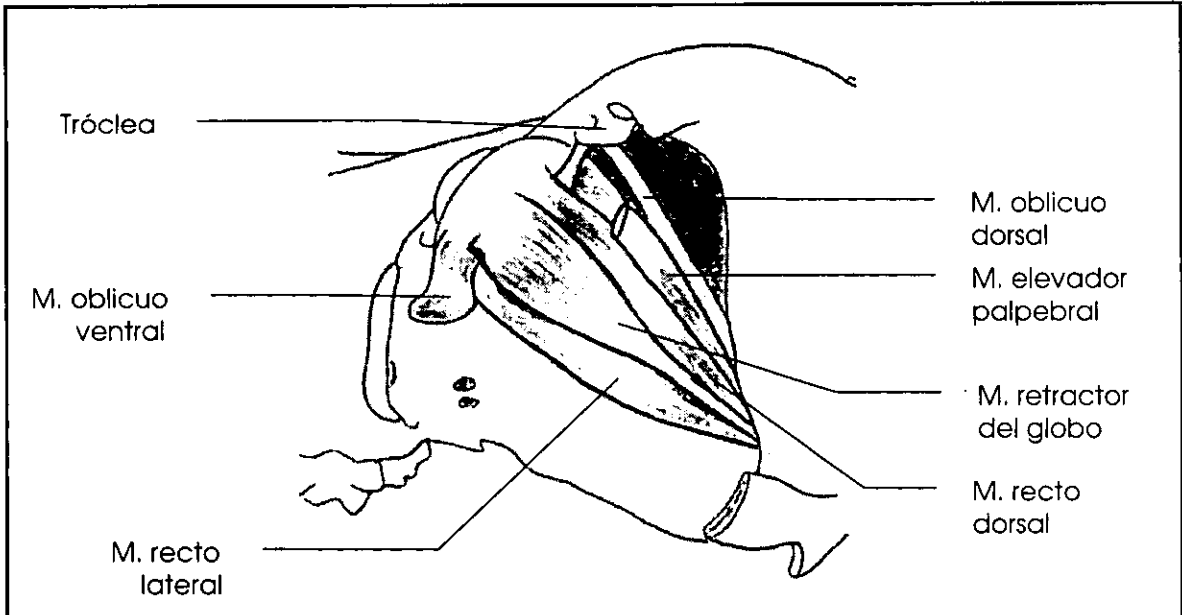


Figura 3-12. Vista audolateral de los músculos externos del globo ocular, se ha retirado el arco cigomático (53).

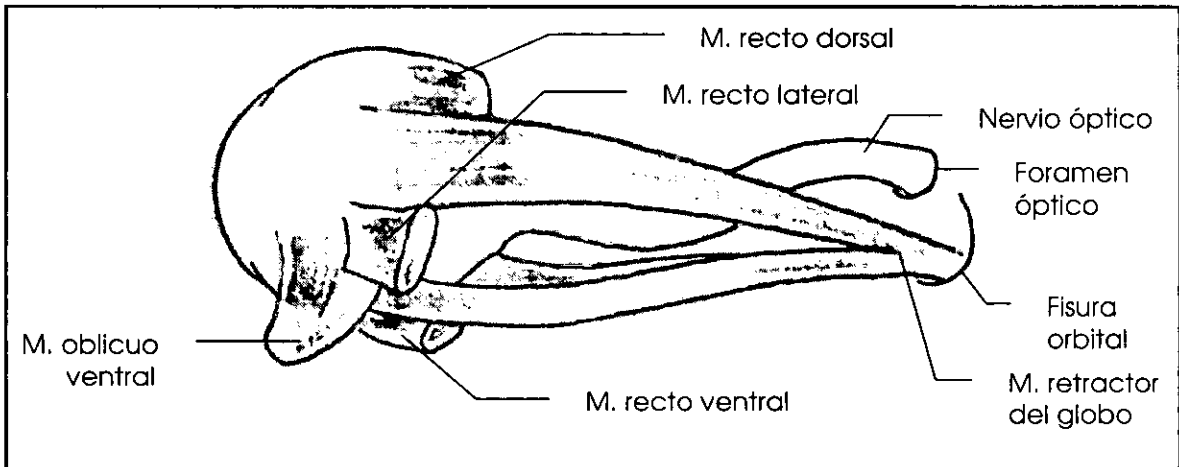


Figura 3-13. Vista lateral del músculo retractor del globo (53).

Irrigación.

El aporte sanguíneo de los músculos extrínsecos del ojo está dado por las ramas musculares dorsal y ventral de la arteria oftálmica externa, excepto por el músculo oblicuo ventral que es nutrido por ramas de la arteria malar. El retorno venoso es a través de las ramas musculares de las venas oftálmicas externas (53).

Inervación (fig. 3-14).

Los músculos rectos del ojo están inervados por el nervio oculomotor, excepto el recto lateral, que lo está por el nervio abducente. El músculo oblicuo ventral está inervado por el nervio oculomotor. El oblicuo dorsal actúa por el nervio troclear. El músculo retractor del globo ocular está inervado por el nervio abducente (47).

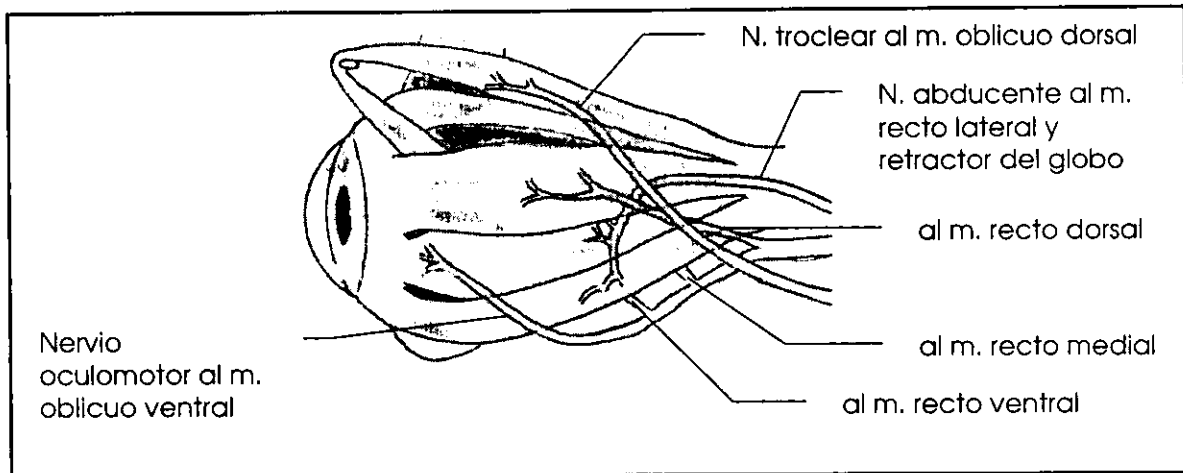


Figura 3-14. Inervación de los músculos externos del ojo (47).

FISIOLOGÍA

Órbita.

La órbita protege y separa al ojo de la cavidad craneana. Los orificios o fisuras en sus paredes determinan el camino de los nervios desde el cerebro al globo ocular y de los vasos sanguíneos (47, 49, 53, 63, 70, 74).

Al ser el perro y el gato animales de presa, sus ojos se encuentran en el frente de la cabeza, lo que permite una amplia visión binocular y facilita la agudeza visual para llegar a sus presas. Al contrario, los animales herbívoros, presentan sus ojos en las partes laterales de la cabeza para incrementar su campo visual y detectar a los predadores. La órbita abierta de los carnívoros permite una amplia apertura de la boca. Las órbitas cerradas, proporcionan un fuerte soporte para los cuernos de los herbívoros que los poseen (17, 33, 64, 70, 71).

Los ejes orbitales, visuales y ópticos de los animales no coinciden. El eje orbital es la línea que corre del ápice de la órbita, al centro de la abertura externa de la misma (figs, 3-15, 3-16). El eje visual es la línea que une el centro del área más sensitiva de la retina con el objeto visualizado. El eje óptico se dirige desde el centro del polo posterior del ojo al centro de la córnea. En los perros mesocefálicos, el ángulo formado por el eje de la órbita es de 30° con un plano mediano y de 30° con un plano dorsal. En las razas braquiocefálicas, el eje de la órbita se desvía tanto como 50° del plano mediano. Sus ejes ópticos están a 20° de la línea media. El segmento binocular del campo visual del perro, está dentro de 15 a 30° a cada lado de la línea media. El segmento monocular de cada lado se extiende de 120 a cerca de 30 a 15° de la línea

media. Esto dependiendo de las variaciones individuales y de raza. Así, un perro normal puede ver con cada ojo cerca de 120° ipsilateral a 30° contralateral a la línea media. El desarrollo postnatal de las neuronas del núcleo geniculado lateral es necesario para la visión binocular, y el desarrollo de las células de este núcleo depende del estímulo visual postnatal (fig. 3-17) (33, 47, 53, 67, 70).

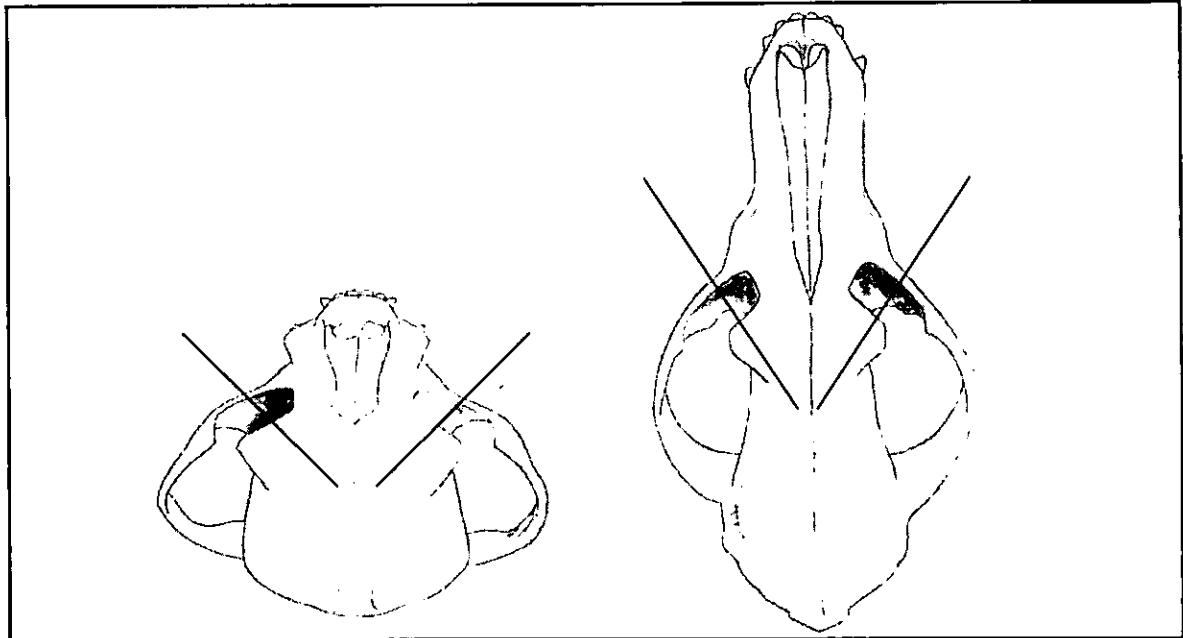


Figura 3-15. Ejes orbitales de un cráneo canino braquiocefálico y otro mesocefálico.

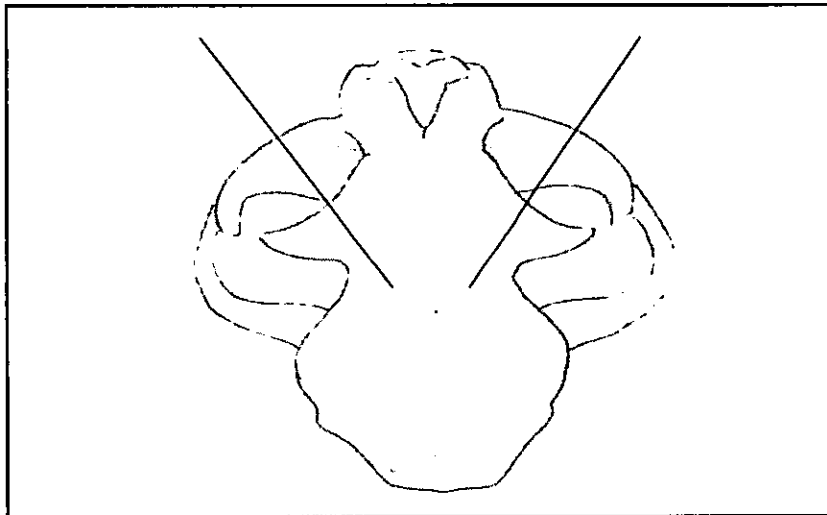


Figura 3-16. Ejes orbitales del gato.

Los ojos de los gatos están colocados más al frente de la cabeza, en comparación con el perro. El ángulo existente entre los ejes de la órbita es de 60 a 80° . Sus ejes ópticos se encuentran a 10° de la línea media y sus ejes visuales se

encuentran en un ángulo de 10 a 15°, lo que resulta en un gran campo visual binocular dentro de los 45° a cada lado de la línea media. Los segmentos monoculares en cada lado se extienden de los 90° de la línea media a los 45° contralaterales (fig. 3-17) (33, 17, 62, 64, 67, 70).

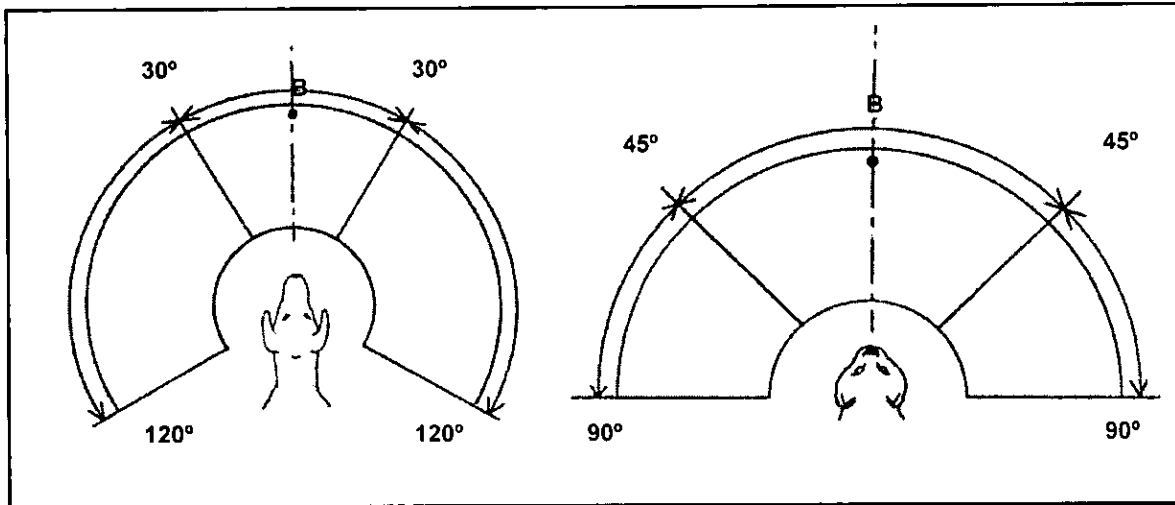


Figura 3-17. Comparación de los campos visuales del perro y del gato. El punto negro representa a un objeto fijo. B= segmento binocular. M= segmento monocular (67).

Músculos extraoculares.

Para conservar los objetos en el campo visual, los animales cuentan con los músculos del cuello así como con los músculos extraoculares y el arco reflejo vestibulo-ocular. Son necesarios pequeños movimientos del globo ocular (saccades), proporcionados por los músculos extraoculares, para mantener la imagen del objeto sobre la porción sensitiva de la retina.

Parece que el gato usa de gran manera el arco reflejo vestibulo-ocular para seguir los movimientos de los objetos (67).

Los músculos extraoculares hacen rotar al globo ocular alrededor de tres ejes que son perpendiculares entre ellos y que pasan a través del centro del globo (fig. 3-18). Los músculos rectos dorsal y ventral rotan al globo en un eje medial a lateral. Los músculos rectos medial y lateral lo rotan sobre un eje dorso ventral y los músculos oblicuos rotan el globo sobre su eje anteroposterior. También, el ojo puede ser retraído dentro de la órbita a través del eje visual por el músculo retractor del globo ocular. La contracción de dos o más músculos de manera simultánea produce movimientos oblicuos. El perro puede rotar el ojo en un arco de casi 90° en el plano dorsal y de 60° grados en el plano sagital. La rotación producida por los músculos oblicuos es más limitada con sólo cerca de 30° (22, 53, 67). Ninguno de los músculos extraoculares actúa por separado. Parece ser que el tono aumenta o disminuye en los grupos antagonistas para que el ojo pase de una posición a otra. La rotación que presentan los músculos oblicuos no es significativa en torno del eje visual en ningún movimiento fuera de lo común. Es probable que su participación se requiera ya que los músculos rectos se originan en un sitio un poco medioventral con respecto al

punto donde el eje visual, si se prolongase hacia caudal, intersectaría al cráneo. En consecuencia, tomando como ejemplo el músculo recto dorsal, este músculo no sólo elevaría el polo craneal del globo ocular, sino que también lo rotaría desplazando la parte dorsal un poco hacia medial. Esta ligera torsión hacia adentro es resistida, en forma refleja, por el músculo oblicuo ventral y la consecuencia es una elevación pareja del polo anterior. En la depresión del globo ocular sucede a la inversa, cuando actúan los músculos recto ventral y oblicuo dorsal. Los músculos oblicuos también ayudan a fijar el ojo contra la tracción hacia atrás del grupo de músculos rectos, porque sus tendones incluyen un vector anterior (19).

Los gatitos nacen con estrabismo divergente después de que se abren los párpados. La alineación interocular normal, se presenta durante el segundo mes postnatal, y esto depende del estímulo visual. En los gatos de la raza siamés, se presenta, de manera común, un estrabismo convergente que es el resultado de un defecto neuroanatómico en las vías visuales primarias, las cuales involucran a las proyecciones retinogeniculadas y geniculocortical (10, 67).

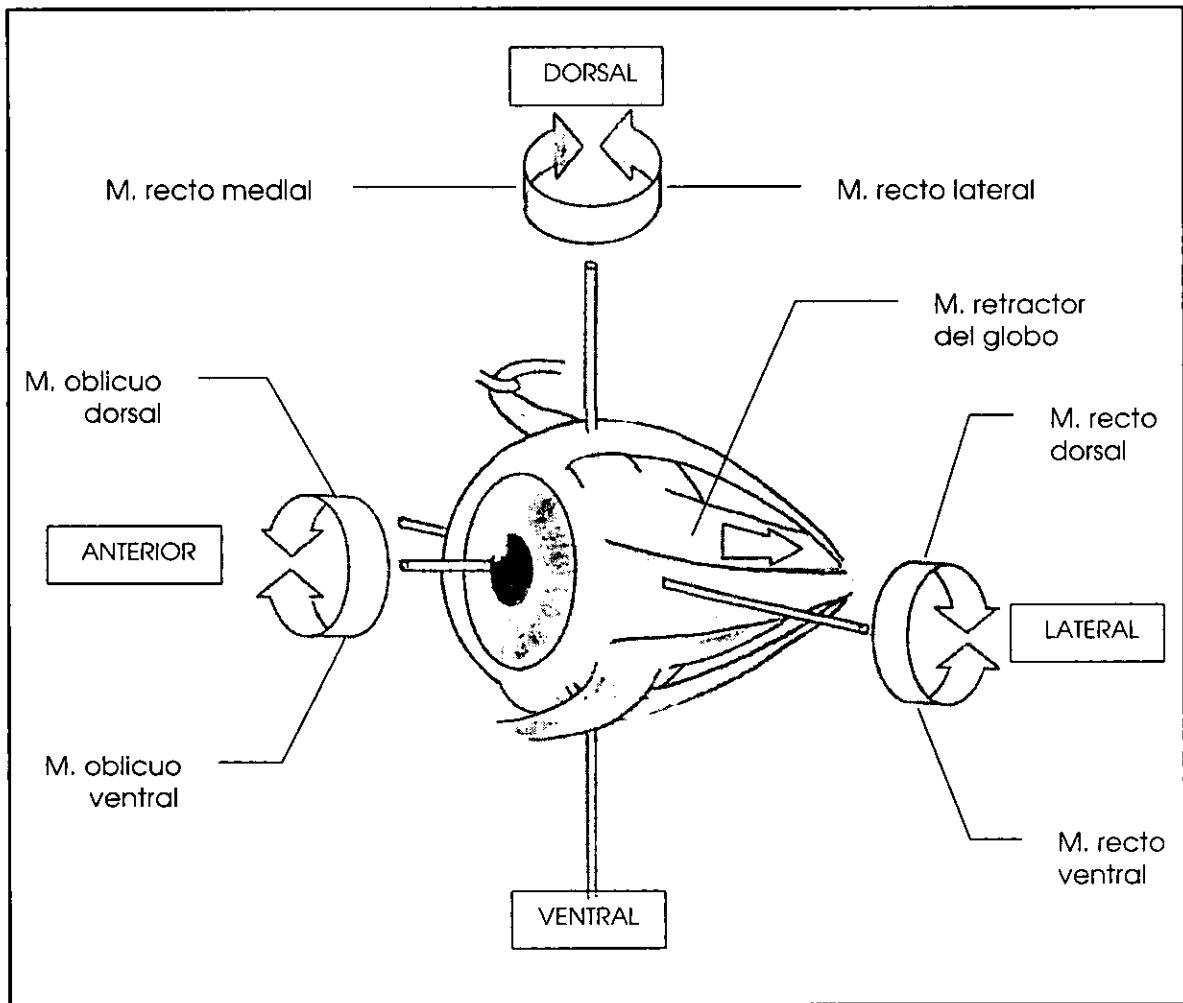
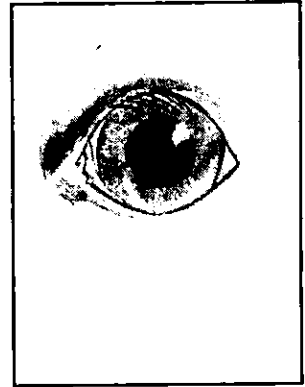


Figura 3-18. Esquema de los movimientos producidos por los músculos extraoculares (53).

CAPÍTULO 4



Conjuntiva

ANATOMÍA.

La túnica conjuntiva, es una membrana mucosa y vascular, ésta abarca desde los márgenes palpebrales al limbo del globo ocular, cubriendo la parte bulbar de los párpados, el tercer párpado y la parte anterior del globo ocular. Su coloración es de rosácea a rojo tenue debido a la abundante vascularización. Es una barrera que protege al globo ocular y a la órbita del medio ambiente, de hecho, es la primera línea de defensa contra los elementos externos. Por su naturaleza elástica, se puede adaptar a los movimientos del ojo y de los párpados.

La conjuntiva se ha dividido en tres porciones (fig. 4-1):

1. La que limita a la superficie interna de los párpados (palpebral).
2. La que cubre al globo (bulbar).
3. La unión entre ambas porciones (fórnix) (16, 19, 23, 47, 51, 53, 57, 63, 64, 74, 77).

Conjuntiva palpebral.

La conjuntiva palpebral cubre a la parte interna de los párpados superior e inferior, además del tercer párpado. Se inicia en el margen palpebral y se continua hacia los fórnices conjuntivales, donde se une con la conjuntiva bulbar. Esta membrana mucosa está constituida por epitelio estratificado no queratinizado que cambia a epitelio pseudoestratificado. Conforme se va presentando este cambio también van apareciendo células caliciformes, productoras de moco, aumentando su número hacia los fórnices conjuntivales. Al igual que la córnea, la conjuntiva palpebral está cubierta por la película lagrimal, la cual facilita los movimientos sobre ésta y minimiza el trauma entre las superficies epiteliales de la córnea y la conjuntiva. La transparencia de la conjuntiva palpebral permite que se puedan visualizar las glándulas tarsales cuando están inflamadas o impactadas (16, 19, 27, 47, 74).

Fórnices conjuntivales.

Los puntos donde la conjuntiva palpebral se une con la conjuntiva bulbar, se denominan fórnices conjuntivales superior e inferior. Cuando se abren los párpados,

se forman múltiples pequeños pliegues en el fórnix conjuntival. El espacio potencial que queda entre el globo ocular y los párpados, se denomina saco conjuntival, éste contiene hilillos del moco producido por las células caliciformes y acumula las lágrimas que después drenarán en los puntos lagrimales de los párpados (27, 47, 70).

Hacia medial, el tercer párpado divide al fórnix conjuntival inferior en dos partes, una externa o palpebral y una profunda o bulbar.

Los fórnices conjuntivales se extienden a través de los 360° del globo y los párpados. La parte ventral del fórnix conjuntival es más profunda y su principal función es la de actuar como un recipiente para las lágrimas. El movimiento de las lágrimas hacia la punta lagrimal superior y la punta lagrimal inferior sobre todo, no está del todo comprendido, pero parece ser un proceso activo más que pasivo (27).

En el fórnix conjuntival superior es donde se abren los ductos de la glándula lagrimal, para depositar la porción acuosa de la película precorneal lagrimal sobre la superficie de la parte anterior del globo ocular (77).

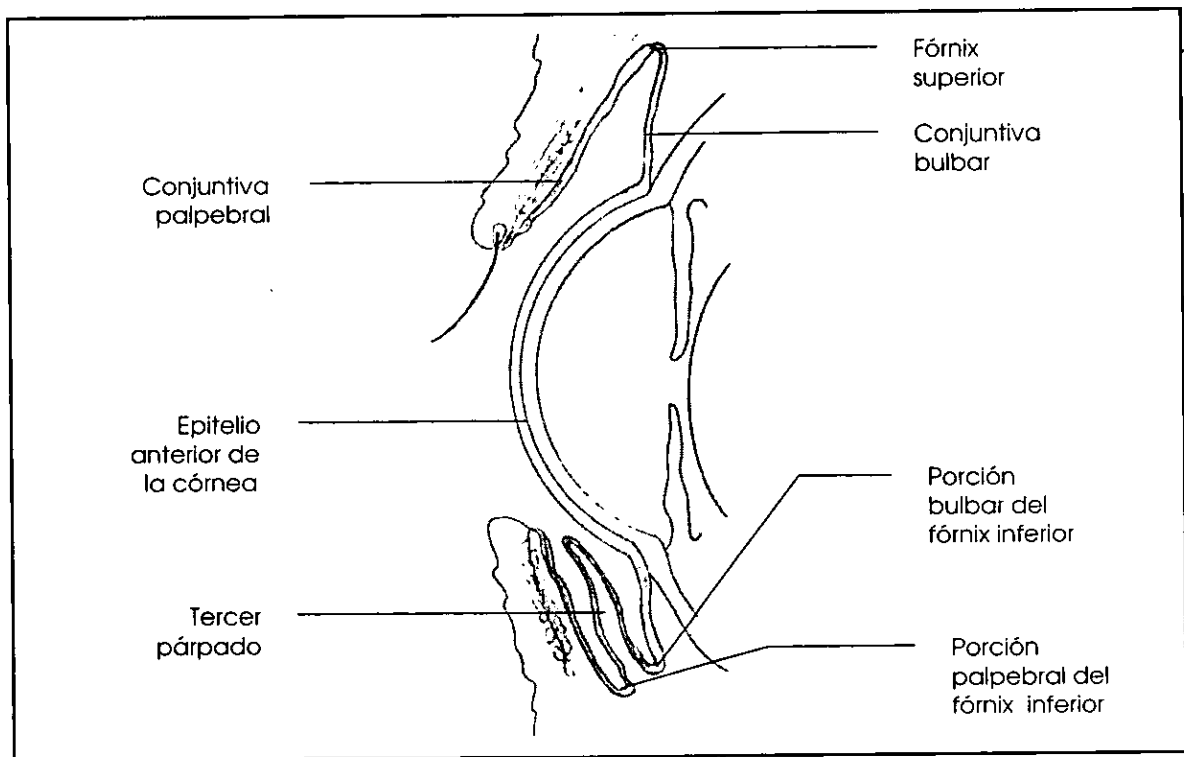


Figura 4-1. Porciones de la conjuntiva. Obsérvese que la conjuntiva se continúa con el epitelio corneal (27, 70).

Conjuntiva bulbar.

La conjuntiva bulbar es una capa transparente, delgada y vascularizada que se extiende desde la capa epitelial corneal en el limbo, cubre la parte anterior de la vaina bulbar y se une a la conjuntiva palpebral en los fórnices conjuntivales. El epitelio de la conjuntiva bulbar es pseudoestratificado y contiene pocas células caliciformes (16, 19, 23, 27, 47, 64, 53, 63, 74).

La conjuntiva es móvil de manera libre, lo que permite los movimientos del globo ocular. De cualquier manera, se adhiere con firmeza a la vaina bulbar y a la esclera en el limbo, lo que dificulta la separación quirúrgica en esta área.

Al microscopio se puede observar que la túnica conjuntiva se compone de una lámina epitelial y una sustancia propia. Con la excepción de la parte adyacente a la lámina tarsal, y cerca del limbo corneal, el tejido subconjuntival es areolar (27, 34, 47, 57).

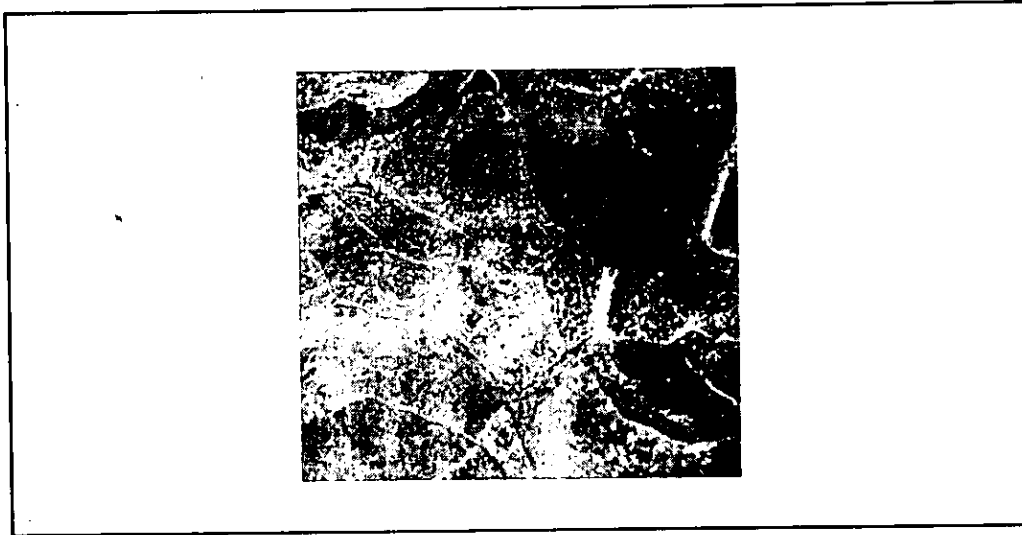


Figura 4-2. Imagen al microscopio electrónico de la superficie de la conjuntiva palpebral del perro. Se observan células polihédricas y algunas microvelocidades sobre la superficie (47).

Lámina epitelial.

Cerca del margen palpebral, proximal a los ductos de las glándulas tarsales, el epitelio de la conjuntiva palpebral es de tipo escamoso estratificado no queratinizado, y cambia al tipo columnar pseudoestratificado ciliado, conforme se acerca a los fórnices conjuntivales. Esta porción contiene células caliciformes productoras de moco que forma la capa más interna de la película lagrimal. Desde este nivel, en los fórnices conjuntivales, las células caliciformes se hacen más numerosas. La conjuntiva bulbar carece de células caliciformes (figs. 4-2, 4-3, 4-4) (1, 34, 47, 53, 62, 77).

Sustancia propia.

La sustancia propia presenta dos capas:

- a) Capa adenoide. Es una red fibrosa infiltrada con agregados de linfocitos, algunos mastocitos e histocitos. Los folículos linfáticos están dispersos en toda la conjuntiva, pero son más numerosos en los fórnices. La proliferación de los folículos linfáticos, y su aumento de tamaño, en la capa adenoide es una respuesta de defensa normal de la conjuntiva. En los animales recién nacidos no está presente la capa adenoide, razón por la cual, la conjuntiva de éstos no es resistente a las infecciones (fig. 4-5).
- b) La capa fibrosa esta adherida con firmeza al tejido subconjuntival y puede considerarse parte de éste (27, 34, 47, 53, 62, 77).

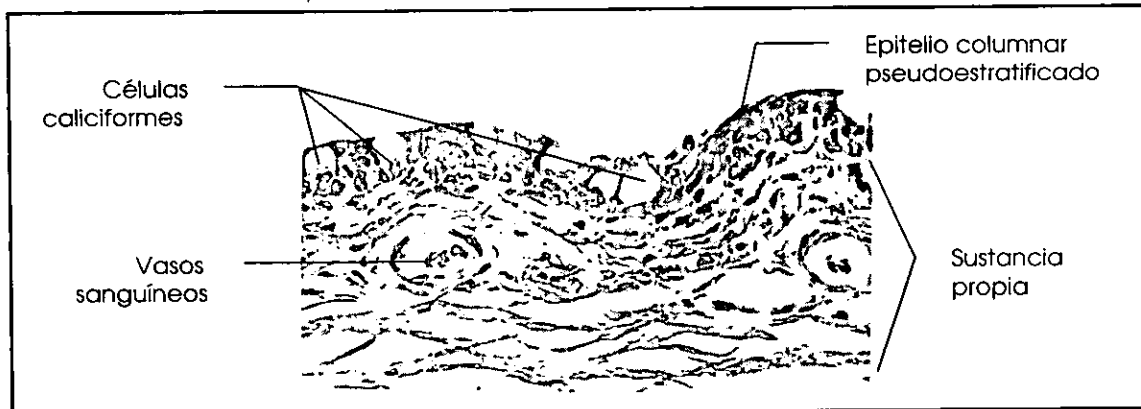


Figura 4-3. Corte histológico de la conjuntiva palpebral (70).

Inervación.

El aporte nervioso de la conjuntiva, y de la córnea, está dado por las ramas oftálmica y maxilar del nervio trigémino. Recibe fibras de los nervios largos ciliares, cigomático-facial, cigomático-temporal, infratroclear y frontal (16, 34, 47, 51, 53).

Irrigación

La conjuntiva es muy rica en vasos sanguíneos. En las partes profunda y superficial se encuentran vasos sanguíneos originados, ya sea de manera directa o indirecta, de las arterias ciliares anteriores que son ramas de las arterias oftálmicas externas, además de ramas de las arterias malares y palpebrales dorsal y ventral. El drenaje venoso se dirige a las venas malar y palpebral adyacente que de forma eventual se unen a la vena facial. Dentro de la órbita se unen con la vena angular superficial del ojo al plexo orbital y a la vena temporal superficial (16, 27, 47, 53, 57).

Drenaje linfático.

Los sistemas linfáticos de la conjuntiva se dividen en superficial y profundo. El drenaje linfático de la parte medial de la conjuntiva es hacia los nodos linfáticos submaxilares. La parte lateral de la conjuntiva drena a los nodos linfáticos parótidos (27, 62).

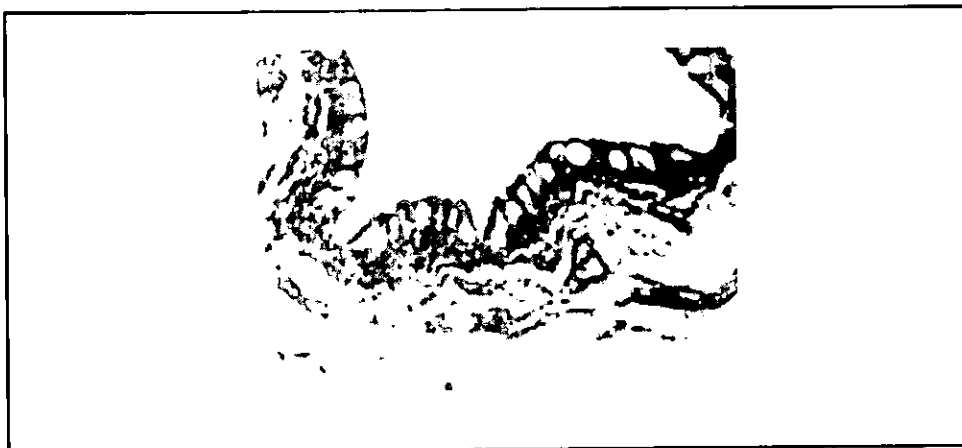


Figura 4-4. Conjuntiva en el fórnix. Se observan abundantes células caliciformes (62).

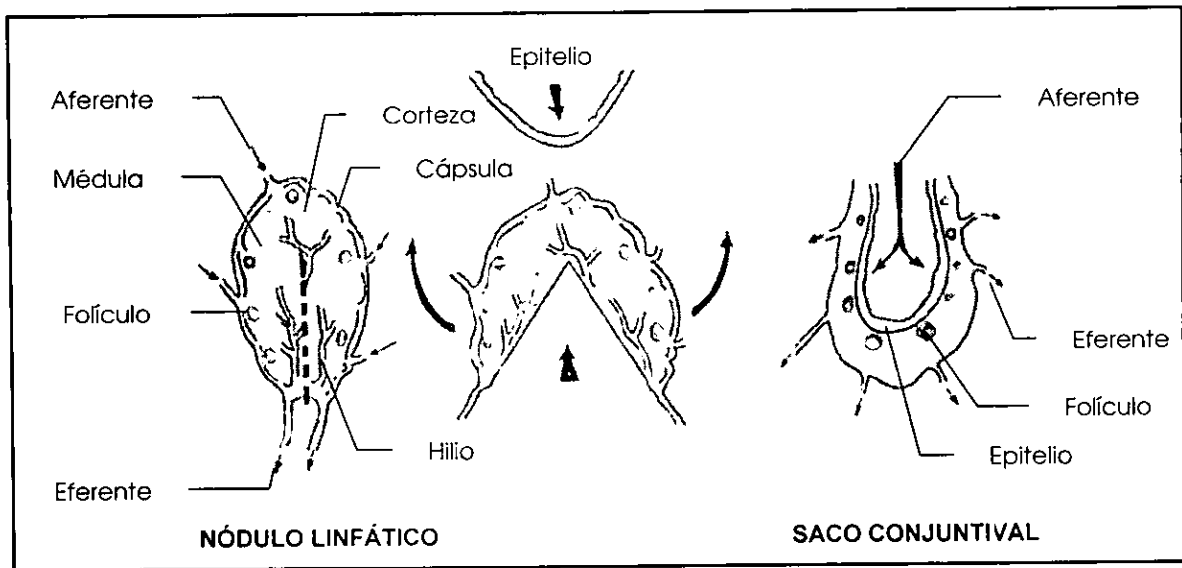


Figura 4-5. Comparación entre el nódulo linfático y el saco conjuntival (70).

FISIOLOGÍA

Las funciones de la conjuntiva son:

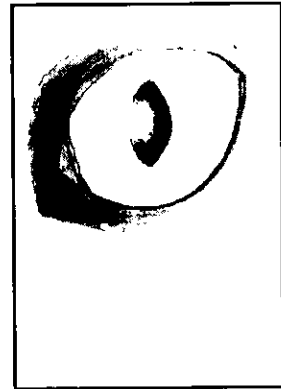
- Servir como barrera mecánica entre los párpados y el globo ocular, evitando que objetos macroscópicos o microscópicos lleguen a la zona situada detrás del ojo.
- Crear parte de la secreción mucosa de la película lagrimal precorneal a través de las células caliciformes que contiene.
- Contribuir al sistema retículo endotelial por la gran cantidad de folículos linfáticos que contiene. Su tamaño, número y localización varían con la edad y el grado de estimulación antigénica.
- El aporte nervioso de la conjuntiva, y de la córnea, participa en el sistema de defensa conjuntivo-corneal, iniciando la acción refleja de parpadeo y la secreción de lágrimas, cuando la conjuntiva es irritada por una sustancia nociva o por estimulación táctil (16, 27, 34, 53, 67).

El moco producido por las células caliciformes forma la capa más interna de la película precorneal y tiene un grosor de cerca de $1\ \mu\text{m}$, sobre la córnea, a $2\ \mu\text{m}$ o más, sobre las superficies conjuntivales. Es una glicoproteína hidratada que forma una interfase entre la porción acuosa de la película lagrimal precorneal y el epitelio corneal que es hidrofóbico. Una pequeña porción del moco es soluble en agua y en parte de la fracción acuosa de la película lagrimal precorneal. El moco de las células caliciformes disminuye la tensión superficial de la película lagrimal, intensifica su estabilidad y ayuda a la cohesión de la porción acuosa de esta película, al epitelio corneal y conjuntival. El moco también cubre y reduce las irregularidades del epitelio corneal para producir una superficie corneal ópticamente lisa (78).

A causa de la transparencia de la conjuntiva, es posible visualizar los vasos conjuntivales y los vasos episclerales subconjuntivales. Durante un examen clínico, se puede observar la congestión de los vasos en esta región y confundir los vasos conjuntivales con los vasos episclerales. Es importante poder diferenciar entre ambos grupos de vasos sanguíneos, ya que las causas y seriedad de la congestión pueden variar entre los dos. La congestión vascular episcleral se presenta con frecuencia en varias enfermedades oculares, como uveítis o glaucoma, mientras que la hiperemia conjuntival es característica de una enfermedad ocular superficial, como la queratoconjuntivitis seca o la conjuntivitis alérgica. En algunas condiciones, se pueden congestionar ambas vascularizaciones a la vez. Con base en algunas características anatómicas, es posible diferenciar la hiperemia conjuntival y la episcleral, para valorar la causa y la seriedad de la presencia del "ojo rojo", que es como se conoce a este signo en el examen físico. Las características que contribuyen a esta valoración son:

- 1) La distribución de los vasos. Los vasos conjuntivales son más numerosos en el fórnix y disminuyen hacia el limbo. Los vasos episclerales son más numerosos en el limbo.
- 2) La ramificación de los vasos. Los vasos conjuntivales se ramifican de manera profusa, los vasos episclerales radian hacia afuera del limbo con pequeñas ramificaciones.
- 3) La movilidad. Los vasos conjuntivales se mueven con la conjuntiva, los vasos ciliares, o episclerales, permanecen estáticos durante el movimiento de la conjuntiva sobre estos.
- 4) El color. Los vasos conjuntivales son de color rojo brillante, el color de los vasos ciliares es rojo intenso o violeta.
- 5) Los vasos episclerales congestionados aparecen como un brote vascular generalizado, mientras que los vasos conjuntivales congestionados se pueden identificar de manera individual.
- 6) La dirección del flujo sanguíneo. Los vasos conjuntivales van del fórnix al limbo, los ciliares del limbo al fórnix. Para diferenciarlos se coloca un dedo sobre el vaso y este se desliza hacia el fórnix para vaciar los vasos. Los vasos ciliares se llenan de inmediato detrás del dedo, los conjuntivales no.
- 7) La posible extensión hacia la córnea. Los vasos conjuntivales son superficiales y atraviesan el limbo hacia la córnea, presentándose como ramas individuales en las capas subepiteliales que parecen originarse en el limbo. Los vasos episclerales son finos, rectos y profundos formando una "brocha" que se extiende por los 360° alrededor de la córnea.
- 8) Epinefrina en concentración de 1:100 000 tópica, o fenilefrina aplicada en el ojo, descongestiona de forma rápida a los vasos conjuntivales, pero los vasos episclerales permanecen congestionados. Los vasos episclerales también se constriñen a los pocos minutos después de la instilación de las gotas, por lo que esta prueba se debe interpretar de inmediato (19, 34, 57, 67).

CAPÍTULO 5



Aparato lagrimal

ANATOMÍA

La película lagrimal es esencial para proteger y mantener la transparencia de la córnea. Una producción deficiente de lágrimas puede inducir a su queratinización y opacidad. Aquellas estructuras responsables de la producción, dispersión y drenaje de las lágrimas constituyen al aparato lagrimal.

El aparato lagrimal presenta dos porciones. Una porción es secretora y la constituyen la glándula lagrimal, la glándula del tercer párpado y las glándulas lagrimales accesorias, las cuales forman la película lagrimal precorneal. La otra porción es de drenaje y la forman los puntos y canaliculos lagrimales, el saco lagrimal y el conducto nasolagrimal, a través de los cuales drenan las secreciones producidas por dichas glándulas (fig. 5-1) (4, 17, 23, 34, 53, 62, 64, 70, 74).

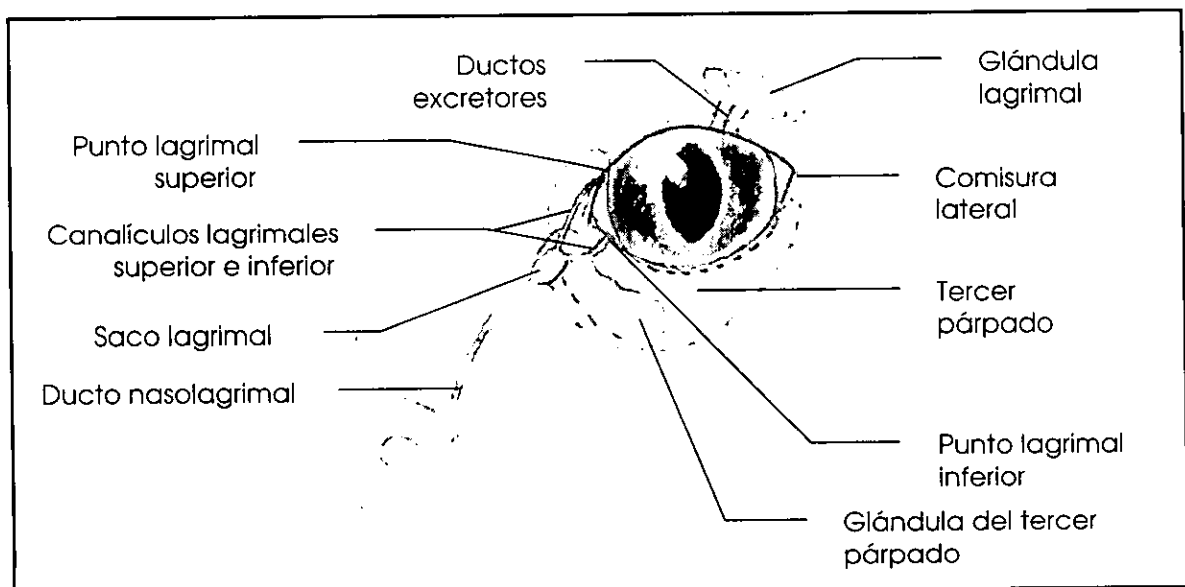


Figura 5-1. Esquema del aparato lagrimal (64).

Porción secretora.

Glándula lagrimal.

Ésta es una glándula serosa de estructura tubuloalveolar (fig. 5-2). Su aspecto macroscópico es el de una estructura lobulada con un color rojo brillante a rosáceo. Se encuentra dorsolateral al globo ocular, dentro de la periórbita, se separa de los músculos extraoculares por una capa delgada y superficial de la fascia orbital. A causa de su posición entre el globo ocular, el ligamento orbital y la apófisis cigomática del hueso frontal, la glándula se llega a aplanar.

La glándula es de forma ovoide en los perros, y su tamaño es, dependiendo de la talla del animal, de 0.5 a 2 cm de longitud, 1.5 a 3 cm de ancho y 0.7 a 1.5 cm de grosor. En el gato, la glándula es más pequeña y de forma cuadrada. Tiene un grosor aproximado de 1 mm y alrededor de 15 mm de largo y de ancho. Es más gruesa en el centro que en la periferia. Los conductos secretores de la glándula lagrimal, en ambas especies, se vacían en el fórnix superior. En el perro, esta glándula secreta casi el 60% de la lágrima (1, 10, 17, 19, 22, 23, 34, 53, 64, 70, 74).

Glándula del tercer párpado.

La glándula del tercer párpado produce una cantidad significativa de lágrima, cerca del 40% en el perro. Esta glándula rodea la base del cartílago del tercer párpado en la región ventromedial del globo ocular. En los gatos es una glándula de producción serosa, mientras que en los perros es de producción seromucoide.

En algunas especies existe una glándula profunda del tercer párpado, en el perro y el gato no está presente. Los ductos de la glándula se vacían en el saco conjuntival sobre la superficie bulbar, cerca de la base del tercer párpado (10, 17, 19, 22, 47, 53, 64, 70, 76).

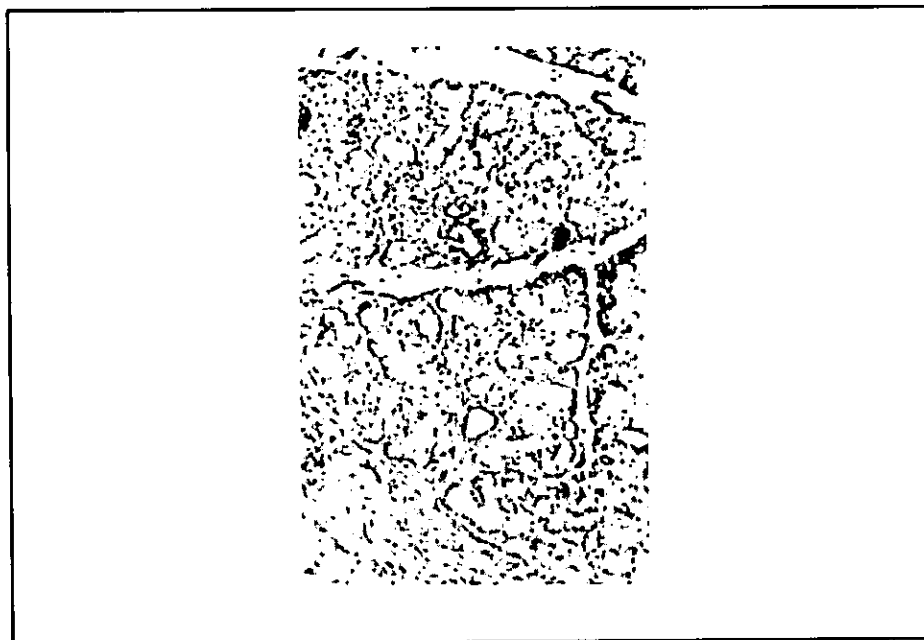


Figura 5-2. Imagen microscópica de la estructura tubuloalveolar de la glándula lagrimal canina (70).

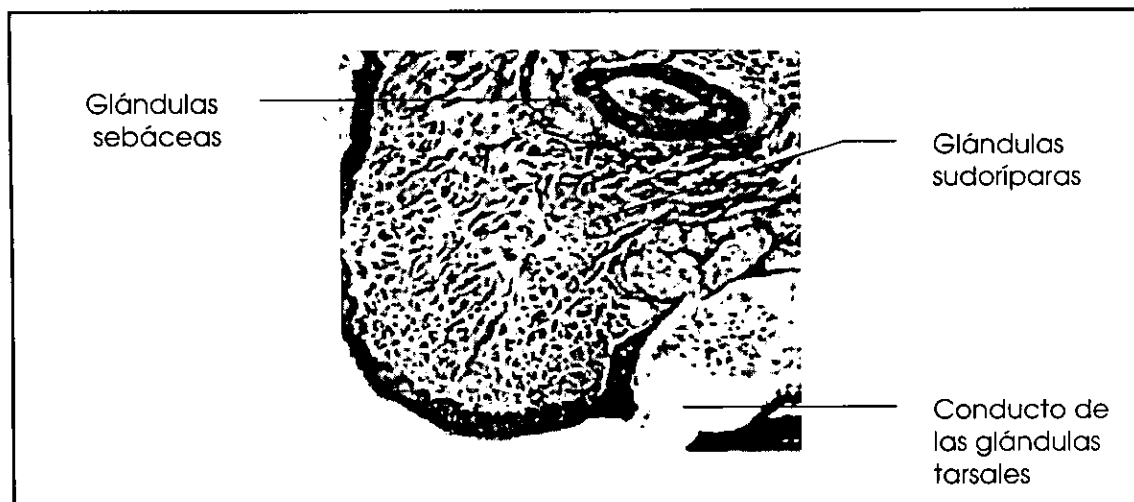


Figura 5-3. Imagen microscópica de las glándulas lagrimales accesorias en el margen palpebral (70).

Glándulas lagrimales accesorias.

Existen otras glándulas que, aunque en menor proporción, también contribuyen a la formación de la película lagrimal precorneal:

- a) Glándulas tarsales. Se encuentran cubiertas por el tarso de los párpados, sus conductos desembocan en el margen palpebral. Están muy desarrolladas en los gatos.
- b) Glándulas ciliares. Son glándulas sudoríparas, sus conductos se abren en los folículos que producen las ciliás o pestañas.
- c) Glándulas sebáceas. Sus conductos se abren en la superficie del margen de los párpados, cerca de la base de las ciliás.
- d) Células caliciformes de la conjuntiva palpebral. Son más numerosas en los fórnix superior e inferior de los párpados (fig. 5-3) (22, 47, 53, 70).

Porción de drenaje.

Puntos lagrimales.

Los puntos lagrimales son las aberturas de entrada a los canaliculos lagrimales. Los puntos se sitúan a una distancia de 2 a 5 mm de la comisura medial del párpado cerca del borde bulbar del mismo. Pueden ser ovoides o en forma de hendidura. Su medida aproximada es de 0.5 a 1 mm de largo por 0.2 a 0.5 mm de ancho. Los puntos lagrimales están rodeados de músculo liso, el cual trabaja en coordinación con el parpadeo para remover el exceso de fluido lagrimal. En ocasiones es muy difícil encontrarlos al examen físico (1, 4, 17, 19, 23, 53, 62, 64, 74).

Canaliculos lagrimales.

Los canaliculos lagrimales corren dentro de los párpados para llegar al saco lagrimal, en donde se abren de manera individual. Estos canaliculos corren a través del área en donde las fibras del músculo orbicular del ojo convergen para formar el

ligamento del canto medial. Miden cerca de 4 a 7 mm y tienen un diámetro de 0.5 a 1 mm. El canaliculo lagrimal dorsal va casi recto y después traza una curva abrupta antes de llegar al saco lagrimal. El canaliculo lagrimal ventral se arquea desde su origen hasta el saco lagrimal.

Saco lagrimal.

El saco lagrimal es la terminal caudal del conducto nasolagrimal. Asienta en la fosa del hueso lagrimal. Su dimensión longitudinal es de 0.2 a 0.5 cm, mientras que su diámetro transversal es de 0.05 a 0.2 cm.

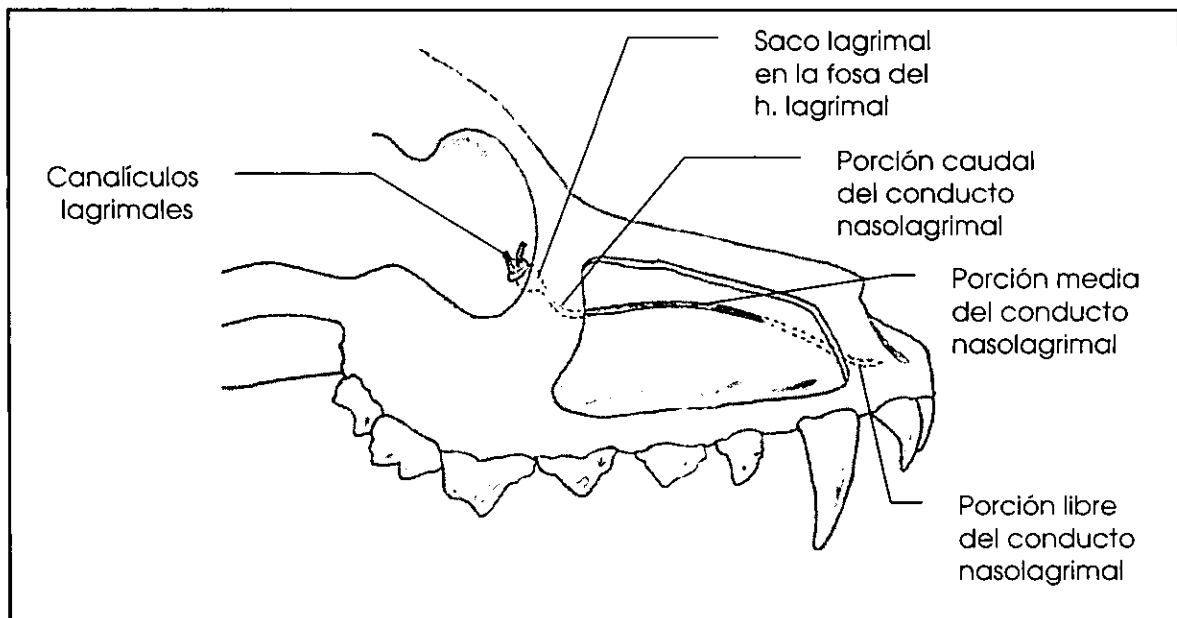


Figura 5-4. Trayectoria del conducto nasolagrimal en el perro (40).

Conducto nasolagrimal (fig. 5-4).

El conducto nasolagrimal inicia en el saco lagrimal y termina en el piso del vestíbulo nasal, está formado por tres porciones:

- Porción caudal. Asienta en el canal óseo del hueso lagrimal y luego en el surco lagrimal del maxilar. Esta porción tiene forma de arco, con la convexidad en sentido ventral. Constituye un cuarto de la longitud total del conducto. El conducto nasolagrimal abandona el canal óseo a nivel del segundo premolar o en el canal infraorbitario.
- Porción media. Está constituida por la mitad de la longitud total del conducto. Asienta en la pared medial del maxilar y está cubierta con mucosa nasal. En su segunda porción puede romperse la continuidad a nivel de la raíz del diente canino en los perros, bajo la concha ventral nasal. En cerca del 50% de los perros se encuentra esta comunicación del ducto con la cavidad nasal.
- Porción libre del conducto. Después continúa su camino hacia rostral, pasando medial al cartilago nasal ventral lateral, terminando en el piso del vestíbulo nasal cerca del margen del pliegue alar, donde, tanto en el perro como en el gato, se encuentran las aberturas distales del conducto (1, 4, 17, 22, 23, 34, 53, 64, 71, 74, 79).

Irrigación.

Dada por la arteria lagrimal procedente de la arteria oftálmica externa. El conducto nasolagrimal está nutrido por una pequeña rama de la arteria malar. El drenaje es a través de la vena lagrimal, rama de la vena oftálmica y el plexo oftálmico de la órbita (22, 53).

Inervación.

La inervación de la glándula lagrimal y el control de la secreción son complejos y los detalles exactos son desconocidos. La glándula está inervada por el nervio lagrimal, que es una pequeña rama del nervio oftálmico, derivado del trigémino. Fibras postganglionares parasimpáticas provenientes del ganglio pterigopalatino se distribuyen a la glándula con el nervio lagrimal (40, 53, 70, 79).

FISIOLOGÍA.

La película lagrimal precorneal, producida por las glándulas del aparato lagrimal, cubre la córnea y la conjuntiva. Consta de tres capas, una superficial de naturaleza lipídica, una capa media de naturaleza acuosa y una más, que es mucoide, la cual está en contacto directo con la córnea (fig. 5-5).

Capa superficial.

Esta capa se compone de materiales aceitosos y fosfolípidos provenientes de las glándulas tarsales y sebáceas que se encuentran a lo largo del margen palpebral. Cumplen con las siguientes funciones:

- a) Lubricación del paso de los párpados sobre la córnea.
- b) Prevención del escurrimiento de las lágrimas a través de los márgenes palpebrales.
- c) Limita la evaporación de la capa acuosa.

Capa media.

La capa media o acuosa, es el mayor componente de la película lagrimal precorneal. La mayor parte es producida por la glándula lagrimal y la glándula del tercer párpado, aunque una pequeña porción también la producen las glándulas ciliares. La porción acuosa es la parte de la película lagrimal que se refiere de manera común como las lágrimas. Sus funciones son:

- a) Eliminar el material extraño desde el saco conjuntival.
- b) También lubrica el pasaje de los párpados sobre la córnea.
- c) Provee un medio para la transferencia de oxígeno atmosférico a la córnea.
- d) Provee también aminoácidos, vitamina A, factores de crecimiento y otros nutrientes a la córnea que es avascular.
- e) Sirve como medio para las células inflamatorias, atraídas por influencias quimiotácticas durante la inflamación, y de otros componentes antimicrobianos, como transferina e inmunoglobulinas IgA, que son las que predominan, e IgG. La lisozima, otro componente antimicrobiano no específico que aparece en las lágrimas de otras especies, está ausente en el perro y el gato.

f) Aporta una superficie lisa a la córnea, lo que optimiza la eficiencia óptica de la misma (22, 39, 40, 53, 60, 62, 67, 70, 74, 76, 79).

Capa interna.

La capa más interna es de naturaleza mucoide y se forma por mucoproteínas liberadas por las células caliciformes conjuntivales. Debido a la naturaleza hidrofílica-lipofóbica de la capa acuosa, se requiere de un medio para unir la película lagrimal precorneal a la superficie corneal, la cual es lipofílica-hidrofóbica. Las moléculas mucoproteicas son bipolares, con un extremo lipofílico, asociado con el epitelio corneal, y el otro hidrofílico, relacionado con la capa acuosa. La función de la capa interna es la de unir a la capa acuosa a las células escamosas superficiales del epitelio anterior de la córnea (22, 34, 39, 53, 60, 67, 70, 74, 76, 79).

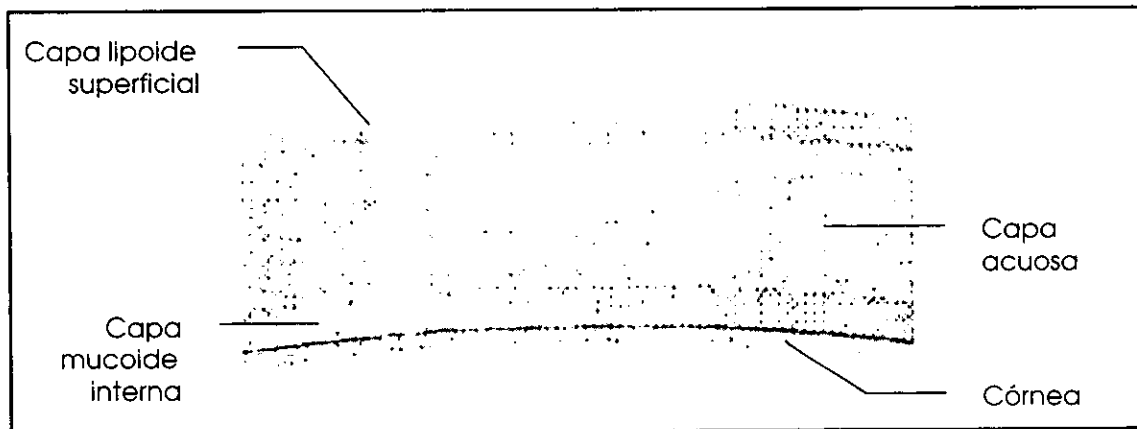


Figura 5-5. Esquema de la película lagrimal precorneal (70).

En el fondo de los sacos conjuntivales inferior y superior, se observan hebras mucosas que son acumulaciones del moco producido por las células caliciformes de la conjuntiva. Tienen una migración nasal y juntan los detritus del fórnix conjuntival. Dentro de las hebras hay vacuolas que contienen desechos y que presentan actividad enzimática. Los remanentes deshidratados de estas hebras con frecuencia aparecen en la piel del canto nasal durante las mañanas, lo que constituye las lagañas o legañas. Estas acumulaciones son grisáceas y transparentes y pueden ser voluminosas en los animales que presentan el saco conjuntival profundo, por ejemplo el Setter irlandés y el Doberman (53).

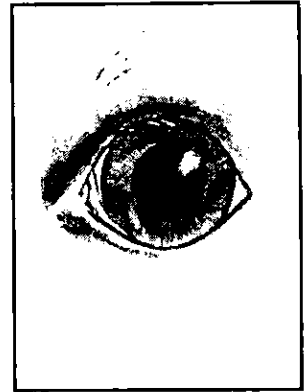
La película lagrimal precorneal es rica en proteínas y tiene una baja tensión superficial, lo que permite humedecer la superficie epitelial de la córnea por completo. El rango del pH del fluido lagrimal es de 6.8 a 8.3, con un promedio de 7.56 (34).

La película lagrimal precorneal se distribuye sobre la córnea por medio del parpadeo y por los movimientos del tercer párpado (22, 63, 64).

El líquido lagrimal está enmarcado por la secreción grasa de las glándulas tarsales a lo largo del borde palpebral, éste se acumula en el ángulo medial del ojo, en el lago lagrimal, donde después se dirige hacia el sistema canalicular a través de los puntos lagrimales (19).

Cerca del 25% de la película lagrimal precorneal se pierde por evaporación. El resto pasa hacia los puntos lagrimales, y mediante los canaliculos, saco lagrimal y conducto nasolagrimal, llega a la cavidad nasal. La mayor parte del líquido acumulado en la laguna lagrimal ingresa al punto lagrimal inferior por atracción capilar y por el movimiento palpebral. El parpadeo impulsa a las lágrimas en dirección medial y evacua las que se acumulan, desde los canaliculos al saco lagrimal, que se dilata durante el parpadeo y produce una presión negativa en su luz. Cuando los párpados se relajan, los canaliculos se dilatan, lo que produce una presión negativa en su lumen. El saco lagrimal se comprime evacuando las lágrimas en el conducto nasolagrimal. El parpadeo también es necesario para la eliminación normal de las lágrimas del espacio interpalpebral (22, 23, 64, 67, 70, 76, 79).

CAPÍTULO 6



Tercer párpado

ANATOMÍA

El tercer párpado, o pliegue semilunar de la conjuntiva, se observa en el canto medial de la hendidura palpebral, siguiendo la curvatura del globo ocular. Es una estructura protectora móvil de forma triangular que se origina de la porción ventromedial de la conjuntiva, quedando entre la córnea y el párpado inferior (12, 17, 27, 53, 63, 64, 74). Cuando el ojo está en posición normal la mayor parte del tercer párpado se encuentra oculto dentro de la órbita, sólo el borde libre es visible en la porción ventromedial de la hendidura palpebral (fig. 6-1) (53, 64). La superficie convexa del párpado se denomina palpebral o externa y la cóncava es la superficie bulbar o interna. El borde del tercer párpado puede o no estar pigmentado, en contraste con el resto de la conjuntiva (fig. 6-4) (27, 53).

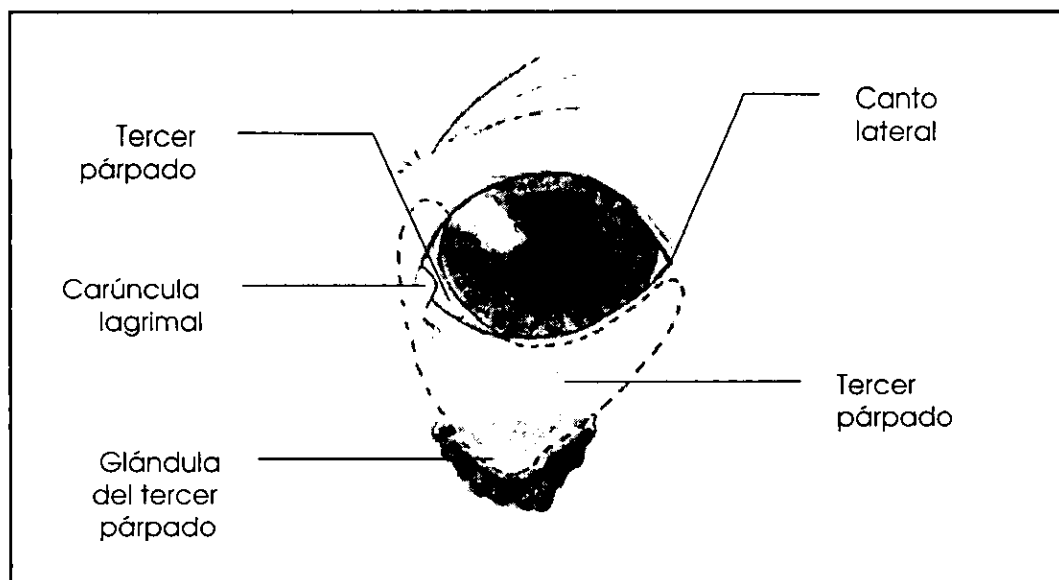


Figura 6-1. Localización del tercer párpado (19).

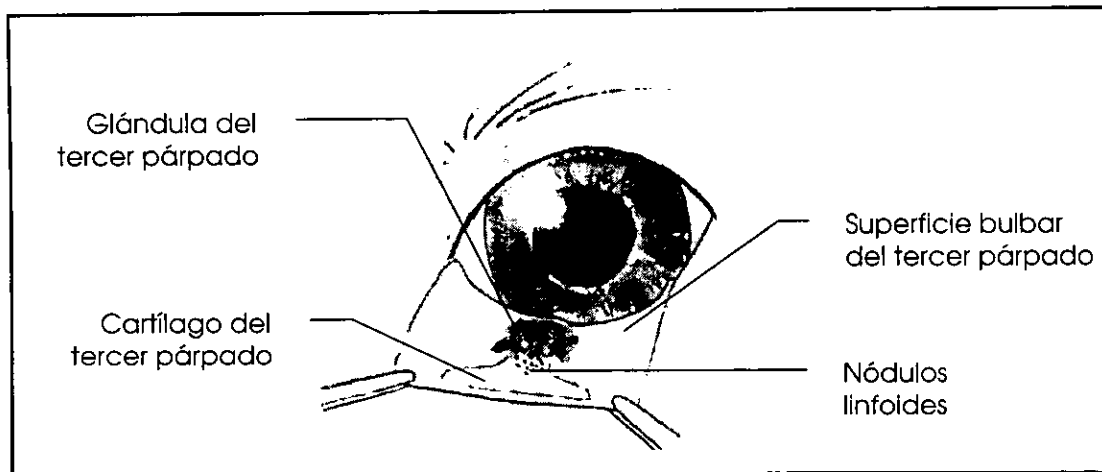


Figura 6-2. Diagrama del tercer párpado mostrando la localización de los nódulos linfoides (47).

El tercer párpado está reforzado por un cartilago aplanado en forma de T, el cual le proporciona rigidez. Éste está cubierto por una capa de membrana conjuntiva, que contiene células linfáticas que forman nódulos linfáticos en la superficie bulbar. Entre los nodos linfáticos y el epitelio hay una acumulación de células plasmáticas y células caliciformes. En los perros el cartilago es de tipo hialino, mientras que en el gato es cartilago elástico. La conjuntiva que cubre la superficie palpebral del tercer párpado del gato es rugosa, dada la presencia de pequeñas papilas dispersas sobre su superficie. La parte horizontal de la T formada por el cartilago se ubica en paralelo y a 1.5 mm del borde del tercer párpado, en ángulos rectos a la dirección del movimiento de éste, y su base está rodeada por la glándula del tercer párpado (figs. 6-2, 6-3).

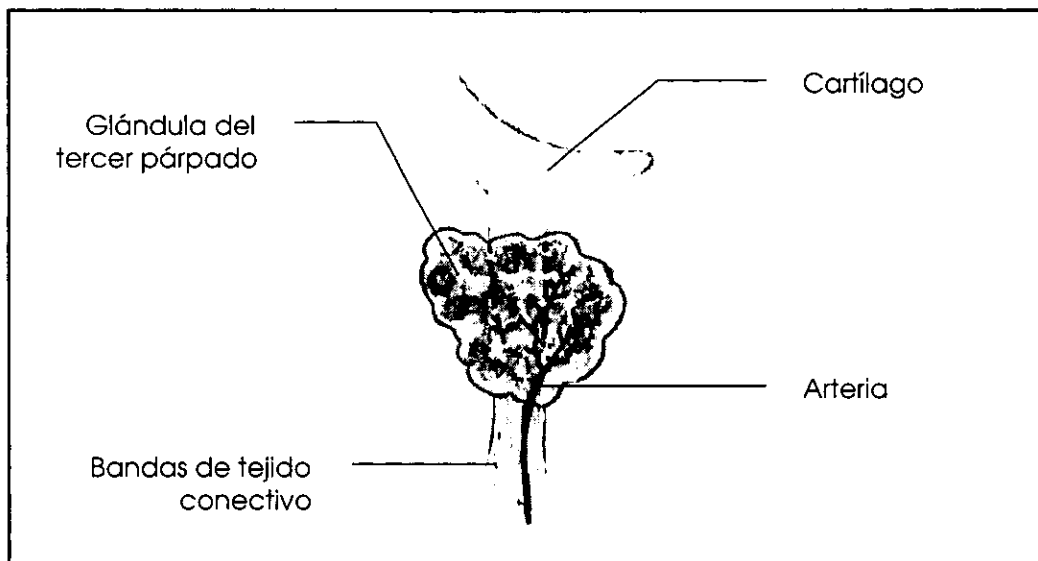


Figura 6-3. Glándula y cartilago del tercer párpado (4).

Tanto el perro como el gato presentan sólo la parte superficial y no la parte profunda de esta glándula, como existe en otras especies. Numerosos ductos microscópicos vacían la secreción hacia el fórnix conjuntival inferior. Esta glándula produce casi el 50% de la película lagrimal precorneal (1, 2, 4, 12,25, 27, 53, 63, 64, 70, 74, 75, 77). La secreción producida por la glándula en los gatos es de tipo serosa y en los perros es de tipo seromucoide (1, 47).

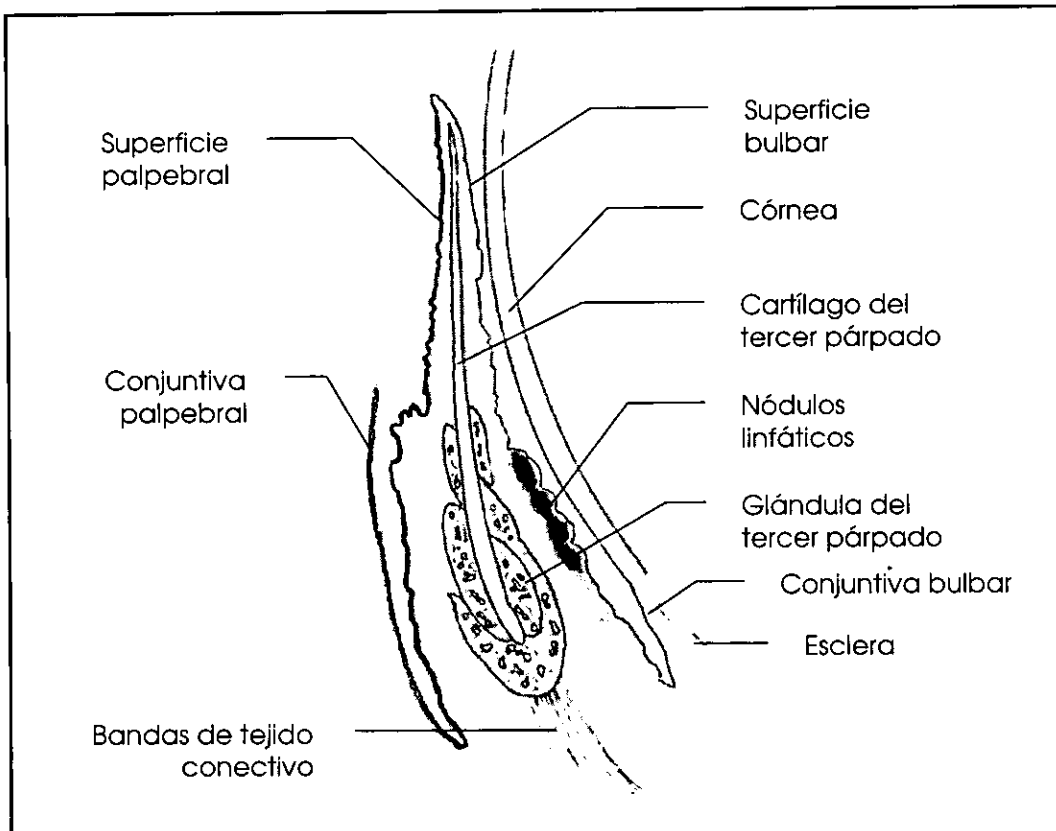


Figura 6-4. Sección del tercer párpado mostrando su relación con otras estructuras (4, 53).

La base del cartílago y la glándula están asegurados, mediante un retináculo fascial mal definido, a la región de los músculos oblicuo y recto ventral y a la periórbita circundante. Una porción de la fascia muscular media se inserta en el ángulo lateral del tercer párpado formando un ligamento de soporte (53). Cerca del párpado inferior, la fascia muscular superficial pasa superficial a la base del tercer párpado. La fascia muscular media se divide en láminas superficial y profunda. La lámina superficial se encuentra adyacente a la base del tercer párpado, similar a la fascia muscular superficial. La lámina profunda forma un fuerte ligamento al ángulo medial del párpado, el ligamento medial del tercer párpado (12).

El tercer párpado de los gatos es muy delgado, su grosor aproximado es de 1 a 1.5 mm y su altura es de 15 mm (17).

El gato y el perro presentan láminas de fibras de músculo liso, mediales y ventrales originadas de la fascia orbital que ayudan a mantener la posición retraída del tercer párpado (47, 53, 64).

Irrigación.

El aporte sanguíneo del tercer párpado está dado por una rama de la arteria maxilar interna, localizada dentro del espacio entre los músculos rectos medial y ventral (27).

Inervación.

Su inervación está dada por fibras simpáticas (eferente) vía el ganglio cervical craneal y la rama infratroclear del nervio oftálmico (aferente), derivada del trigémino (4, 27, 53). Los gatos presentan fibras simpáticas posganglionares cuyos axones siguen al nervio oculomotor. Éstos pueden presentar una protusión activa del tercer párpado, causada por la acción del nervio abducente sobre el músculo recto lateral (33, 47, 64, 75).

FISIOLOGÍA

Las funciones del tercer párpado son las siguientes:

- a) Protección a la córnea. Por medio de su movimiento, ya sea pasivo o activo, el tercer párpado puede cubrir la córnea ante situaciones de amenaza, irritación o trauma.
- b) Producción de una porción de la película lagrimal precorneal por la glándula del tercer párpado.
- c) Distribución de la película lagrimal precorneal por su desplazamiento sobre la córnea.
- d) Contribuye a formar el lago lagrimal en el canto medial del ojo.
- e) Tiene una actividad retículo endotelial por la acción de los nódulos linfáticos. La proliferación de linfocitos en esta región es una respuesta de defensa normal en la conjuntiva. El número, tamaño y localización de los nódulos linfáticos varía con la edad y el grado de estimulación antigénica. Son más prominentes en la superficie bulbar, donde pueden agrandarse en infecciones crónicas o en irritación de los ojos. Cuando crecen, en algunas ocasiones se protuyen detrás del tercer párpado a la hendidura palpebral. Estos nódulos linfáticos son distintos y más superficiales a la glándula del tercer párpado, con la cual a veces es confundida (figs. 6-2, 6-4).
- f) Por su propio peso, el tercer párpado apoya al párpado inferior, ayudando a que éste mantenga su posición.

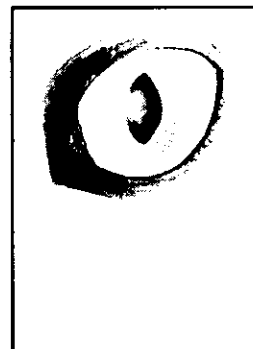
El tercer párpado cubre de manera pasiva al ojo por la retracción del globo ocular mediante el músculo retractor del globo. En ciertos casos puede cubrir hasta dos terceras partes de la córnea. Al retraerse, el globo ocular presiona y desplaza a la grasa orbital del ojo la cual empuja a su vez al tercer párpado, haciendo que cubra al ojo. El movimiento que presenta es de ventromedial a dorsolateral (27, 53, 67, 70).

En los gatos, el tercer párpado es más grande y móvil que en los perros. Esta movilidad se debe sobre todo a las fibras musculares que contiene. La protusión pasiva es mínima a causa de lo poco profundo de su órbita y la débil acción del

músculo retractor del globo. La protusión activa del tercer párpado ocurre durante varias situaciones emocionales o físicas bajo el control del nervio abducente. Éste inerva al músculo recto lateral, el cual envía una banda de fascia que conecta este músculo al tercer párpado (25, 64, 67, 75).

La retracción es producida por a contracción de las láminas de músculo liso mediales y ventrales, originadas de la fascia orbital inervadas por nervios simpáticos posganglionares. El músculo liso medial se inserta dentro del párpado superior y dentro de la porción dorsal del tercer párpado y están inervadas por fibras nerviosas simpáticas posganglionares que corren con los nervios infraorbital y cigomático del nervio maxilar. Su denervación produce la elevación del párpado inferior (ptosis inversa) y la protusión del tercer párpado sin miosis, situación que también se ha observado en el perro (2, 64, 67).

CAPÍTULO 7



Córnea y esclera

ANATOMÍA

La túnica fibrosa es la capa más externa del globo ocular. Esta estructura se compone de dos partes (fig. 7-1):

- a) La córnea. Localizada en la región anterior. Es un tejido claro y transparente que conduce y refracta los rayos luminosos que llegan al lente y a la retina.
- b) La esclera. Ocupa casi las tres cuartas partes posteriores del ojo. Es un tejido blanco y opaco donde se insertan los músculos extraoculares.

A la unión de estas dos porciones en la parte anterior del ojo, se le llama limbo corneal (19, 23, 53, 64, 70).

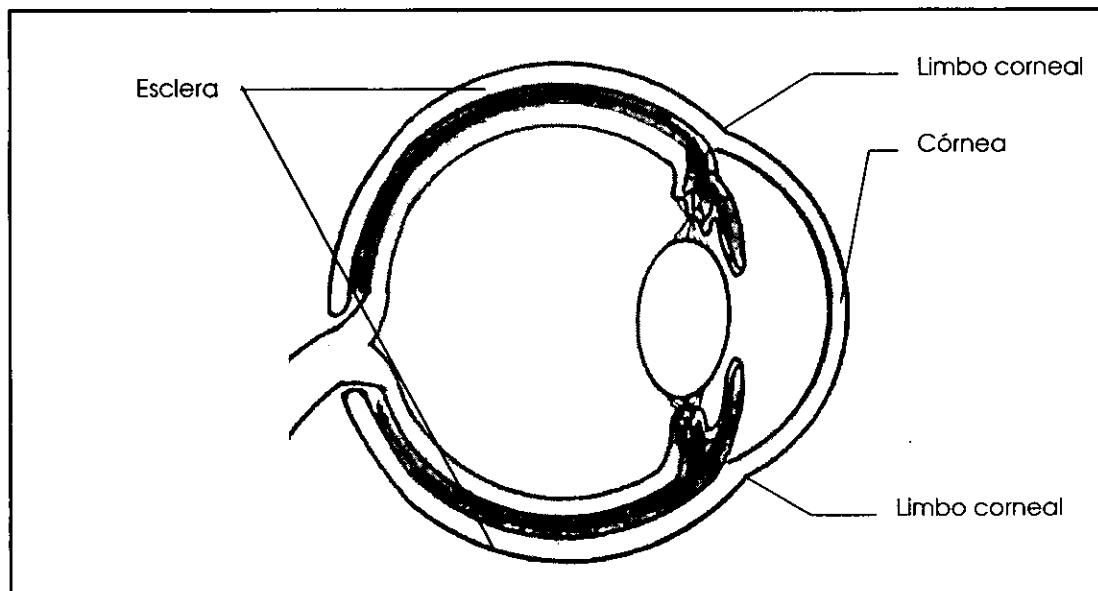


Figura 7-1. Localización de la túnica fibrosa.

CÓRNEA

La mayoría de los animales domésticos presentan una córnea de forma casi circular, esta característica es muy clara en los perros y los gatos. Sin embargo, cuando se miden los diámetros vertical y horizontal, se observa que este último es un poco mayor que el vertical. Este último detalle es más notorio en el perro que en el gato (25, 34, 47, 53, 62, 64, 70).

Al igual que el globo ocular en su conjunto, el diámetro de la córnea puede variar según la raza, sobre todo en los perros, ya que éstos presentan una mayor variación en el tamaño de sus cráneos. El diámetro horizontal de la córnea del perro puede medir cerca de 13 a 17 mm y el diámetro vertical 12 a 16 mm. La córnea del gato mide en su diámetro horizontal 16 a 17 mm y en el vertical 15 a 16 mm. En muy pocas ocasiones, puede haber más de 1 mm de diferencia entre la medida de los diámetros vertical y horizontal (34, 53, 77).

El gato, al ser un típico animal nocturno, presenta una córnea que comprende cerca del 30% de la túnica fibrosa del ojo (1, 64). En general, tanto en el perro, como en el gato, la córnea es visible casi en su totalidad, a través de la fisura palpebral (43).

En los globos oculares enucleados, es posible la orientación de la córnea, localizando el diámetro horizontal que es algo más grande, además de que la porción temporal de ésta, es más puntiaguda que la parte nasal (47).

La córnea presenta una curvatura más pronunciada que la esclera (34, 47, 53, 64). El radio promedio de la curvatura de la córnea en los perros, es de cerca de 8 mm. Las razas grandes, tienden a mostrar una córnea un poco más plana que la de las razas medianas o pequeñas (53).

La mayoría de los autores mencionan que la córnea es más delgada en el centro que en la periferia, pero los rangos de los valores varían según el método utilizado para medirla (17, 30, 34, 43, 47, 53, 64, 70). El grosor de la córnea del perro, varía de 0.5 a 0.95 mm (34, 77) y la porción central mide de 0.5 a 0.6 mm de ancho (53, 77).

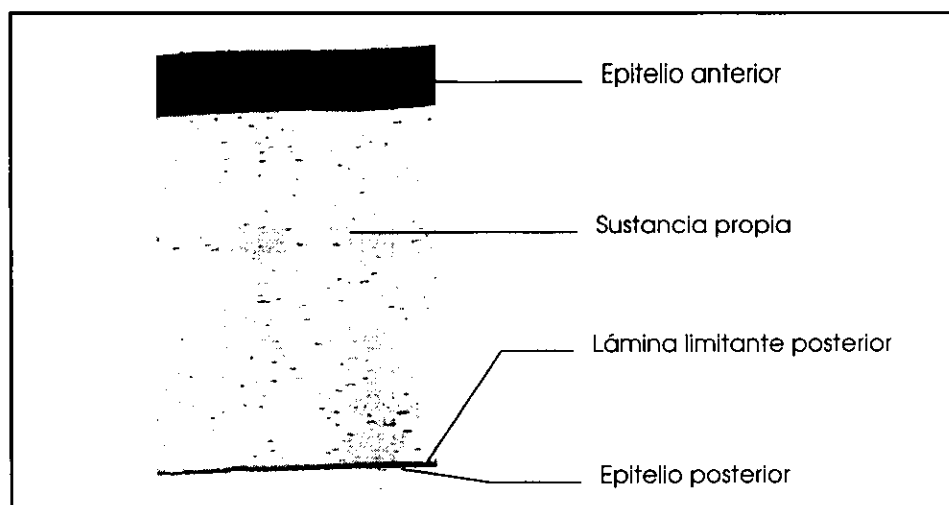


Figura 7-2. Estructura microscópica de la córnea (70).

En un estudio realizado en gatos para medir el grosor de la córnea, por medio de la paquimetría ultrasónica, no se encontró diferencia significativa entre el grosor de la porción central y el de la porción periférica (30):

Rango del grosor central	469 a 784 μm media de $578 \pm 64 \mu\text{m}$
Rango del grosor periférico superior	481 a 789 μm media de $601 \pm 65 \mu\text{m}$
Rango del grosor periférico temporal	490 a 832 μm media de $594 \pm 60 \mu\text{m}$

En el gato y el perro, el grosor de la córnea aumenta con la edad (25, 30, 53).

En general, la córnea presenta cinco capas histológicas (fig. 7-2):

- 1) Epitelio anterior.
- 2) Lámina limitante anterior (lámina de Bowman).
- 3) Sustancia propia.
- 4) Lámina limitante posterior (membrana de Descemet).
- 5) Epitelio posterior (1, 16, 25, 34, 44, 47, 53, 63, 64, 70, 77).

Epitelio anterior (fig. 7-3).

El epitelio anterior de la córnea se continúa con el epitelio de la conjuntiva bulbar y éste se continúa a su vez, con el epitelio de la conjuntiva palpebral en el fórnix conjuntival (1, 19, 47).

El epitelio anterior es un tejido epitelial escamoso estratificado y no queratinizado, que mide de 5 a 7 células de grosor, se compone de una lámina basal, una capa simple de células basales, 2 a 3 capas de células polihédricas o alares y 2 a 3 capas de células escamosas superficiales (1, 25, 28, 34, 47, 53, 62, 64, 70). El número de células se incrementa cerca del limbo donde se funde con el epitelio conjuntival (47, 55). En el perro, tiene cerca de 0.08 mm de grosor (34, 55). También, aunque no es un componente estructural de la córnea, está presente una capa de película precorneal, con un grosor de 7 a 9 μm , sobre la superficie corneal (47, 70).

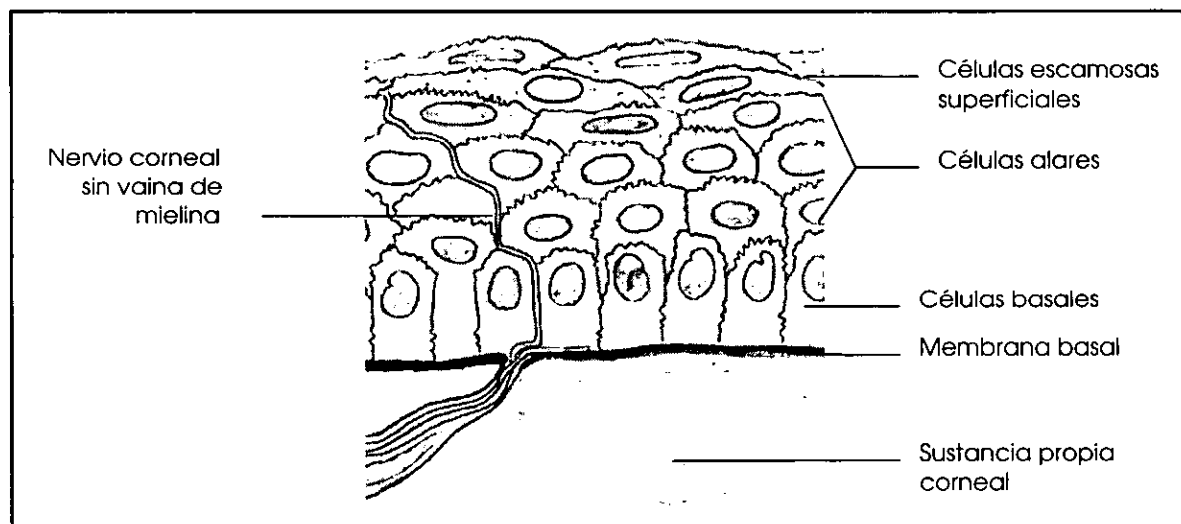


Figura 7-3. Esquema del epitelio anterior de la córnea (47, 70).

En el microscopio electrónico, se observa a la lámina basal como una delgada condensación, ésta separa a la sustancia propia de la córnea con el epitelio basal (47). En el microscopio electrónico es posible observar que la membrana de las células basales, se une a la lámina basal por medio de hemidesmosomas (28, 43, 47, 62, 70). La lámina basal de epitelio anterior es producto de las células basales y ayuda a fijar al epitelio con el estroma. A pesar de la gran capacidad regenerativa de las células del epitelio anterior, que en ocasiones lleva sólo 7 días, pueden ser necesarias varias semanas o meses para regenerar la lámina basal, cuando ésta ha sido retirada. Mientras ocurre la reparación, el epitelio se remueve con facilidad de la sustancia propia de la córnea (28, 47, 62).

Las células basales forman una capa simple que se une a la parte anterior de la sustancia propia del estroma (53). Son células columnares con base aplanada y un ápice en forma de domo. Están tan apretadas que sus núcleos, localizados en la porción apical, se observan como si formaran dos estratos. Sólo estas células o las más cercanas a ellas, presentan mitosis (47). Su citoplasma contiene grandes cantidades de tonofilamentos, mitocondrias esparcidas, retículo endoplásmico rugoso y abundantes ribosomas libres (47, 70). Las superficies de las células adyacentes presentan numerosas uniones desmosómicas. En ocasiones se encuentran linfocitos en el epitelio basal, así como en las capas más superficiales (47).

Conforme se van multiplicando las células basales, las células hijas adquieren una forma más plana, transformándose en células alares. Existen de dos a tres capas de estas células poligonales alares en el epitelio anterior (47, 53, 70). Estas células forman una zona de transición entre las células basales y las células escamosas más superficiales. Su citoplasma es más denso que el de las células basales y su núcleo más aplanado y paralelo a la superficie de la córnea conforme se acercan a la parte externa de la córnea. Presentan una gran cantidad de tonofilamentos, algunas mitocondrias, retículo endoplásmico rugoso y numerosos ribosomas libres. También presentan varias uniones desmosomales.

Las células superficiales del epitelio anterior forman el mayor número de estratos. Se trata de células poligonales planas con bordes rectos. La capa más superficial está en contacto directo con la película lagrimal precorneal (47). Las superficies de las células escamosas tienen numerosas proyecciones, la función de estos micropliegues es la de mantener anclada la película lagrimal precorneal a las células más superficiales, y también como amplificaciones de la membrana para el proceso de transporte de sustancias. Las células del centro de la córnea, presentan más proyecciones que las de la periferia (43, 47, 53, 63, 70).

El citoplasma de las células superficiales contiene numerosos tonofilamentos y vesículas, pero pocas mitocondrias, retículo endoplásmico rugoso o ribosomas. También presentan numerosas uniones desmosomales entre ellas (47, 62).

Lámina limitante anterior.

La lámina limitante anterior es una estructura que está bien identificada en la córnea del hombre. Sin embargo en la mayoría de los animales domésticos, esta lámina no se reconoce al observarse los cortes histológicos en el microscopio óptico (47, 53, 64). En algunos estudios al microscopio electrónico, se ha llegado a encontrar

algún grado de desarrollo de esta lámina en la córnea del perro, conteniendo algunos haces de colágeno orientados al azar. A pesar de estos hallazgos, aún no se ha llegado a reconocer como una lámina característica en esta especie (47, 53).

Sustancia propia.

La sustancia propia constituye la mayor parte de la córnea. Comprende cerca del 90% de su volumen y se compone de fibrillas de colágeno, queratocitos (fibrocitos) y sustancia fundamental (sulfato de condroitina, condroitina, sulfato de queratina, ácido hialurónico). También se encuentran fibras nerviosas desmielinizadas, no así, vasos sanguíneos (1, 25, 28, 34, 43, 47, 53, 64, 70). En el perro llega a tener 0.5 a 0.6 mm de grosor (34).

Las fibrillas de colágeno de la sustancia propia tienen un diámetro pequeño, y están dispuestas en láminas (fig. 7-4). Las fibrillas están dispuestas en forma paralela dentro de cada lámina, una a una, de manera que todas las fibrillas de una misma lámina corran hacia una sola dirección (47, 53, 63, 70). No obstante, la dirección cada lámina puede ser distinta una de la otra. Las láminas están dispuestas en paralelo a la superficie de la córnea (1, 47, 53). El arreglo ordenado, y el diámetro homogéneo de las fibrillas, permite conservar la transparencia de la córnea (19, 34, 47, 53, 70). Las láminas en la parte posterior del estroma tienen un arreglo más regular que las del su primer tercio anterior.

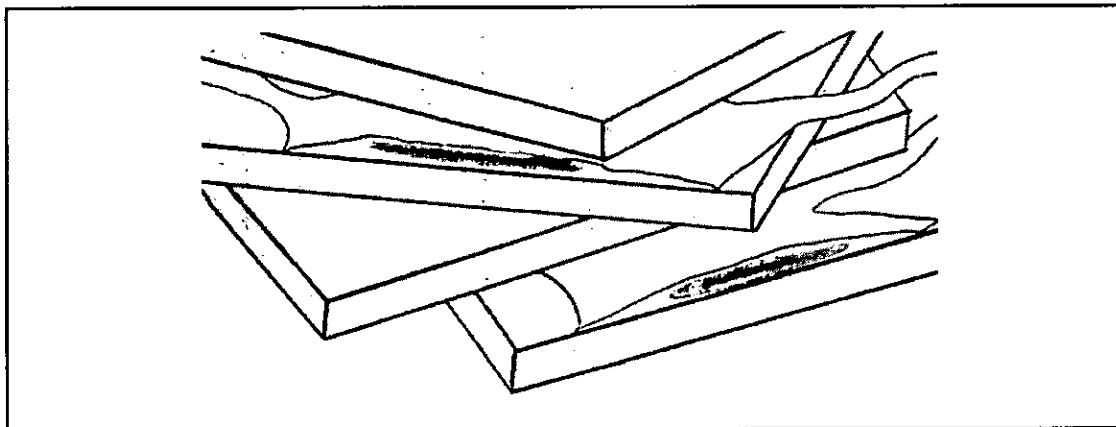


Figura 7-4. Esquema de la estructura de la sustancia propia de la córnea. La orientación de las fibrillas de colágeno en cada lámina es paralela entre cada una. Las laminillas tienen diferente dirección. Se muestran dos fibroblastos entre las laminillas (70).

La parte más anterior de la sustancia propia es una zona delgada, libre de células, que correspondería, por localización, a la membrana limitante anterior. Las fibras de colágena de esta área están dispersas de manera aleatoria y su diámetro es más pequeño (47).

Entre las láminas se pueden encontrar algunos fibroblastos, también llamados queratocitos (fig. 7-5). Estas células forman a la sustancia propia de la córnea, por la producción del colágeno que las rodea (34, 47, 53, 70). Los queratocitos contienen gran una cantidad de retículo endoplásmico rugoso (47).

Las fibras de colágeno de la sustancia propia, se continúan de manera ininterrumpida dentro de la esclera. Aquí pierden su arreglo, lo que ocasiona la opacidad característica de la esclera (19, 34). En ocasiones se pueden encontrar linfocitos, macrófagos y neutrófilos diseminados entre las láminas de colágeno (70).

Lámina limitante posterior.

Esta lamina se asemeja a una exagerada lámina basal del epitelio posterior, llegando a tener un grosor cuatro veces mayor que éste. Los perros tiene una lámina limitante posterior dos veces más gruesa que la del hombre. Es una lámina firme, transparente y de gran elasticidad. En el transcurso de la vida, es producida por el epitelio posterior, por lo que su grosor aumenta con la edad. Cuando se presentan úlceras que no lesionan la lámina limitante posterior, ésta puede presentar un cierto grado de elasticidad, abombándose hacia el defecto (descementocel). A pesar de la elasticidad demostrada de manera clínica, ésta contiene sólo fibrillas de colágeno finas (28, 34, 47, 53, 64, 70).

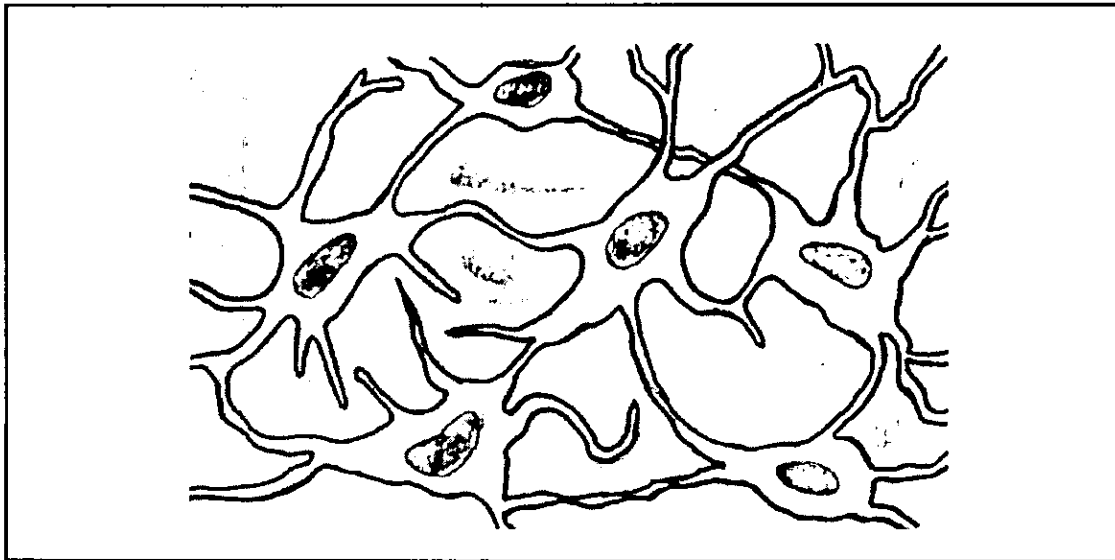


Figura 7-5. Queratocitos (fibroblastos). Sus procesos se unen con los de otras células dentro del mismo plano (70).

Epitelio posterior (fig. 7-6).

El epitelio posterior consiste de una capa simple de células cuboidales que reviste a la parte posterior de la córnea. Tiene cerca de 4 μm de espesor (1, 16, 34, 47, 53, 64, 70). Tanto el epitelio posterior, como la lámina limitante posterior, se continúan con el iris y el cuerpo ciliar, a través del ángulo iridocorneal (17, 19, 34, 63). Los límites de las células del epitelio posterior son hexagonales en su mayoría, pero en ocasiones se ven de forma pentagonal (28, 43, 47, 53). En perros muy jóvenes, de 1 a 2 semanas de edad, la mayoría de las células no tienen esa forma hexagonal típica, este pleomorfismo también se ha encontrado en los gatitos. No se conoce la razón de esto, pero se piensa que este arreglo celular es resultado de la incrementada actividad mitótica con su correspondiente rápido crecimiento corneal (62). La densidad

de las células decrece con la edad, o después de alguna cirugía intraocular. En los perros se encuentran cerca de 2,500 células por mm^2 de superficie (53, 70). La superficie de estas células está cubierta con microvellosidades, aunque no en la misma proporción que la contenida por las superficies de las células del epitelio anterior. En el perro y el gato se observan interdigitaciones entre las uniones de las células de este epitelio.

Las células del epitelio posterior son típicas células activas. Contienen numerosas vesículas pinocíticas y mitocondrias, además de retículo endoplásmico rugoso y liso. Los márgenes laterales de las células pueden mostrar varias invaginaciones con zónulas ocludens, máculas ocludens y mácula adherentes (28, 47). Algunas enfermedades, como la diabetes, pueden alterar la morfología de las células del epitelio posterior (53).

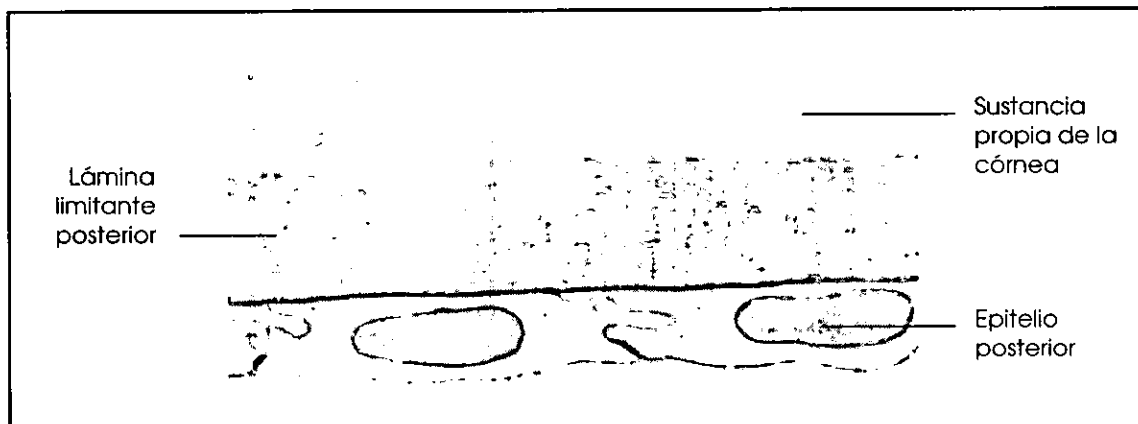


Figura 7-6. Capas posteriores de la córnea (70).

Limbo corneal.

El área de transición entre la córnea y la esclera es el limbo corneal (fig. 7-1). En esta área, el epitelio anterior de la córnea se continúa con la conjuntiva bulbar (28, 34, 53). Las fibras de colágeno de la sustancia propia cambian de forma abrupta su orden conforme se acercan a la esclera, por lo que pierden su transparencia (53). La unión de la córnea y la esclera en el limbo, es oblicua, la parte posterior es más periférica que la parte anterior. En la periferia del limbo, el epitelio corneal posterior se refleja a la parte anterior del iris, formando parte del ángulo iridocorneal (16, 53).

El área del limbo es rica en vasos sanguíneos y terminaciones nerviosas, y está marcada por una línea oblicua de células pigmentadas, las cuales pueden, en algunos ojos normales, extenderse a alguna distancia más allá del limbo, hacia la córnea. El área limbal de la esclera está pigmentada en las partes lateral y medial, pero no en las regiones dorsal y ventral (34). El limbo lleva una canaladura poco profunda, el surco escleral (74).

En la superficie anterior, el epitelio escamoso no queratinizado de la córnea, se comienza a transformar en epitelio escamoso queratinizado de la conjuntiva bulbar. El limbo impide la observación directa del ángulo iridocorneal y los pasajes de drenado del humor acuoso (28).

Aporte nutricional.

La córnea normal es avascular, por lo que tiene que adquirir sus nutrientes a través de los capilares del limbo, de la película lagrimal precorneal y del humor acuoso (1, 34, 44, 47, 53).

Inervación.

La córnea, y de manera especial el epitelio anterior, es una estructura muy sensitiva. Los estímulos sensoriales pasan a las ramas ciliares largas del nervio oftálmico, que es una rama del nervio trigémino. Las ramas nerviosas penetran a la porción anterior de la sustancia propia en el limbo. En el primer tercio anterior se encuentra la mayor concentración de estas fibras nerviosas. Al entrar a la sustancia propia de la córnea, las fibras nerviosas pierden sus vainas de mielina y convergen hacia el centro. Las fibras terminan en puntas desnudas dentro de las células alares y forman un plexo, pero también teniendo terminaciones nerviosas libres entre las células epiteliales (28, 34, 47, 53, 77).

La inervación trigémina de la córnea es esencial para mantener su estado normal, la pérdida de esta inervación parece ser que interrumpe una influencia trópica dada por los nervios ciliares. La denervación corneal puede producir ulceración, edema y pérdida de tejido de la sustancia propia, aunque la función de los párpados permanezca intacta (53).

Además de las fibras colinérgicas sensoriales, el perro y el gato tienen apreciables fibras adrenérgicas de inervación simpática en la parte anterior de la córnea. La función de estas fibras adrenérgicas es desconocida (47, 53).

ESCLERA.

La esclera conforma la mayor parte de la túnica fibrosa que protege y da forma al globo ocular. No se ve a simple vista en la mayoría de los carnívoros, sobre todo los gatos, ya que está recubierta por los párpados. Su color es de blanco a blanco amarillento, aunque puede presentar pequeñas manchas o pigmento diseminado cerca de la superficie, de manera particular en la región anterior (19, 34, 43, 47).

El grosor de la esclera varía con las especies y con la zona donde se mida. El ecuador, cerca de donde se inserta el músculo retractor del globo, es la región más delgada en el perro con 0.12 a 0.28 mm de ancho, engrosándose otra vez, en el aspecto posterior del globo, con cerca de 0.8 mm de espesor (17, 47, 53). La región del plexo venoso escleral es el área más gruesa (1.0 mm o más), tanto en el perro, como en el gato, con un plexo bien desarrollado. Mientras que en los ungulados la región más gruesa es la de la entrada del nervio óptico o polo posterior (34, 47).

En los gatos, el segmento posterior es más delgado (0.55 mm) que la porción

que contiene al plexo venoso escleral (1.6 mm) y en el ecuador mide cerca de 0.1 mm. En general, la esclera es blanca en las partes más gruesas y oscura en la pared posterior y limbal. Hacia posterior, el color oscuro es dado por el pigmento coroidal, que se transparenta a través de ésta. El pigmento en la región del limbo, crea un anillo perilimbal oscuro. Estas áreas oscuras normales, pueden confundirse con tumores pigmentados, sobre todo en los ojos enucleados (17, 64).

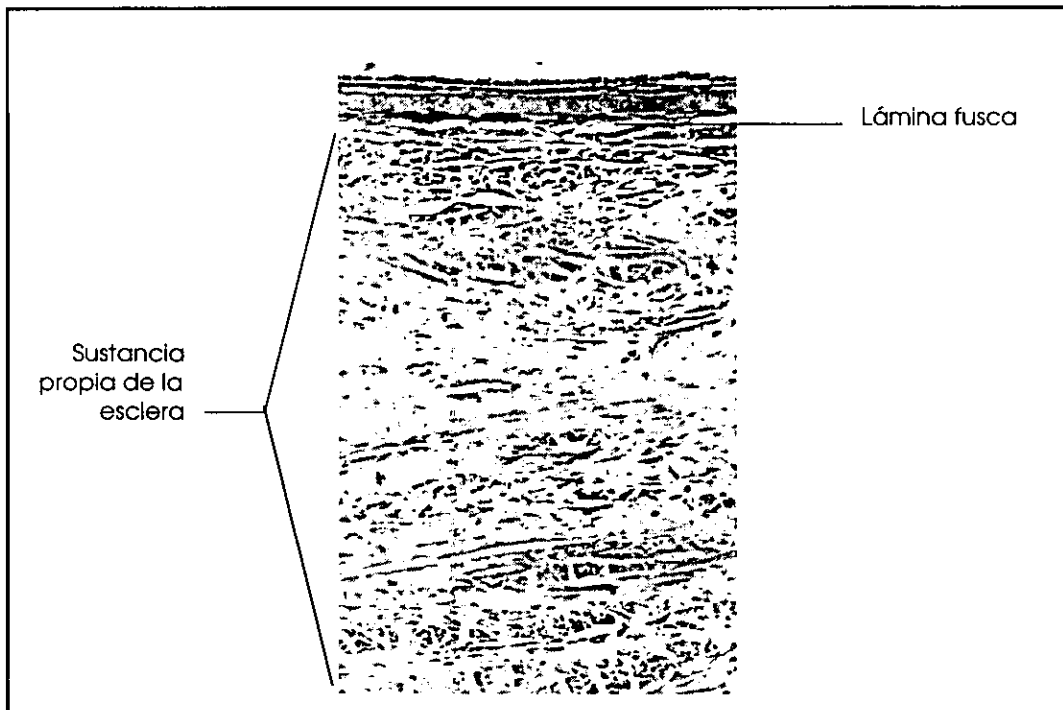


Figura 7-7. Microscopía de la esclera (70).

La esclera se divide en tres capas (fig. 7-7):

- a) La lámina episcleral.
- b) La sustancia propia escleral.
- c) La lámina fusca (1, 34, 47, 70).

Lámina episcleral.

La lámina episcleral es una membrana delgada que rodea la superficie de la esclera. Consiste de fibras de colágeno y fibras elásticas, finos vasos sanguíneos abundantes, fibroblastos y melanocitos diseminados, además de fibras nerviosas mielinizadas y desmielinizadas. Las fibras de colágeno de la lámina episcleral se funden con la sustancia propia escleral superficial. La lámina episcleral está mejor desarrollada entre el limbo, donde se une con la conjuntiva y la esclera, y las inserciones musculares extraoculares, donde se mezcla de manera superficial con la vaina bulbar (cápsula de Tenon) (1, 34, 47, 70).

Sustancia propia.

La estructura histológica de la sustancia propia es parecida a la de la córnea. Está constituida de fibrillas de colágeno entremezcladas y parece estar casi libre de células. La dirección de las fibras es meridional, pero varía con la región. En el limbo, y sobre la región del cuerpo ciliar, las fibras son, en su mayoría, circunferenciales. Las fibrillas de colágeno son fusiformes y tienen varios tamaños. A diferencia de la córnea, el arreglo de estas fibrillas no está ordenado, equidistante una a otra, perdiendo el arreglo de una malla regular que tiene la córnea. Esto ocasiona que la esclera no presente la transparencia característica de la córnea. Dentro de la sustancia propia, también hay algunas fibras elásticas diseminadas. Se llegan a encontrar algunos fibroblastos y melanocitos (1, 16, 34, 47, 53).

Lámina fusca.

La lámina fusca es la región más interna de la esclera. La línea de demarcación desde la sustancia propia y el tejido coroidal no se distingue. La lámina fusca se puede considerar como una zona de transición entre la esclera y las capas externas de la túnica vascular, ya que se mezcla con la lámina supracoroidea. Contiene haces de colágeno escleral que se dividen y entremezclan con los haces separados en la coroides y cuerpo ciliar. Se incrementan la cantidad de melanocitos y de fibroblastos, y la sustancia propia colagenosa disminuye en densidad (1, 47, 70).

El músculo ciliar está unido a un pequeño anillo, llamado anillo escleral. Este anillo es un engrosamiento cerca de la unión con la córnea. Se localiza sobre la superficie interna de la esclera (16, 53).

Área cribosa (fig. 7-8).

En la parte posterior de la esclera, las fibrillas de colágeno se separan y se reduce su número, formando una fina reja a través de la cual pasan las fibras del nervio óptico. A este punto se le llama área cribosa de la esclera, y se localiza en la pared posterior, pudiendo ser central, lateral o medial al polo posterior. Además del nervio óptico, a través de esta área, también entran al globo ocular los nervios y arterias ciliares cortos, que llegan a la coroides, los nervios y arterias ciliares posteriores largas, que penetran a la esclera y pasan de manera horizontal alrededor del ojo hasta el cuerpo ciliar. Las venas vorticosas, los vasos ciliares anteriores entran y abandonan la esclera en la parte anterior, en los puntos de unión muscular y el limbo del globo ocular (16, 34, 47, 53, 64, 70, 74).

La trabécula del área cribosa se continúa hacia caudal como el septo de tejido conectivo del nervio óptico. La vaina externa del nervio óptico, se continúa con las capas externas de la esclera, en la periferia del área cribosa, con la periórbita y la duramadre del encéfalo, en el canal óptico (53).

Plexo venoso escleral.

Dentro de la esclera se encuentra el plexo venoso escleral. Este plexo recibe el humor acuoso que drena desde la cámara anterior del globo ocular. Este plexo también se conecta con las venas que drenan a las capas más internas del globo ocular.

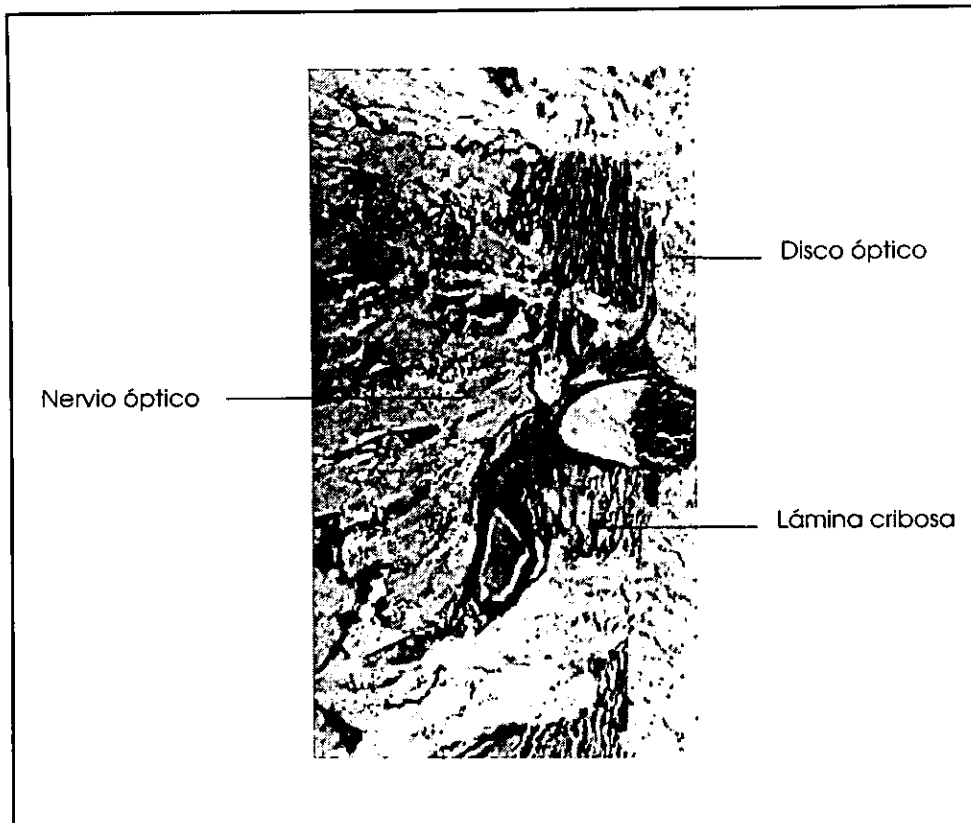


Figura 7-8. Microscopía del área cribosa (70).

El plexo venoso escleral consiste de dos a cuatro grandes vasos esclerales que cursan llenando la circunferencia del globo ocular. En la parte lateral y medial, el plexo comprende de dos vasos, localizados a 1.5 mm de limbo, mientras que en la parte dorsal y ventral, en número de cuatro, se sitúan a 3 o 4 mm detrás del limbo. Éstas comunican en la pared anterior con las venas ciliares anteriores y con las venas conjuntivales por medio de los capilares venulares del limbo. Hacia posterior, se comunican de manera libre con las venas vorticosas que drenan a la coroides. El plexo venoso escleral recibe dos tipos de canales aferentes:

- a) De manera superficial: los bucles venosos episclerales que drenan la sangre de la región del limbo y de la conjuntiva bulbar.
- b) De manera profunda: las venas trabeculares, pequeños conductos varicosos, que colectan el humor acuoso a través de la porción corneoescleral de la red trabecular, desembocando en los dos vasos anteriores del plexo. La mezcla de sangre con humor acuoso llega a los vasos del plexo escleral, por donde se dirige a las venas vorticosas (38, 64).

FISIOLOGÍA.

La túnica fibrosa del ojo tiene la función de dar forma y rigidez al ojo, por la resistencia que ejerce a la presión interna, además de protegerlo del medio ambiente. En la esclera se insertan los músculos extraoculares que permiten los movimientos del globo ocular (16, 19, 34, 47, 53, 64).

La córnea es la superficie refractante más importante del ojo, así como la parte más sensible de sus mecanismos protectores (47). Es responsable de casi el 70% del poder refractivo del ojo, presentando de 40 a 42 dioptías (el lente tiene cerca de 30 dioptías) (62, 77).

A pesar de ser densa y fuerte, la córnea posee la propiedad de ser transparente, por lo que permite la entrada de la luz hacia la retina. Al igual que el lente, es capaz de desviar los rayos de luz, para que la imagen captada pueda ser enfocada por la retina (34, 47, 53, 64, 70).

El adecuado estado de salud está influido por la presencia de la película lagrimal precorneal, del humor acuoso, de la presión intraocular y de los párpados. Cualquier problema en alguno de estos elementos, puede inducir a una enfermedad corneal, lo que también puede provocar la pérdida de la transparencia, y por lo tanto, la pérdida de una visión adecuada (47).

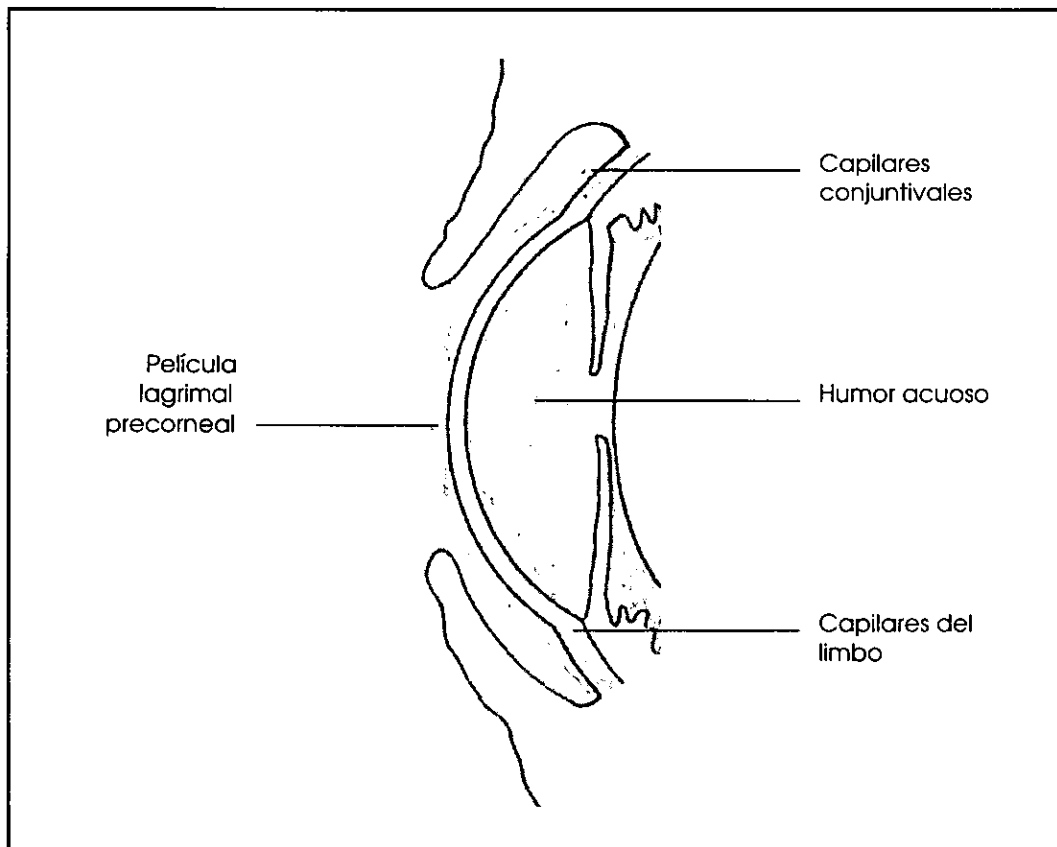


Figura 7-9. Fuentes de O₂ y de nutrientes disponibles para la córnea (70).

Los factores que contribuyen a la transparencia de la córnea son:

- 1) La ausencia de vasos sanguíneos.
- 2) Las fibras nerviosas que presenta son finas y desmielinizadas.
- 3) La superficie epitelial no está queratinizada y se mantiene por la película lagrimal precorneal.
- 4) La ausencia de pigmentación.
- 5) El tamaño y la organización de las fibrillas de colágeno en la sustancia propia.
- 6) El relativo estado de deshidratación (34, 47, 53, 62, 64, 77).

Como la córnea no presenta vasos sanguíneos, sus necesidades metabólicas son cubiertas por los capilares del limbo, la película lagrimal y el humor acuoso. La mayor parte de la glucosa utilizada para producir la energía que mantiene el estado de semideshidratación de la córnea, es obtenida a partir del humor acuoso. Los capilares del limbo y la película lagrimal precorneal aportan el oxígeno necesario para la glicólisis aeróbica y algo de glucosa (fig. 7-9) (70, 77). El epitelio posterior recibe la mayor parte del oxígeno del humor acuoso, pero el oxígeno atmosférico es la fuente principal para el resto de la córnea (70). La glucosa es almacenada en el epitelio corneal como glicógeno. Si éste se llegara a agotar, la curación normal del epitelio por deslizamiento se inhibe. De no haber oxígeno disponible para el metabolismo, la energía se obtiene de glicólisis anaerobia. Al producirse ácido láctico en exceso, a través de este proceso, se presenta hidratación de la córnea, lo que hace que pierda su transparencia. Otra vía para el metabolismo de la glucosa es la del desvío de la hexosa-monofosfato (47, 70).

Son varios los factores de los cuales depende el estado de semideshidratación de la córnea. La integridad anatómica de los epitelios anterior y posterior, provee barreras físicas contra el flujo de las lágrimas o del humor acuoso hacia el interior de la córnea. Por la marcada afinidad de la sustancia propia por el agua, deben mantenerse intactos ambos epitelios, para evitar que ésta penetre al interior de la córnea, perdiendo su estado de semideshidratación y en consecuencia, la transparencia. El epitelio posterior es más importante que el epitelio anterior en este respecto, ya que es posible la pérdida considerable de epitelio anterior sin mostrar edema corneal, pero la mínima pérdida de epitelio posterior resulta en un marcado edema (1, 34, 47, 53, 77). El endotelio no actúa tanto como una barrera, pero es como una bomba que moviliza el agua desde la sustancia propia hacia el humor acuoso contra la presión intraocular, la cual fuerza el agua hacia la córnea, manteniendo el relativo estado de deshidratación característico de la córnea (47, 70). La pérdida del epitelio anterior provoca el engrosamiento en un 200% de la córnea debido a la hidratación. La pérdida del epitelio posterior provoca un 500% de incremento en el grosor de la córnea (70).

Es probable que las fuerzas osmóticas causadas por las lágrimas, el humor acuoso y la sustancia propia de la córnea, afecten la hidratación de la córnea. Ésta debe estar rodeada con un fluido que tenga una presión osmótica más alta que la del fluido intersticial. Si la córnea se rodea por una solución hipotónica, ésta se opaca, debido a la pérdida de las fuerzas osmóticas que actúan sobre el epitelio corneal, pero el mecanismo exacto es desconocido (34, 47).

El papel que juega la concentración de electrolitos no es muy claro. La concentración de cationes es regulada por la $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{ATPasa}$, localizada en ambos epitelios. Si esta enzima es inhibida por cualquier droga, o por ausencia de energía, la córnea se sobrehidrata.

Otra causa de la pérdida de transparencia de la córnea es la evaporación de la película precorneal, que produce que las lágrimas sean hipertónicas, lo que el agua de la córnea fluye hacia la película lagrimal (47, 70).

La transparencia también se ve alterada de manera temporal, cuando se aplica una presión anormal sobre la córnea. Con un súbito aumento de la presión intraocular, como ocurre en el glaucoma agudo, la córnea se opaca a causa del edema corneal que se produce. Éste es reversible si la presión retorna a la normalidad. Es posible que este fenómeno se deba al influjo del humor acuoso, a la pérdida de la función endotelial, o a la alteración del arreglo de las fibrillas de colágeno por estrechamiento (34, 47, 70).

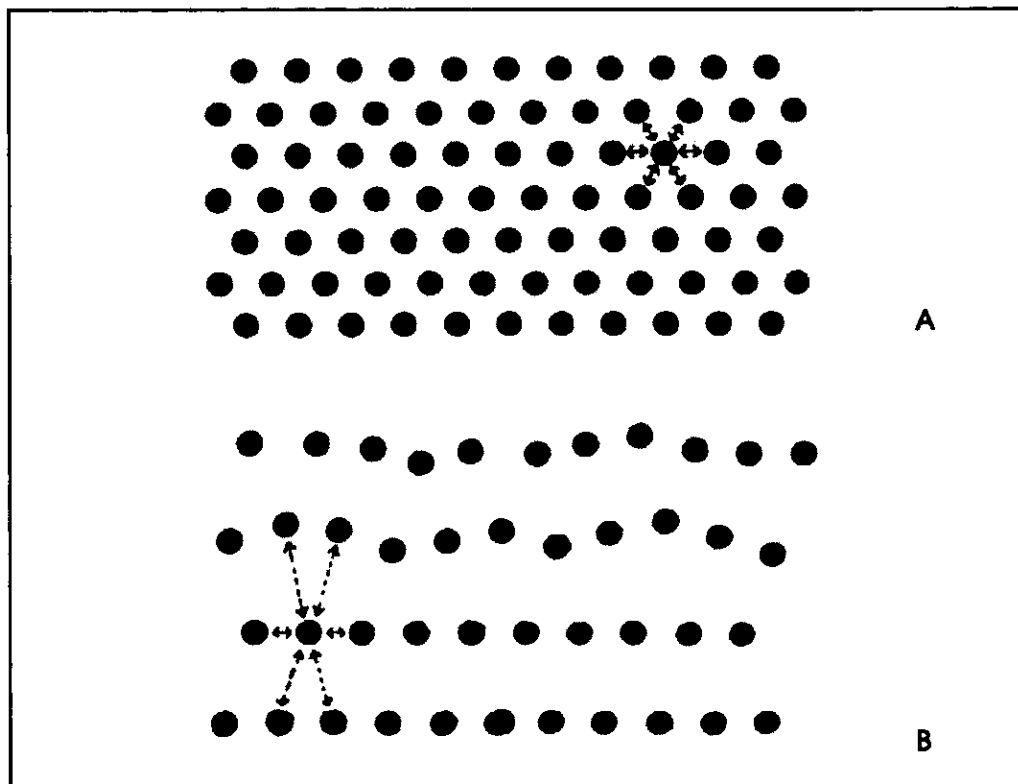


Figura 7-10. Esquema del arreglo de las fibrillas de colágeno en la córnea. Su arreglo regular en las láminas permite conservar la transparencia (A). Cuando se pierde este arreglo, la córnea se vuelve opaca (B) (47, 70).

El arreglo regular de las fibrillas de colágeno, y la concentración de mucopolisacáridos, es diferente en la córnea y en la esclera, permitiendo a una ser transparente y a la otra opaca. Las fibrillas de colágeno forman más del 20 a 25% de la sustancia propia corneal y actúan como estructura de soporte. El resto del estroma corneal contiene entre 75 y 80% de agua. Las fibrillas de colágeno se arreglan como

una rejilla regular y están separadas por una distancia menor a la de una longitud de onda luminosa. El arreglo de las fibrillas destruye la dispersión de la luz por interferencia mutua. Se ha mencionado también, que el pequeño diámetro de las fibrillas es al igual importante, para mantener la transparencia. Las fibrillas están arregladas de manera tan precisa, que cualquier alteración (como el edema) puede crear un cambio en el arreglo regular, lo que produce la pérdida de transparencia (fig. 7-10). La formación de cicatrices después de una lesión o ulceración puede presentarse al no darse un adecuado arreglo de las fibrillas durante la cicatrización (1, 34, 53).

Los mucopolisacáridos (glicosaminoglicanos) que contiene la sustancia propia consisten en sulfato de queratina, condroitina y sulfato de condroitina A, B y C. Estas sustancias llenan los espacios interfibrilares o intersticiales existentes. Forman del 20 al 25% del estroma corneal. Los glicosaminoglicanos actúan como aniones enlazando cationes y agua. Parece que estas sustancias son las responsables de mantener el arreglo regular de las fibras de colágeno, por el control de la distribución de agua en la sustancia propia. El sulfato de queratina absorbe 2 a 3 veces mucha más agua que el sulfato de condroitina, pero una vez que el agua es absorbida por el sulfato de condroitina, esta es retenida 8 a 9 veces mejor que el sulfato de queratina. El sulfato de queratina está más concentrado cerca del epitelio posterior, donde facilita el movimiento de agua del humor acuoso dentro de la córnea. La concentración más alta de sulfato de condroitina está cerca del epitelio anterior, donde ayuda a mantener la hidratación, previniendo la pérdida de agua. Cuando los factores responsables de control de la hidratación se rompen, el agua es absorbida por la sustancia propia, dentro de los espacios interfibrilares, destruyendo el arreglo de las fibrillas de colágeno e incrementando el grosor de la córnea. El resultado es la pérdida de la transparencia corneal (33, 47).

Transporte de fármacos a través de la córnea.

El movimiento de sustancias a través de la córnea tiene importancia clínica por el uso de fármacos tópicos aplicados en el ojo. La característica más importante para la aplicación de drogas tópicas es su solubilidad. El orden del paso a través de la córnea intacta, consiste en una capa externa lipídica (el epitelio anterior), una capa media acuosa (la sustancia propia) y una capa interna lipídica (el epitelio posterior), por lo que para que pueda atravesar un fármaco la córnea, debe ser tanto lipo como hidrosoluble. Las drogas que tienen la forma polar (soluble en agua) y no polar (liposoluble), como el cloramfenicol y los alcaloides, penetran bien a la córnea. Componentes polares como la fluoresceína penetran a la córnea sólo si el epitelio esta ausente, como ocurre en las úlceras corneales. El tamaño de la molécula, la concentración de la droga y la habilidad reductora de la tensión superficial también afectan la penetración a través de la córnea (47).

Curación de la córnea.

La curación de la córnea, después de un traumatismo o a una incisión, es un proceso de respuesta de las capas individuales y de las interacciones entre éstas (47). Todas las capas de la córnea son capaces de regenerarse de manera espontánea,

excepto la lámina limitante posterior, la cual depende de la regeneración del epitelio posterior.

La regeneración del epitelio anterior toma lugar por migración de las células o por mitosis. Primero se presenta la actividad migratoria sobre el defecto, casi de manera inmediata, después de la lesión en la córnea. Continúa la división celular después de 24 a 36 horas, llenando la lesión. Esto demuestra que, defectos epiteliales pequeños, pueden sanar sin la ayuda de la multiplicación celular, sino sólo por migración celular. Al último, en cosa de semanas, se desarrolla una firme adhesión del epitelio que recubre a la sustancia propia (1, 34, 62, 70).

La regeneración de la sustancia propia inicia una vez que el defecto fue recubierto por células epiteliales. Hacia la herida migran los queratocitos adyacentes y células sanguíneas blancas, que son transformadas en células constructoras de tejido conectivo. Conforme va progresando la reparación de la sustancia propia, cambia el contenido de mucopolisacáridos en la herida.

La reparación del epitelio posterior comienza horas después de la lesión, ésta se da por migración o por alargamiento de las células de éste sobre la herida. El epitelio posterior tiene una capacidad limitada para replicarse de acuerdo con la edad y con la especie. En general, la mitosis activa se presenta, sobre todo, en animales inmaduros (47, 53, 70). Los perros jóvenes tienen una capacidad regenerativa considerable, formando una monocapa después de seis semanas de una destrucción del 90% (70). A continuación de la reparación del epitelio posterior, se inicia la síntesis de una nueva lámina limitante posterior, lo que tarda de 1 a 2 semanas. La función normal del epitelio posterior se retrasa después de la recobertura histológica por 4 a 5 días. Es frecuente que un trauma severo en el epitelio posterior produzca un edema corneal crónico (47, 53).

Mecanismos de protección.

Al ser la córnea la estructura del globo ocular que está más en contacto con el medio ambiente, debe tener mecanismos que protejan su integridad para mantener el adecuado funcionamiento del ojo. Uno de los mecanismos de protección de la córnea está dado por las proteínas que contiene. Éstas limitan la penetración de ácidos irritantes a la sustancia propia. Al entrar en contacto los ácidos con las proteínas de la córnea, éstas se precipitan de manera inmediata. Este precipitado actúa como una barrera que impide la penetración del ácido hacia las capas profundas de la córnea. En contraste, los álcalis no forman un precipitado con las proteínas de la cornea, por lo que pueden pasar y, en la mayoría de los casos, causar daños irreparables (34).

El principal mecanismo de protección de la córnea es su sensibilidad. Cuando la córnea es tocada o irritada, el rápido parpadeo y la retracción del globo, con el prolapso del tercer párpado, son reflejos fundamentales. Cuando el dolor es extremo, el reflejo es exagerado y, en algunas ocasiones, ocurre un blefaroespasmo, que se extiende a tal grado, que los párpados no se pueden abrir de manera voluntaria. La rama oftálmica del nervio trigémino es la fuente de inervación sensorial de la córnea. Los nervios son mielinizados en la periferia de la córnea y pierden la mielina cuando van entrando a la porción central. Las fibras nerviosas se solapan extendiéndose en la córnea, por lo que un estímulo en cualquier punto de la córnea, excita muchas

fibras aferentes. Los nervios entran a la córnea a nivel del estroma anterior y se van ramificando hacia el epitelio, donde terminan en un plexo por debajo de éste (19, 47). El esquema del reflejo corneal es el siguiente (70):

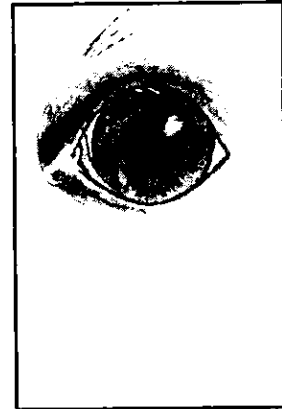
Estímulo:	Dolor en la córnea
Ruta:	Los impulsos se originan en las numerosas ramas corneales sensoriales finas del nervio trigémino, viajando mediante la rama oftálmica al ganglio semilunar, en la parte superior del bulbo raquídeo y los núcleos del nervio facial en ambos lados. Desde éstos parten las fibras del nervio facial que inervan al músculo orbicular del ojo.
Efecto:	Cierre de los párpados

El cierre de los párpados del ojo estimulado, se denomina reflejo corneal directo, y el cierre de los párpados contralaterales es el reflejo corneal consensual (70).

Las lesiones corneales, con frecuencia se acompañan con fotofobia y dolor. Si la lesión está situada en las capas superficiales de la córnea, la fotofobia es más severa. Al parecer, el dolor y la fotofobia se deben, sobre todo, a la vasodilatación que toma lugar en el cuerpo ciliar y al espasmo del iris y del cuerpo ciliar, es por esto que se utiliza la atropina para paralizar al esfínter del iris y al cuerpo ciliar, tratando de aliviar el dolor y la fotofobia (34).

Las sensaciones de presión, frío y calor no están bien determinadas en la córnea, pero el tacto y el dolor se sabe que existen. Las fibras nerviosas de la córnea tienen un reflejo axonal, el cual, cuando es estimulado, provoca miosis, hiperemia, hipertensión ocular, e incremento de las proteínas en el humor acuoso. El mediador humoral de esta respuesta es desconocido, pero la prostaglandinas, la histamina y la acetilcolina parece que intervienen. La sustancia P, un péptido neurotransmisor, se encuentra en un 20% de los cuerpos celulares nerviosos, los cuales son una menor proporción del aporte nervioso sensorial de la córnea. Este reflejo es el responsable de los signos clínicos de la uveítis anterior, asociada con condiciones dolorosas de la córnea, la conjuntiva y los párpados (33, 47).

CAPÍTULO 8



Úvea.

ANATOMÍA

La capa media que conforma al globo ocular, es conocida como la túnica vascular, tracto uveal o úvea. Esta estructura consiste de tres partes (fig. 8-1):

- a) Iris. Esta parte se localiza en la porción anterior de la túnica vascular, por lo que es la porción uveal más visible al examen oftalmológico. Presenta una posición perpendicular en relación con el eje anteroposterior del globo ocular.
- b) Coroides. Es la porción más posterior, ésta se adosa a la parte interna de la esclera.
- c) Cuerpo ciliar. Se localiza entre las dos porciones anteriores, y también se une a la superficie interna de la esclera.

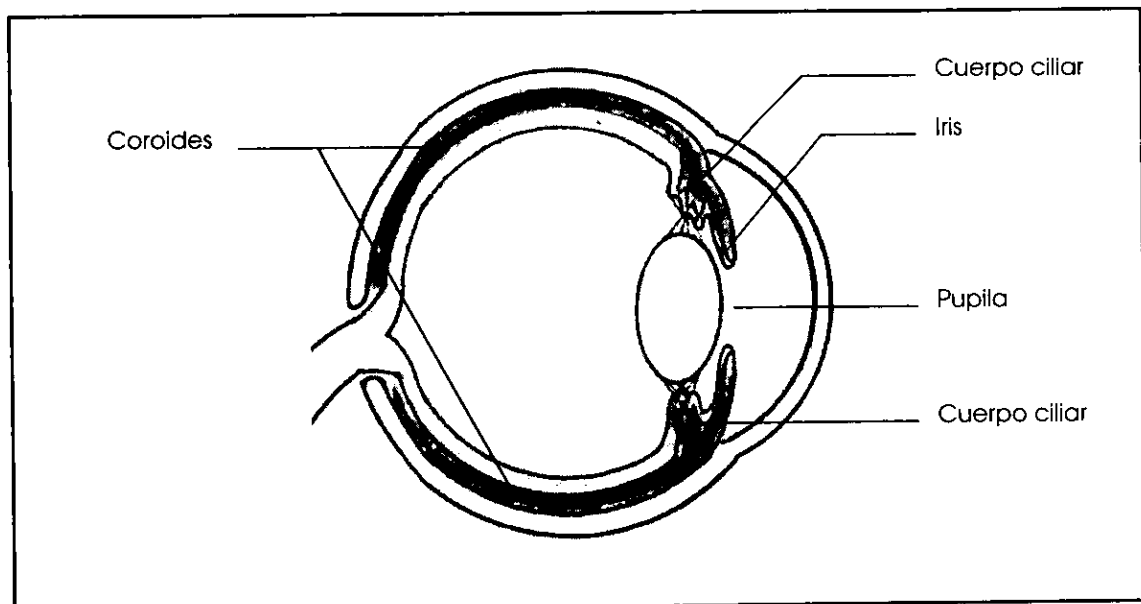


Figura 8-1. Localización de la túnica vascular.

La túnica vascular se localiza entre la esclera y la retina, y contiene a los principales vasos sanguíneos que nutren al globo ocular y a los nervios no ópticos de este órgano (19, 34, 53, 59, 64).

IRIS

El iris es la estructura más anterior de la túnica vascular. Forma un diafragma móvil y delgado que se localiza contra la superficie anterior del lente. El iris limita a las cámaras anterior y posterior del globo ocular. Ambas cámaras se comunican a través de la pupila, que es una abertura en el centro del iris, formada por su borde axial libre. El tamaño de la pupila es variable, su diámetro se torna más pequeño en presencia de iluminación muy intensa. Estos cambios del diámetro de la pupila, como respuesta a la intensidad luminosa, son muy notables en el perro y el gato. La periferia del iris (margen ciliar) se continúa con el cuerpo ciliar y los ligamentos pectíneos del ángulo iridocorneal (fig. 8-2) (19, 34, 47, 53, 64, 74).

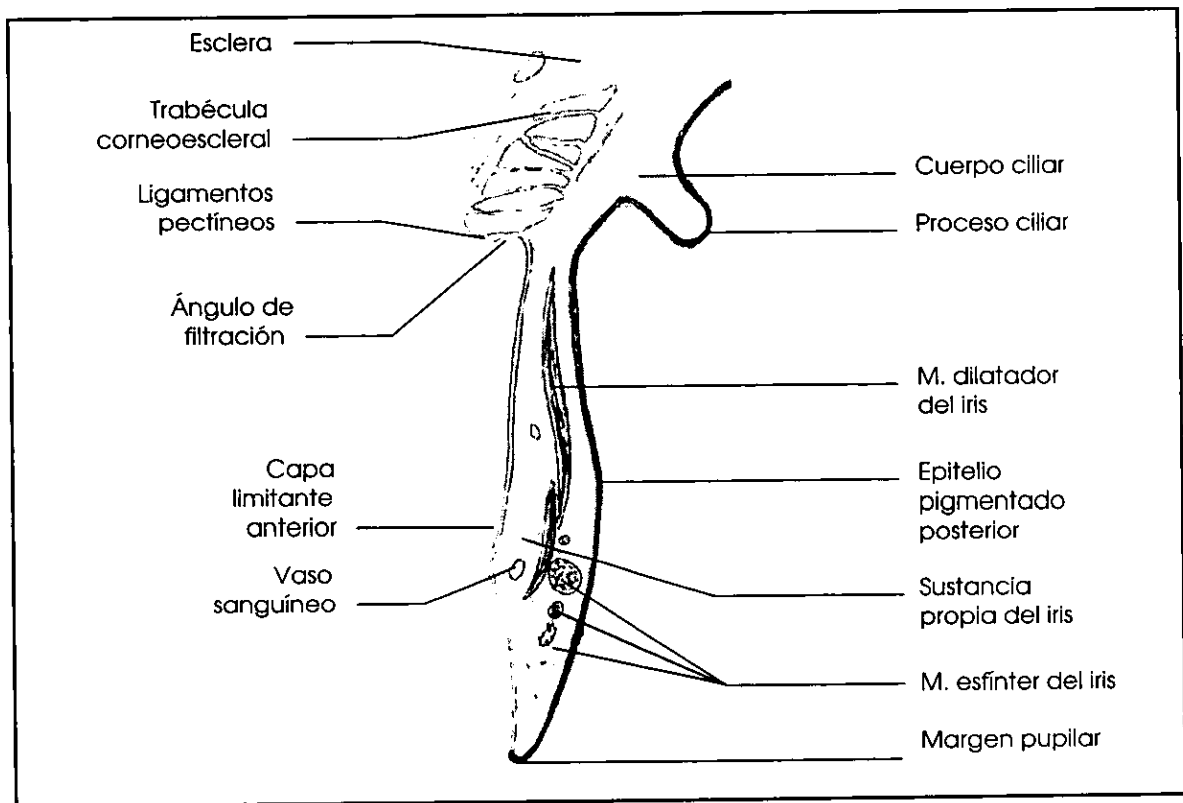


Figura 8-2. Esquema del iris (1).

La superficie del iris se puede dividir en dos zonas, el anillo iridial mayor (zona ciliar periférica) y el anillo iridial menor (zona pupilar central) (fig. 8-4). La demarcación entre estas dos zonas esta dada por el collarite del iris, el cual se puede observar mejor con la pupila en dilatación moderada (47, 64).

El anillo iridial menor es delgado y de coloración oscura. De existir criptas o defectos sobre su superficie, se encuentran en la zona pupilar por lo general. La presencia de criptas no es una característica dominante que se observe en la mayoría de los iris, ya que la mayor parte de los animales tienen sus iris de coloración oscura. La pupila está delineada por un collarín que es una extensión del epitelio pigmentado posterior, y este, a su vez, puede considerarse como una extensión de la túnica interna o nerviosa (47).

El iris es más grueso en el margen ciliar (cerca de 0.4 mm.) que en el borde pupilar (0.09 mm) (63).

En el estado fetal, el iris aún no presenta el orificio que corresponde a la pupila, por lo que cubre toda la superficie del lente por completo. La porción central del iris fetal es llamada membrana pupilar, y contiene parte de los vasos que nutren al lente en desarrollo. Después, la membrana pupilar se atrofia, aunque en ocasiones esto ocurre después del nacimiento, por lo que es posible ver rudimentos de esta membrana en los cachorros, aún hasta las 4 o 5 semanas de edad. En el examen clínico, la persistencia de la membrana pupilar, se observa como hebras delgadas y pigmentadas, originadas en el collarete del iris. Las terminaciones opuestas de estas hebras pueden estar libres, o unirse al epitelio posterior de la córnea, a otra área del collarete, o a la superficie anterior del lente (fig. 8-3). El sitio de origen sobre el collarete, diferencia la persistencia de la membrana pupilar, de las uniones aleatorias de los hilos de fibrina en la inflamación (1, 47, 53, 64).

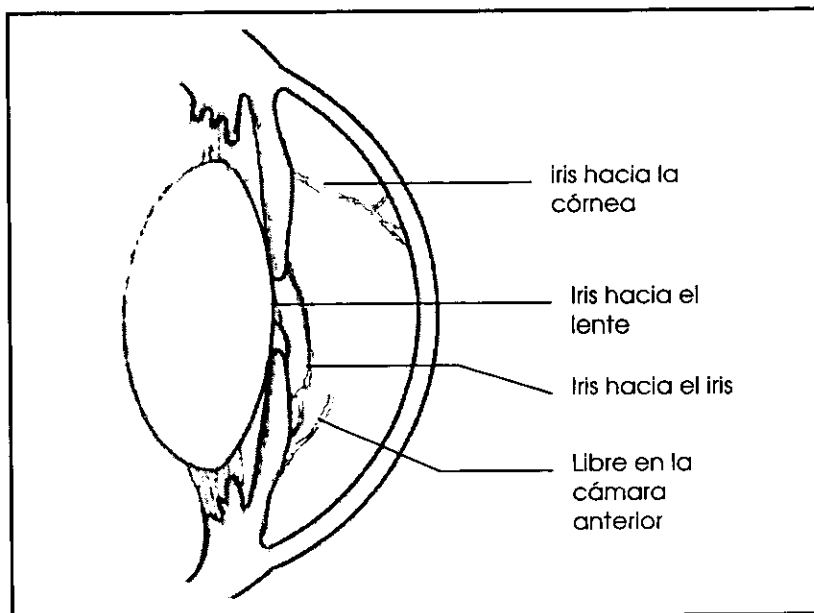


Figura 8-3. Diferentes tipos de membrana pupilar persistente (1).

Para facilitar su descripción, el iris se divide en tres porciones (fig. 8-2):

- a) Capa limitante anterior.
- b) Estroma y músculo esfínter del iris.
- c) Capas epiteliales posteriores (47).

Capa limitante anterior

La capa limitante anterior está bien desarrollada en la mayoría de los animales domésticos, debido a la predominancia de los iris pigmentados. Consiste de dos tipos de células: fibroblastos y melanocitos. Las células fibroblásticas forman una capa casi continua con sus respectivos procesos celulares, pero pequeñas rupturas con grandes espacios intercelulares y la extensión de procesos de melanocitos sobrepuestos, interrumpen esta continuidad, por lo que se puede deducir una comunicación entre la cámara anterior y el estroma del iris (53, 70). La lámina basal no se asocia con esta capa de células. Los núcleos son elongados y el citoplasma contiene abundante retículo endoplásmico rugoso y moderadas cantidades de pequeñas mitocondrias (47).

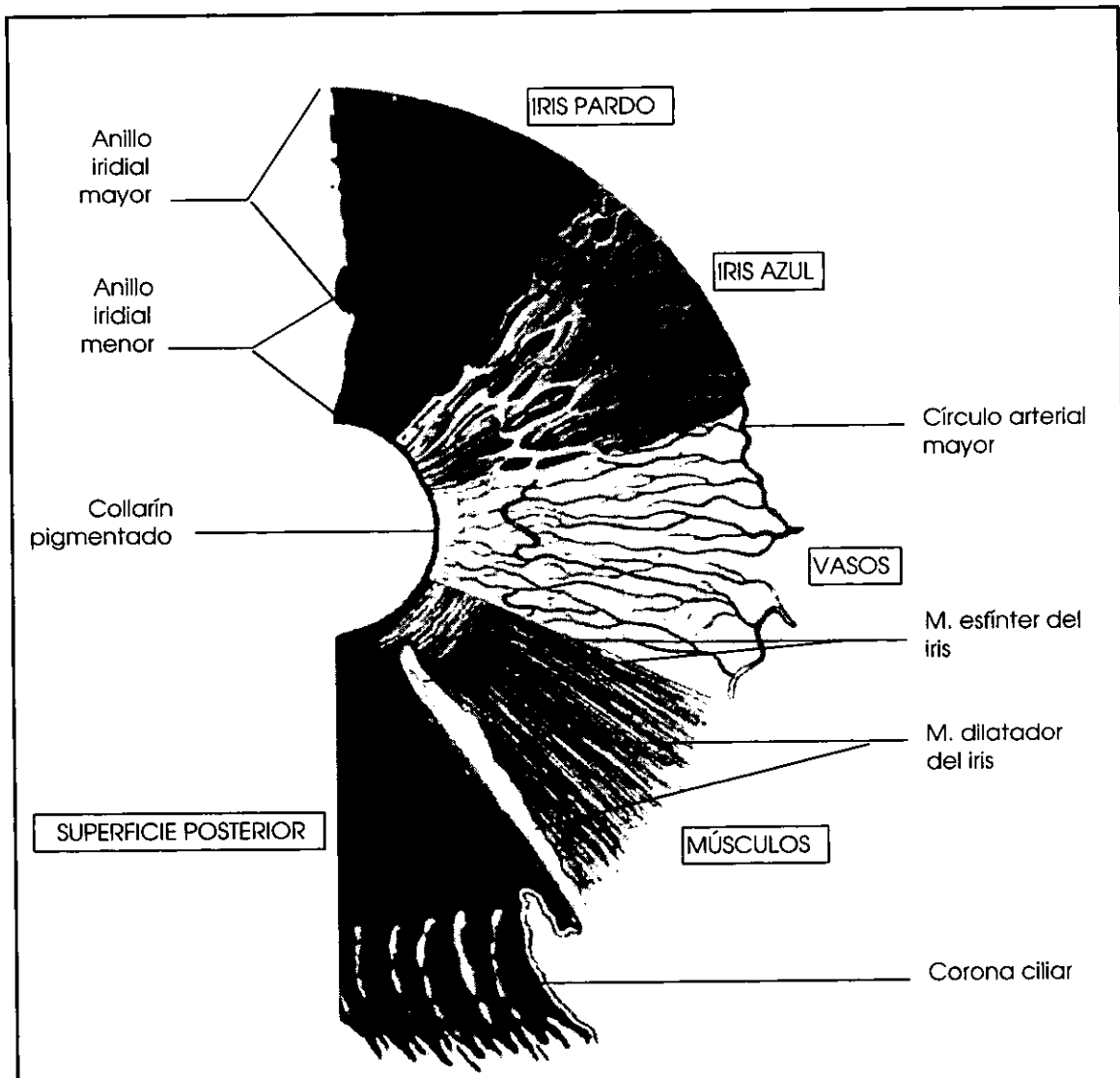


Figura 8-4. Superficies y estratos del iris. La superficie del iris azul muestra una capa limitante anterior menos densa y trabéculas más prominentes (70).

Bajo la capa simple de fibroblastos, hay una o más capas de melanocitos. La orientación de estas células es paralela a la superficie del iris. Tienen procesos intermezclados con otros melanocitos y la capa fibroblástica anterior, con uniones no intercelulares. Los gránulos de pigmento en el perro y el gato son de forma ovoide.

El color del iris varía entre cada individuo, incluso entre los ojos de uno solo, y aún más, dentro de un mismo ojo. La coloración del iris de los animales domésticos tiende a ser oscura, variando de color café oscuro a café dorado, a dorado o a color azul. Los iris oscuros son más densos y compactos en sus estructuras superficiales, mientras que los de color azul tienen una superficie más diáfana (fig. 8-4) (47).

El color del iris depende de la cantidad y de la localización de la melanina, que es el único pigmento identificado en éste. En los ojos con iris café, la melanina se localiza en la superficie anterior. En los ojos con iris azul, el pigmento se encuentra sólo en el epitelio pigmentado posterior del iris. El color azul se debe a que la luz que penetra a través del estroma del iris, llega a la capa pigmentada, y entonces es reflejada de regreso hacia la córnea. Todas las longitudes de onda, excepto la azul, son absorbidas por el estroma, por lo que el observador sólo ve este color. Los colores entre el café y el azul, como el amarillo o el verde, son el resultado de la variada profundidad de la melanina en el iris. En los animales albinos, el iris carece de pigmento y sus ojos se observan con iris de color rojo porque no existe pigmento que cubra la sangre que circula por los capilares (19, 34, 43, 53).

El color típico de la superficie anterior del iris de un gato adulto es dorado o amarillo verdoso. En los gatitos es frecuente el color azul en sus iris, pero después cambian de color. La heterocromía focal hiperpigmentada, también conocida como iris moteado, se ve en ocasiones en los iris felinos, esta condición debe ser diferenciada del melanoma difuso del iris, un cáncer con frecuencia fatal (64).

Estroma.

El estroma comprende la mayor parte de la sustancia del iris, al microscopio se observa denso en su totalidad. Está compuesto de fibroblastos, colágeno, fibras nerviosas mielinizadas y desmielinizadas, fibras de músculo liso, melanocitos, y vasos sanguíneos (47, 53, 70).

En la zona ciliar se encuentran fibrillas de colágeno que corren en una dirección circunferencial, mientras que en la zona pupilar, las fibrillas están orientadas de forma radial. Aunque el estroma aparece por completo denso al estudio histológico, en el microscopio electrónico se observan considerables espacios intercelulares.

Dentro del estroma hay fibroblastos esparcidos, pero predominan los melanocitos. En el perro, existen melanocitos esparcidos en el estroma anterior del iris, pero también existe una banda densa de melanocitos en la zona ciliar, anterior al músculo dilatador, extendiéndose hacia el músculo del esfínter. Los melanocitos son células ramificadas cuyos procesos se identifican con facilidad por los gránulos de melanina en su citoplasma. Los melanocitos, también predominan alrededor de la adventicia de los vasos sanguíneos. Los gránulos pigmentados de estas células son pequeños y en el gato son parecidos a los bastoncillos tapetales, mientras que en el perro pueden tener forma oval o de bastón (47).

Músculo esfínter del iris.

El diámetro de la pupila está regulado por dos músculos antagonistas, el músculo esfínter del iris y el músculo dilatador del iris (fig. 8-5). Ambos se derivan de la capa externa de neuroepitelio de la parte irídica de la retina.

El músculo esfínter del iris es una lámina de fibras de músculo liso. Ésta forma un anillo que rodea a la pupila, cerca de su margen. Tanto en el perro, como en el gato, se localiza en el estroma posterior, separado del epitelio pigmentado por una capa de tejido de colágeno (47, 53, 64).

Además de haces de músculo liso, el músculo esfínter del iris también presenta melanocitos y fibras de colágeno que separan a cada haz adyacente. En el perro, el grosor del esfínter es un poco más ancho en la porción nasal (1.5 mm) que en la temporal (1.37 mm) (47).

Este músculo es más fuerte que el músculo dilatador. Durante la contracción del esfínter del iris, la pupila del gato adquiere la forma de una hendidura, mientras que la pupila del perro, toma una forma circular (53, 64).

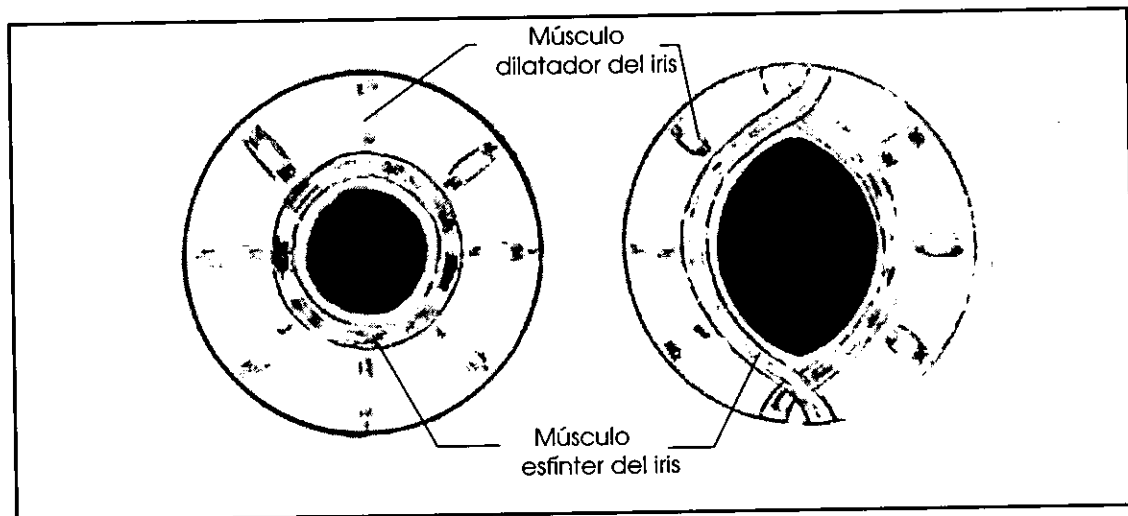


Figura 8-5. Esquema de la disposición de los músculos del iris en el perro y el gato (62).

Epitelio pigmentado posterior.

La superficie posterior del iris está se reviste por dos capas de epitelio pigmentado, derivado de la capa nerviosa. La capa de células posterior es muy pigmentada, y la capa anterior presenta una porción epitelial apical pigmentada con una porción basilar de músculo liso que forma al músculo dilatador de la pupila.

A lo largo de la zona ciliar de la parte posterior del iris, hay unos pliegues radiales llamados pliegues irídicos, estos se extienden a la base del cuerpo ciliar. Aunque los pliegues están orientados de forma radial, los ejes largos de las células epiteliales pigmentadas corren de manera circunferencial en el iris, por lo que se presentan los dos patrones sobre la superficie posterior.

La parte central de la cara posterior del iris descansa contra la superficie anterior del lente. Si el lente se disloca, la pérdida del soporte causa un temblor del iris (iridodonesis) durante los movimientos del globo ocular (47, 64).

En el microscopio electrónico, se observa que la porción basilar del epitelio posterior da a la cámara posterior del globo ocular y tiene numerosas proyecciones superficiales. La lámina basal separa a las células de la cámara posterior, pero no sigue todas las invaginaciones de la superficie celular. Las superficies celulares laterales tienen numerosas microvellosidades delgadas. Entre las membranas laterales celulares, se hallan grandes espacios quísticos, lo que permite el libre acceso a la cámara posterior. El núcleo de las células del epitelio posterior en el perro es oval y algo indentado. El citoplasma está lleno de grandes gránulos de melanina de forma redonda a oval.

La porción epitelial del epitelio anterior está localizada adyacente al epitelio posterior y contiene a los núcleos celulares. En la porción apical se encuentran gránulos de melanina dispersos, así como también en la porción mioepitelial de la célula. El mioepitelio basilar forma lenguas irregulares dentro del estroma y está cubierto por una membrana basal (47).

Músculo dilatador del iris.

El músculo dilatador del iris, es una porción de músculo liso basilar que se encuentra en la capa epitelial que cubre al iris. Se encuentra anterior a las capas pigmentadas de la parte posterior del iris. El músculo dilatador varía según las especies. En el perro está bien desarrollado, involucrando a toda la circunferencia del iris. El desarrollo de este músculo en el gato es pobre en el meridiano vertical, pero está bien desarrollado en el meridiano horizontal (47, 53, 64).

El músculo dilatador del iris se extiende de forma radial, desde la cercanía del músculo esfínter del iris, hacia el margen ciliar, formando una red a través de la cual, los haces de colágeno del estroma del iris están enlazados. En el perro se extiende de la raíz del iris a cerca de 0.5 mm de la pupila (47).

Tanto en el perro como en el gato, la contracción del músculo dilatador del iris, crea una pupila dilatada circular (53, 64).

Irrigación del iris.

El aporte sanguíneo del iris se origina en las dos arterias ciliares posteriores largas. Estas arterias corren por los meridianos medial y lateral del globo ocular, en la posición de las nueve y las tres, comparando con la carátula del reloj, desde el área cribosa al iris (fig. 8-17) (47, 53, 64). Son visibles en el espacio episcleral desde el nervio óptico a la proximidad del ecuador del globo y, en un globo ocular aislado, se pueden utilizar como marcas de orientación. En el ecuador, las arterias ciliares posteriores largas pasan profundas en la esclera y se continúan hacia anterior, a la base del iris. Algunas ramas pueden llegar a la coroides, en donde se anastomosan con las arteriolas coroidales. En el margen ciliar del iris, cada arteria larga posterior, medial y lateral, se divide en las ramas dorsal y ventral. Esta bifurcación puede presentarse de 2 a 3 mm posterior a la base del iris (47, 53). Las ramas corren en el iris formando al ondulado círculo arterial mayor del iris. La posición del círculo es aproximada al ecuador del lente (53, 64). El círculo arterial mayor no está cerrado en los puntos dorsal y ventral. Sin embargo, en la mayoría de los especímenes el círculo se completa con un pequeño vaso, cerca de la base del iris. La formación del círculo arterial mayor del

iris es similar en el perro y en el humano, aunque en el hombre se encuentra dentro del cuerpo ciliar. En el perro, el círculo arterial mayor del iris es con frecuencia visible, sobre todo en los iris de color azul. De manera general se protuye un poco de la superficie iridial anterior (47, 53, 74).

Del círculo arterial mayor se originan finas arteriolas radiales. El origen es directo en el círculo o en las arterias radiales ciliares. Las arteriolas corren hacia la pupila para abastecer al estroma y a la musculatura del iris. También se anastomosan con los vasos ciliares por la periferia, llegando a los procesos ciliares. En el perro y el gato, no existe el círculo arterial menor, que en el humano se encuentra cerca de la pupila.

En el margen pupilar se inician unas vénulas que cursan hacia posterior para pasar debajo del círculo arterial mayor, entrando a la vasculatura ciliar. Por el grado de vascularización, una incisión en el iris puede ocasionar una hemorragia profusa (fig. 8-18) (47, 53).

Inervación del iris.

El estroma del iris contiene numerosos nervios mielinizados y desmielinizados. A pesar de que las fibras nerviosas mielinizadas no siguen a los vasos del iris *per se*, éstas tienen un patrón similar, ya que también siguen a las fibras de colágeno del estroma. Al entrar al iris, cada nervio ciliar largo forma una rama dorsal y una ventral para formar un nervio circular en la zona ciliar del iris. Los nervios circulares se unen dentro de un plexo en el cuerpo ciliar y también unen sus contrapartes del lado opuesto dorsal y ventral en el iris. Hacia la pupila pasan haces de nervios radiales del nervio circular tomando la forma de una cuerda de tornillo, es probable que sea para acomodarse a la constricción pupilar. Un nuevo plexo pupilar se forma cerca del collarite cuyas ramas continúan a la pupila y se dividen e intersectan para formar una malla de forma romboidal (47).

El músculo esfínter del iris está inervado por los nervios cortos ciliares (nervios malar y nasal). Éstos son fibras parasimpáticas posganglionares del ganglio ciliar (53, 64). También existen fibras preganglionares que alcanzan al ganglio ciliar por la vía del nervio oculomotor. En varios mamíferos, incluyendo al perro y al gato, ha sido descrito un ganglio ciliar accesorio. Este ganglio se localiza en el nervio ciliar corto y acarrea fibras parasimpáticas en el gato. Parece ser que su función es mediar la constricción pupilar, en asociación con la convergencia y la acomodación de los ojos. Las fibras del esfínter también reciben inervación simpática, que inhibe la contracción de este músculo. Se ha sugerido que las prostaglandinas pueden también contribuir al tono del músculo esfínter del iris, y en un menor grado el músculo dilatador del perro. Es posible que la acción de las prostaglandinas sea directa sobre estos músculos, más que a través de la liberación de neurotransmisores colinérgicos. El efecto del neuropéptido sustancia P es variable en la inducción de la miosis en los mamíferos, pero no induce contracción del esfínter del iris en el perro (53).

El músculo dilatador del iris está inervado tanto por fibras nerviosas parasimpáticas, como por fibras simpáticas. Las neuronas preganglionares de las fibras simpáticas se localizan en la columna gris intermedia de los primeros tres segmentos de la médula espinal torácica. Sus axones cursan hacia rostral, en el

tronco vagosimpático que sinapsa en los cuerpos celulares de las neuronas posganglionares, localizadas en el ganglio cervical craneal (53, 64). A partir de este ganglio, las fibras posganglionares pasan hacia rostral, a través de la fisura timpanooccipital que une al nervio oftálmico en la superficie ventral del ganglio trigeminal. Se distribuyen con las ramas ciliares del nervio oftálmico. La estimulación simpática causa contracción de las fibras musculares del dilatador del iris, causando la dilatación de la pupila, mientras que la estimulación parasimpática inhibe su contracción. Otros componentes endógenos, como las prostaglandinas también han demostrado jugar un papel en la regulación del estado de dilatación pupilar (13, 53).

La disfunción pupilar es un indicador clínico de la presencia de alguna enfermedad neurológica u oftálmica. En los gatos, la interrupción de cualquiera de los nervios cortos ciliares pueden llevar a una anomalía pupilar conocida como pupila hemidilatada felina, en la cual se observa a la pupila con la forma de una D, o de una D inversa. La denervación del músculo dilatador del iris, en cualquier lugar de la vía de impulso nervioso, la cual comienza en el cerebro, puede llevar a miosis con otros signos del síndrome de Horner (64).

CUERPO CILIAR

El cuerpo ciliar es el segmento medio, engrosado, de la túnica vascular. Se encuentra entre el iris y la coroides (47, 53, 64). En sección sagital, es triangular, con el ápice continuándose hacia posterior dentro de la coroides. La superficie anterior recubre al iris, dándole origen y formando la mayoría de los componentes del ángulo iridocorneal. El lado interno recubre al lente y al cuerpo vítreo y el lado externo recubre a la esclera (fig. 8-6) (47, 70). Visto desde el aspecto posterior, el cuerpo ciliar es asimétrico en su grosor, debido a la mayor extensión de la retina hacia medial y ventral. Esta extensión está en detrimento de la parte orbicular, la cual es angosta en esos cuadrantes. En el perro, la ora ciliar de la retina está 8 mm detrás del limbo hacia dorsal y lateral, pero sólo 4 mm hacia ventral y medial. Ambas regiones del cuerpo ciliar están muy pigmentadas (47). En el gato, cuerpo ciliar es más bien pequeño (64).

La ora ciliar, que demarca los límites entre la parte ciliar de la retina y la parte óptica retinal, también limita al cuerpo ciliar de la coroides (1, 53).

El cuerpo ciliar se divide en la corona ciliar (parte plegada) y la porción orbicular ciliar (parte plana). La corona ciliar consiste de un anillo con varios procesos ciliares con sus respectivos valles. La parte orbicular ciliar es la porción posterior que se extiende de la terminación posterior de los procesos ciliares, hasta la ora ciliar de la retina (fig. 8-6) (47, 53, 64, 74).

Corona ciliar.

La corona ciliar está formada por cerca de un centenar de procesos planos, paralelos y pequeños que surgen de la base del cuerpo ciliar, anterior a la ora ciliar (fig. 8-7) (43, 53).

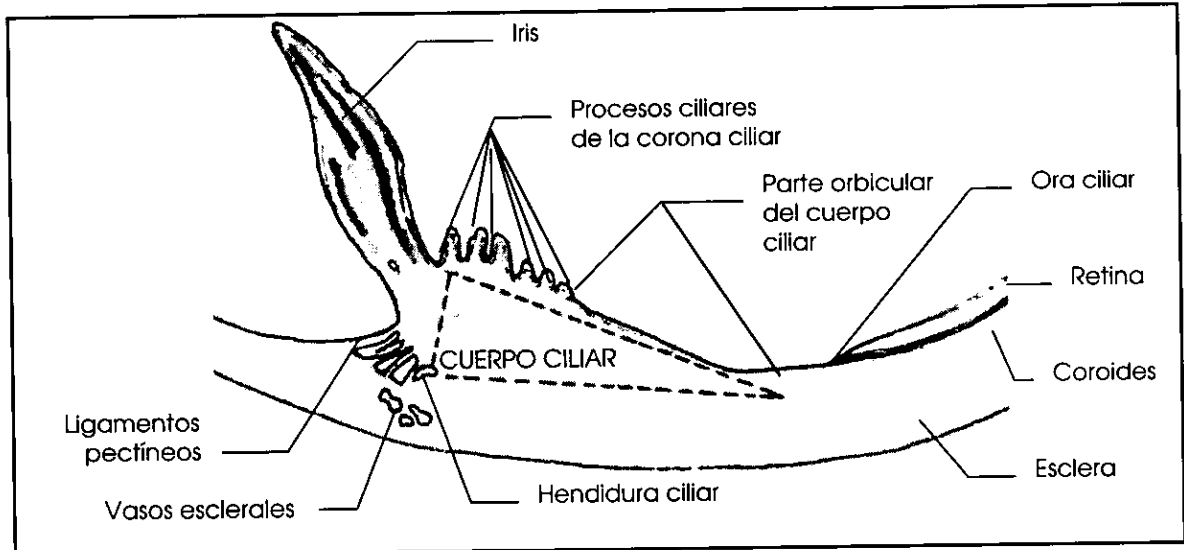


Figura 8-6. Partes del cuerpo ciliar y estructuras anexas (70).

La apariencia individual de los procesos ciliares varía entre las especies. En los carnívoros los procesos son como cuchillas delgadas con puntas romas que están revestidas por las fibras zonulares (fig. 8-8). Los valles que se encuentran entre los procesos ciliares mayores, están recubiertos por pliegues secundarios pequeños. Muchos de estos pliegues secundarios se originan cerca de la parte orbicular ciliar y se fusionan con los procesos ciliares mayores en sus bases (47, 53). La relación entre los procesos ciliares mayores y los menores no siempre es constante, dos procesos ciliares mayores pueden estar juntos sin que exista algún proceso menor entre éstos (53). La superficie de los procesos tiene numerosas circunvoluciones, y está casi cubierta del todo por las fibras de la zónula ciliar (47, 53).

Por su corto tamaño, los procesos ciliares menores no llegan a acercarse tanto al lente como lo hacen los procesos ciliares mayores. La longitud del cuerpo ciliar, desde las puntas de los procesos ciliares, hasta la ora ciliar, es más amplia en la parte lateral del globo (53).

En los perros, se han observado cerca de un ciento de procesos ciliares mayores en cada ojo, cuya longitud puede variar de 2 a 4 mm, con un grosor de 0.14 mm, mientras que la corona ciliar del gato está formada por cerca de 76 procesos ciliares mayores. Entre los procesos ciliares mayores existe un número similar de procesos ciliares menores.

En el epitelio ciliar se secreta el humor acuoso al interior del ojo, el cual contribuye a la nutrición de la córnea, el lente y el vítreo, además de mantener la

presión intraocular constante, necesaria para el adecuado mantenimiento y funcionamiento del globo ocular (34, 53, 64).

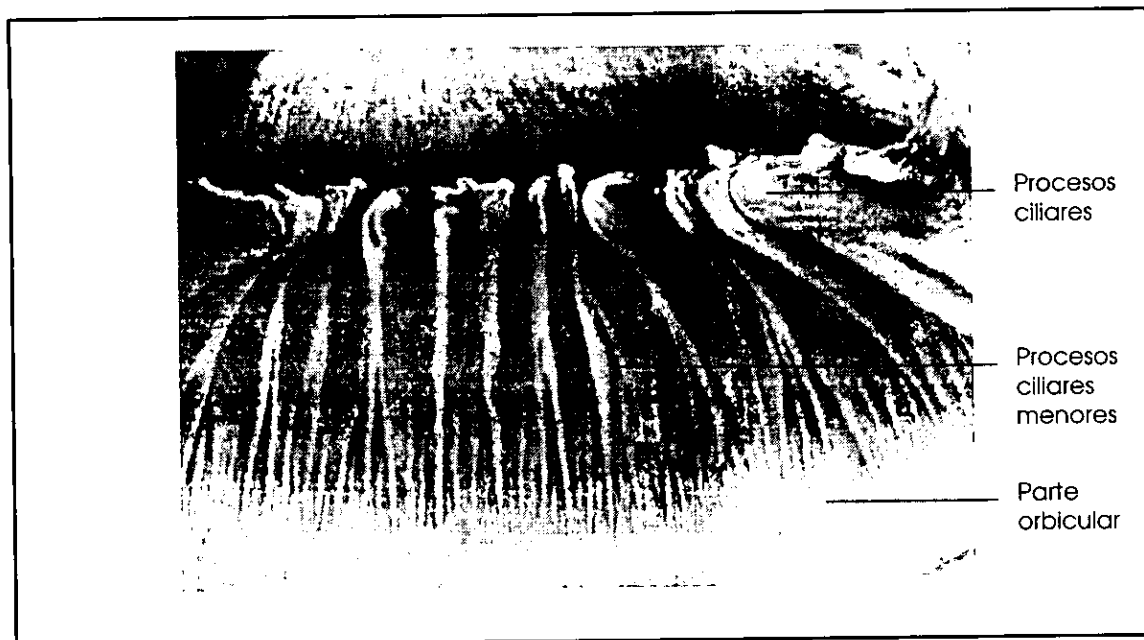


Figura 8-7. Fotografía de la superficie del cuerpo ciliar. Se han removido las fibras de la zónula ciliar (62).

Porción orbicular ciliar y músculo ciliar.

La porción orbicular ciliar es la parte plana del cuerpo ciliar. Se extiende desde la terminación posterior de los procesos ciliares, hasta el nivel de las terminaciones periféricas de la parte óptica de la retina (64).

El músculo ciliar ayuda a dar forma al cuerpo ciliar. Consiste de varios fascículos de músculo liso que se encuentran en las porciones externas del cuerpo ciliar. En los primates existen tanto fibras circulares como fibras meridionales, por lo que poseen un extenso rango de acomodación, mientras que el perro y el gato sólo presentan fibras meridionales. Las fibras meridionales se originan del anillo escleral, sobre la superficie interna de la esclera, posterior al ángulo iridocorneal. Las fibras musculares forman la capa externa de la trabécula ciliar en la hendidura ciliar. Las fibras meridionales se insertan en el estroma del cuerpo ciliar cerca de la ora ciliar (47, 53, 64).

El cuerpo ciliar visto al microscopio, se puede dividir en el epitelio del cuerpo ciliar, que está constituido por dos capas, cada una con su lámina basal y estroma, que contiene a los músculos ciliares, fibras de colágeno, vasos y nervios (1, 47).

Epitelio ciliar no pigmentado y lámina basal.

Este epitelio se origina a partir de la retina sensorial. En la ora ciliar, la retina se reduce a una capa simple de células y su membrana basal, la cual se continúa sobre el cuerpo ciliar como su capa más interna. Esta capa epitelial, ya sobre el cuerpo ciliar, no está pigmentada, pero se comienza a pigmentar al continuarse sobre

el iris posterior. La superficie basilar de las células cubre el interior del ojo y es irregular. La lámina basal sigue el contorno general pero no pasa por dentro de las pequeñas irregularidades, ni dentro de los espacios intercelulares. La lámina basal proporciona el anclaje a las fibras zonulares y a la base del vítreo.



Figura 8-8. Fotografía de los procesos ciliares con la presencia de las fibras zonulares (47).

El epitelio no pigmentado es de forma cuboidal a columnar, dependiendo de la edad y localización en el cuerpo ciliar. Las superficies laterales celulares del epitelio no pigmentado tienen numerosas proyecciones vellosas a lo largo de la mitad o de los dos tercios basales. En esta región hay espacios intercelulares quísticos. En la parte orbicular ciliar, estos espacios están rellenos con ácido mucopolisacárido. El citoplasma del epitelio no pigmentado contiene el mismo material que es producido por estas células para integrarlo al vítreo. Las células secretan el ácido mucopolisacárido dentro de los espacios quísticos intercelulares, los cuales se comunican con la base de vítreo (47).

Epitelio pigmentado y lámina basal.

El epitelio pigmentado del cuerpo ciliar se origina como la continuación del estrato pigmentado de la retina. Hacia anterior se continúa como la capa epitelial pigmentada del iris, la cual forma al músculo dilatador de la pupila (1, 43, 47).

El epitelio pigmentado es cuboidal a columnar y está muy cargado de gránulos de melanina de forma redonda a oval, similares a los gránulos encontrados en el epitelio pigmentado del iris (47).

La parte basilar del epitelio, reviste al estroma del cuerpo ciliar y lo cubre con una lámina basal. En algunas ocasiones, los capilares de los procesos ciliares entran en contacto con la lámina basal, y contribuyen a la formación de una lámina basal común con el epitelio pigmentado. Las superficies celulares laterales del epitelio

pigmentado se unen por desmosomas y puncta adherens. Las superficies basales no tienen uniones especializadas (fig. 8-9) (47, 62).

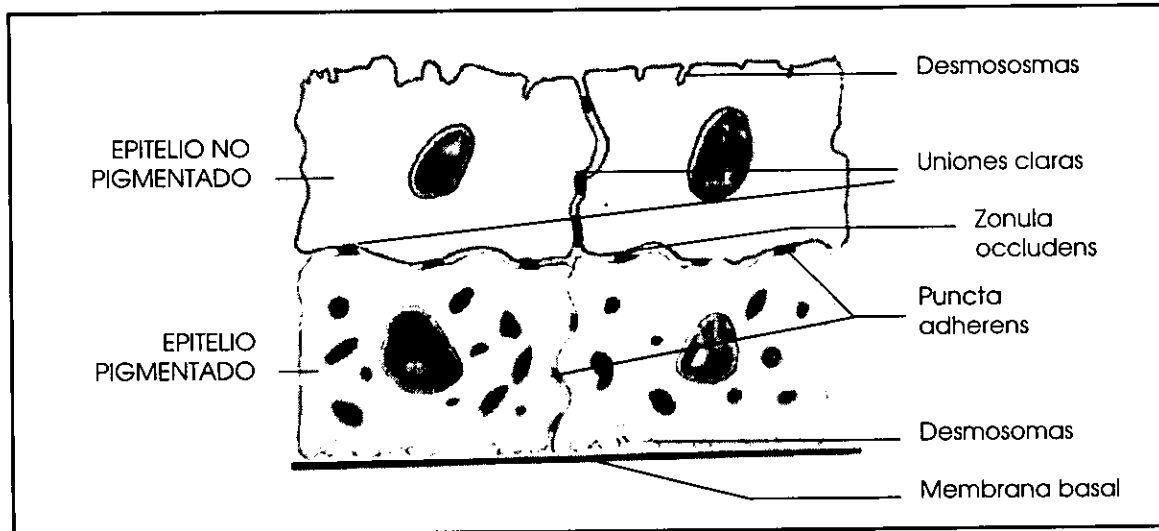


Figura 8-9. Tipos de unión entre las células epiteliales no pigmentadas y las células epiteliales pigmentadas del cuerpo ciliar y la membrana basal (62).

Estroma.

Bajo el epitelio ciliar se encuentra una capa de tejido conectivo con vasos sanguíneos y fibras nerviosas. Esta capa está mejor desarrollada bajo la corona ciliar, donde descansa entre el epitelio y el músculo ciliar o la red trabecular uveal en el seno ciliar. Forma cordones de tejido colágeno y capilares dentro de los procesos ciliares y continua hacia lateral, a la raíz del iris. En la parte orbicular ciliar, el estroma contiene algo de tejido elástico, que es la extensión anterior de la porción elástica de la lámina basal. La porción colagenosa interna de la lámina basal continua hacia anterior, como la lámina basal del epitelio pigmentado del cuerpo ciliar (47).

El centro de los procesos ciliares contiene grandes capilares que tienen un endotelio fenestrado. Estos capilares están separados del epitelio pigmentado por la lámina basal en la corona ciliar, pero en la parte orbicular ciliar, interviene tejido colágeno y elástico. En el estroma hay numerosos melanocitos, sobre todo en la parte externa, entre las fibras de músculo ciliar. También se encuentran fibroblastos dispersos (13, 23, 47).

Irrigación del cuerpo ciliar.

El cuerpo ciliar está muy vascularizado. Su irrigación está dada por ramas de las arterias ciliares radiales, originadas en el margen posterior del círculo arterial mayor del iris. Estas arterias pasan por la periferia del iris y, en el margen anterior de los procesos ciliares, se dan ramas que cursan dentro de sus bordes anteriores. Cada proceso ciliar está nutrido por una arteriola simple que viaja posterior, por toda su longitud, y envía arcadas capilares a este margen, desde el cual, drena a las venas sinuosas localizadas en la base de los procesos ciliares. Después de dirigir ramas al proceso ciliar, las arterias ciliares pasan hacia posterior, abasteciendo una densa

trama de capilares que se asocian con las fibras del músculo ciliar. Por último, cruzan la lámina supracoroidea para ramificarse en la vasculatura coroidal. El flujo sanguíneo de las arterias ciliares radiales tiene, por lo tanto, cuatro posibles destinos. Puede ramificarse hacia anterior para convertirse en una arteria radial del iris, puede ramificarse en el interior convirtiéndose en una arteriola aferente que nutra a un proceso ciliar, puede abastecer la trama capilar fina del músculo ciliar, o puede desviarse a través de la región del cuerpo ciliar y ramificarse con la vasculatura coroidal. El cuerpo ciliar está drenado por las venas vorticosas y coroidales (53).

Inervación del cuerpo ciliar.

El cuerpo ciliar recibe inervación adrenérgica y colinérgica, la cual se piensa que juega un papel importante en la regulación de la producción del humor acuoso y de su flujo.

La inervación está dada por medio de fibras parasimpáticas del nervio oculomotor y por fibras simpáticas. El perro, en su inervación parasimpática del músculo ciliar, carece de adrenerreceptores funcionales (53). Las fibras parasimpáticas dejan la rama del nervio oculomotor en el músculo oblicuo ventral y sinapsan con el ganglio ciliar. Del ganglio ciliar, nervios ciliares cortos penetran a la esclera, alrededor del nervio óptico, pasando, además de por la esclera, por el espacio supracorooidal, para inervar a los músculos ciliares y al iris. Las fibras simpáticas arriban, de manera similar, por la vía de los nervios ciliares largos, una rama del nervio oftálmico (47).

ÁNGULO IRIDOCORNEAL (fig. 8-11)

El ángulo iridocorneal está constituido por las estructuras asociadas con la base del iris, la porción anterior del cuerpo ciliar, la periferia interna de la córnea y la porción anterior interna de la esclera. Se localiza en la periferia de la cámara anterior y corre por los 360° por debajo de la región opaca del limbo. La estructura más visible son los ligamentos pectíneos. Estos consisten de fibras largas y delgadas que se fijan desde la base del iris, a la periferia interna de la córnea. Tienen el mismo color que el iris adyacente. Si la pigmentación del limbo es prominente, la inserción corneal de los ligamentos pectíneos está marcada por una zona de pigmento, llamada zona pigmentada profunda (1, 38, 43, 47, 53, 64, 74).

El desarrollo del ángulo iridocorneal varía entre los vertebrados, en los carnívoros es profundo pero limita en parte por una musculatura ciliar bien desarrollada. Esta característica representa una posición intermedia entre los ángulos iridocorneales que son un tanto superficiales y que está limitado hacia posterior por una musculatura del cuerpo ciliar bastante bien desarrollada como el del humano, y aquellos ángulos iridocorneales que son prominentes y están limitados por una musculatura del cuerpo ciliar con un pobre desarrollo, como en los herbívoros y los roedores. Esto parece tener relación con el tamaño relativo del ángulo iridocorneal, sobre todo en el seno o hendidura cilioescleral y el desarrollo de la musculatura, que

interviene en la capacidad acomodativa del lente (fig. 8-10). Así, parte de esta correlación se puede atribuir a la conducta alimenticia. Los predadores dependen en gran medida de una buena visión central, incluyendo la habilidad de acomodación desarrollada lo suficiente para enfocar a los animales con los que se alimenta. Por comparación, los herbívoros, dependen más de una buena visión periférica (detección del movimiento), por lo que las córneas con frecuencia son anchas en el plano horizontal, con grandes cámaras anteriores, ángulos prominentes, y comparativamente pequeña musculatura del cuerpo ciliar (62). Los ángulos iridocorneales del perro y del gato son similares, pero el del gato es más ancho debido a que tiene mayor cantidad de fibras en el retículo trabecular (47, 53).

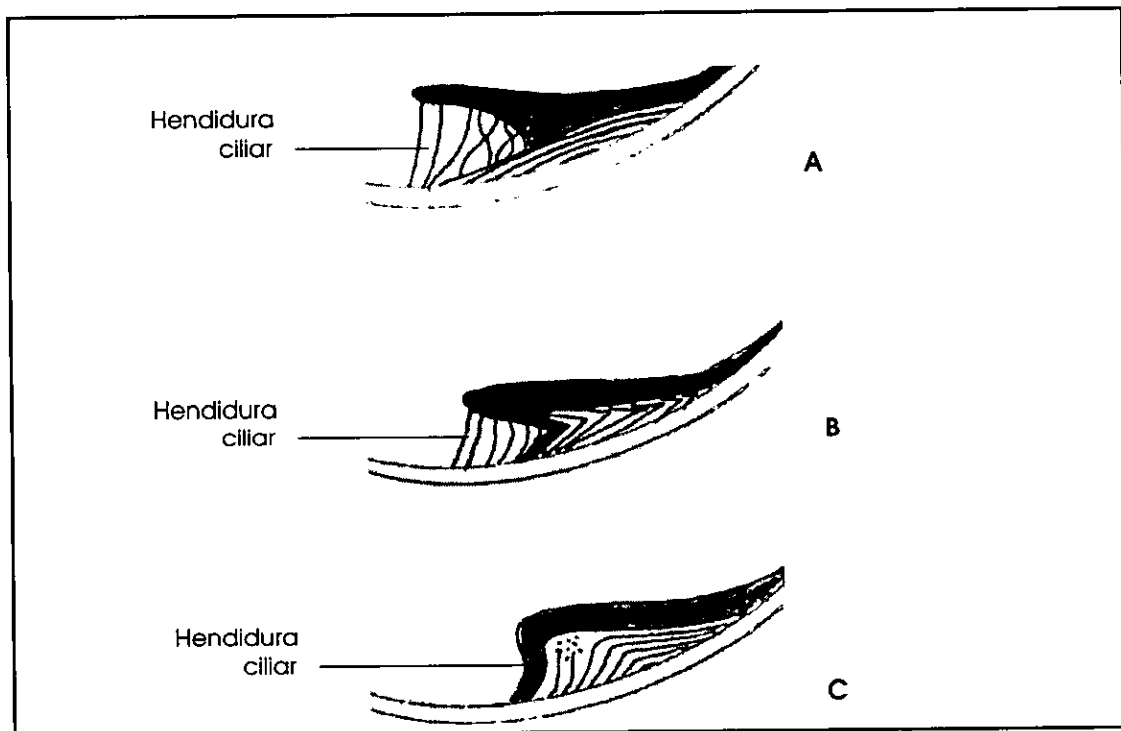


Figura 8-10. Comparación del desarrollo de la musculatura ciliar entre un ungulado (A), un carnívoro (B) y un primate (C). El primate tiene una musculatura más desarrollada. El tamaño del ángulo iridocorneal y su hendidura ciliar es más pronunciado en el ungulado (62).

Los ligamentos pectíneos presentan fibras primarias y fibras accesorias. Las fibras pectíneas primarias son muy finas y están muy pigmentadas. Esta pigmentación se continúa con el pigmento irideal anterior. Las fibras pectíneas primarias se originan en la parte anterior de la base del iris y se insertan cerca de la terminación de la lámina limitante posterior de la córnea. Detrás de las fibras primarias, existe una línea de fibras accesorias, que se originan en la base del iris, formando la parte interna anterior de la hendidura ciliar (47, 53, 64, 74). Las fibras accesorias son pigmentadas y se insertan bajo la hilera primaria, en la terminación de la lámina limitante posterior. Con frecuencia, sus inserciones corneales tienen ramas que se fusionan con las inserciones corneales de la hilera primaria (43, 47).

Las fibras de la hilera primaria de los ligamentos pectíneos, presentan protuberancias nucleares muy prominentes. La estructura de los ligamentos pectíneos presenta una vaina de células mesoteliales que lo cubre de manera continua. En su citoplasma se encuentran algunos gránulos de pigmento y moderadas cantidades de retículo endoplásmico rugoso. No presentan una membrana basal continua, pero bajo esta capa externa se encuentra un fino material fibrilar granular, que se funde con el centro de colágeno. Las fibras posteriores toman trazas elásticas y son similares a las fibrillas elásticas en su ultraestructura. Bajo la capa externa de células, pero todavía en la periferia, hay una capa continua de melanocitos. El centro de los ligamentos contiene de fibrillas de colágeno. En el centro de colágeno, hay procesos de células entremezclados, que se originan en las células diseminadas bajo los melanocitos y las fibras nerviosas desmielinizadas.

Los ligamentos pectíneos se unen a la lámina limitante posterior por un racimo de células en su punta, pero sin invadir la lámina. Existe un material granular fino entremezclado en las células, similar al colágeno que compone la lámina limitante posterior (47).

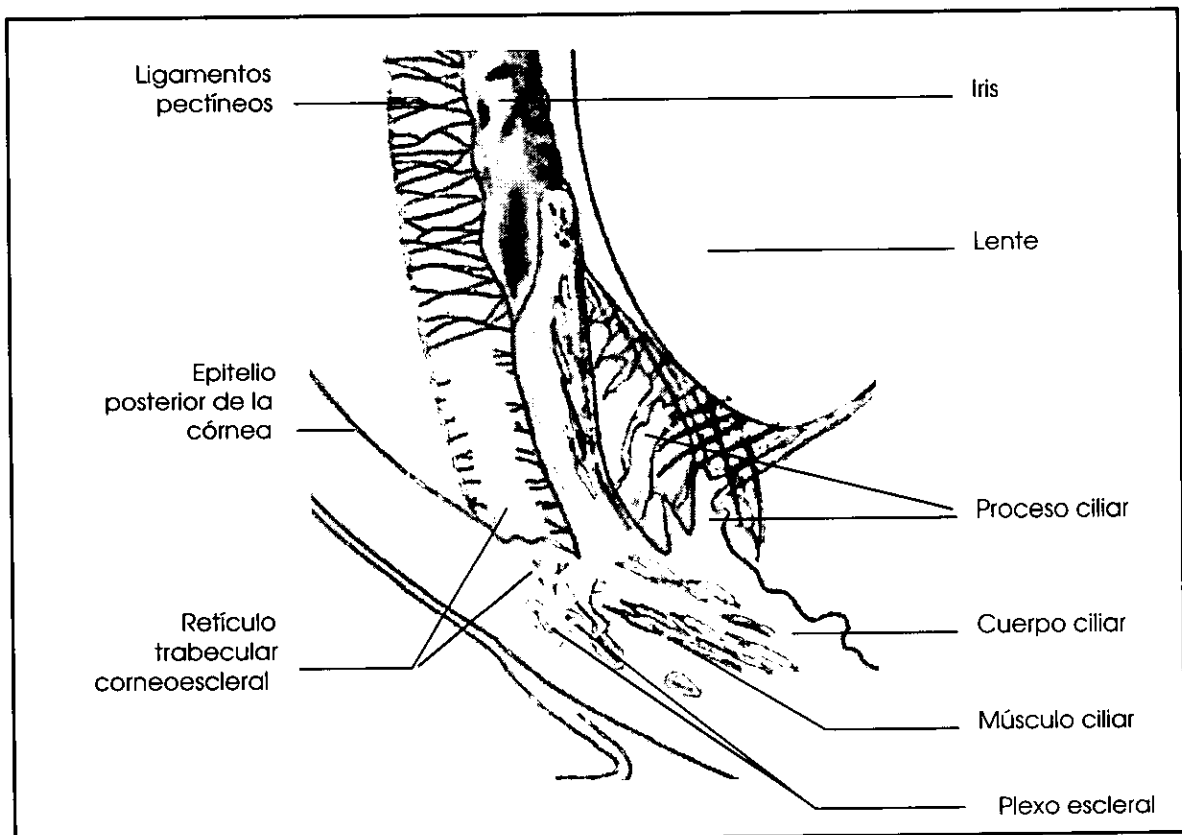


Figura 8-11. Ángulo iridocorneal (1).

Una compleja red de fibras, se encuentra detrás de la hilera accesoria de los ligamentos pectíneos y se denomina retículo trabecular uveal. Aunque las fibras son visibles, esta red parece estar formada de una lámina de tejido con múltiples

perforaciones orientadas de manera radial. El retículo uveal se origina en la base del cuerpo ciliar y se inserta posterior a los ligamentos pectíneos, en uno o más lugares, sobre la superficie del ligamento cribiforme (retículo trabecular corneoescleral), que es la extensión anterior del músculo ciliar longitudinal. Por último, se ramifica con las inserciones de los ligamentos pectíneos (38, 47, 62, 64).

Los haces trabeculares uveales, están cubiertos por una capa celular mesotelial, cuyos procesos celulares se unen por una gran variedad de interdigitaciones y uniones traslapadas. Las células mesoteliales son ricas en microfilamentos y microtúbulos, ribosomas libres y una modesta cantidad de retículo endoplásmico rugoso y mitocondrias perinucleares. No hay una membrana basal continua, pero hay una capa granular fina discontinua entre las células y en el centro colagenoso. En el aspecto más interno, se desarrollan delgadas fibrillas similares a la elastina y se funden con las grandes fibrillas de colágeno que llenan el centro de los haces trabeculares. Con frecuencia se encuentran, en los haces trabeculares, fibras nerviosas mielinizadas y desmielinizadas, sobre todo en el aspecto medio a posterior de la hendidura ciliar (47).

En el estado embrionario, el ángulo irido corneal es un fórnix liso y no fenestrado. En la última etapa de la gestación y continuando durante el periodo posnatal temprano, sufre una rarefacción progresiva, hasta que una larga hendidura se extiende en la cámara anterior, la hendidura ciliar (53, 74).

La hendidura ciliar es el espacio formado por la base del iris y el cuerpo ciliar en el lado interno, y en el retículo trabecular corneoescleral en el lado externo. El límite externo de la hendidura ciliar está formado por las inserciones anteriores del músculo ciliar longitudinal. Dentro de esta hendidura, pueden encontrarse los ligamentos pectíneos y el retículo trabecular uveal. Las extensiones anteriores del músculo ciliar longitudinal terminan en el retículo trabecular corneoescleral. La superficie más interna del retículo trabecular corneoescleral está cubierta por una lámina de células que son una continuación del epitelio corneal posterior en la hendidura ciliar (47, 64).

El retículo trabecular corneoescleral, que drena en las venas trabeculares, se compone de fibroblastos con delgados procesos celulares. Los procesos celulares se unen a los procesos adyacentes y a los cuerpos celulares, produciendo espacios intercelulares relativamente vacíos entre numerosas hebras citoplásmicas. Los espacios intercelulares contienen grupos de finas fibrillas de colágeno. Los núcleos celulares son ovales. El citoplasma contiene numerosas mitocondrias y retículo endoplásmico rugoso (47, 62). Las células trabeculares a lo largo de los haces corneoesclerales y uveales en el ángulo iridocorneal, son casi idénticas entre cualquier animal. Células fibroblásticas con procesos celulares esparcidos se unen de manera repetida a las células adyacentes y a sus procesos. Estos procesos, permiten a la red trabecular corneoescleral actuar como un tamiz, reduciendo el tamaño de las partículas que pueden moverse dentro de la trama corneoescleral. Las células trabeculares también tienen la habilidad de ingerir una amplia variedad de partículas con un tamaño grande. La cualidad fagocítica de las células trabeculares proporciona al ángulo iridocorneal un mecanismo de aclaración por debridación, esto reduce la posibilidad de una respuesta inflamatoria (62).

El límite externo de la trama trabecular está formado por la esclera y un plexo de vasos colectores de humor acuoso. En mamíferos, el humor acuoso sale del ojo, sobre todo a través de las tramas trabeculares a los vasos. En la mayoría de los mamíferos estos vasos constan de una pequeña red de venas que se denominan plexo acuoso angular. Estos vasos están orientados de manera radial. La naturaleza plexiforme de los vasos de drenaje permite una efectiva remoción de una cantidad sustancial de humor acuoso.

El área adyacente a las venas trabeculares consiste de una zona de elementos celulares intermezclados con elastina con un arreglo irregular, colágeno y un material parecido a una membrana basal (47, 62).

El plexo venoso escleral es visible como 2 a 4 vasos largos en la parte media de la esclera, con los vasos anteriores al nivel de la hendidura ciliar. Las venas forman un plexo que corre llenando la circunferencia del globo. Hacia posterior, se comunican de forma libre con las venas vorticosas, drenando la coroides. Hacia anterior se comunican con las venas ciliares anteriores y venas conjuntivales, por la vía de los capilares venulares limbares. Hay numerosas anastomosis arteriovenosas entre la arteria ciliar anterior y el plexo venoso escleral.

Las regiones dorsal y ventral tienen un gran plexo con cuatro grandes canales, mientras el aspecto medial y lateral se reduce a dos canales. El plexo venoso escleral recibe canales aferentes superficiales de la red episcleral superficial en el limbo y profundo en los canales que drenan el ángulo de filtración. Las venas trabeculares pasan al retículo corneoescleral y se ramifican bajo una capa de células endoteliales que limitan el aspecto externo de la hendidura ciliar (38, 47, 64).

COROIDES

La coroides es la parte posterior de la túnica vascular. Se continúa hacia anterior con el cuerpo ciliar y envuelve a la parte interna del hemisferio posterior del globo, excepto en la región del área cribosa, en donde está ausente. Es más gruesa en el polo posterior y se va adelgazando conforme se acerca a la porción anterior. La coroides es una capa pigmentada, muy vascularizada, que se puede comparar con tejido eréctil, ya que puede cambiar en respuesta al volumen sanguíneo.

La coroides consta de cinco capas que son de la más interna hacia la externa (fig. 8-12):

1. La lámina basal.
2. La lámina coroidocapilar.
3. El *tapetum lucidum*.
4. La lámina vascular.
5. La lámina supracoroidea (1, 25, 34, 43, 47, 53, 63, 64, 74).

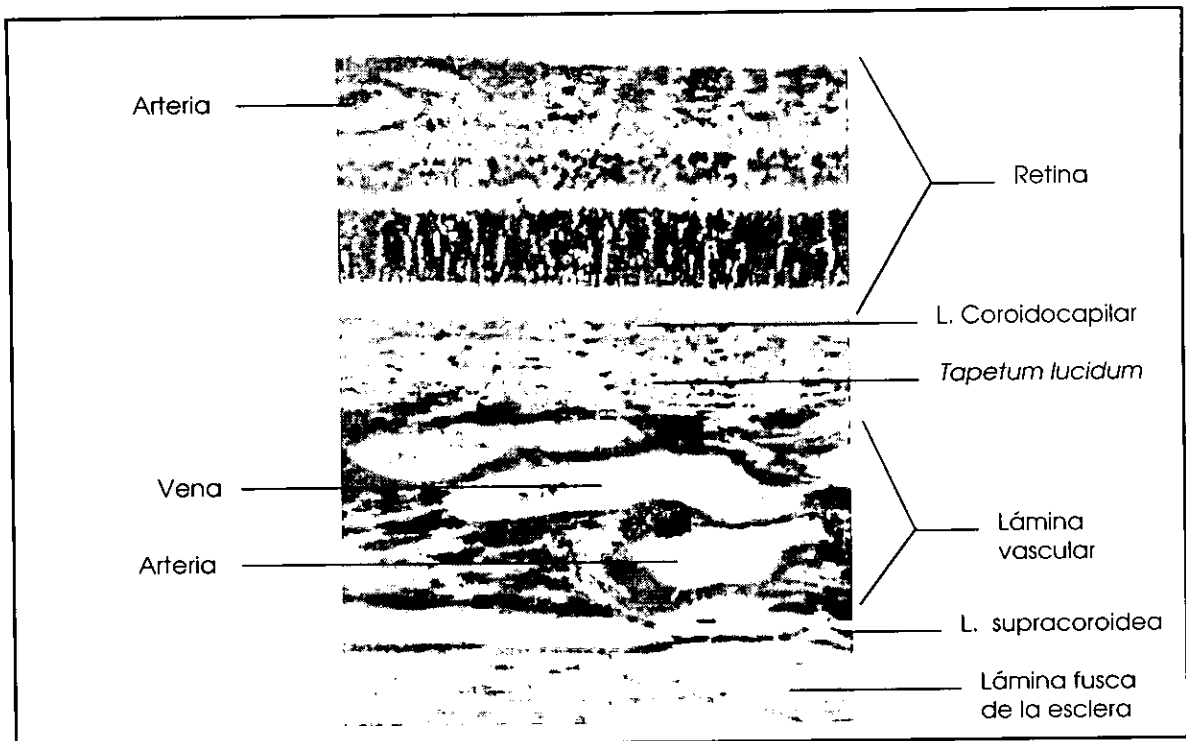


Figura 8-12. Imagen microscópica de la coroides (62).

Lámina basal.

La lámina basal (membrana de Brunch), es una membrana delgada que no está tan desarrollada en los animales, como en el hombre. Esta lámina separa a la retina de la coroides. El perro y el gato tienen una membrana muy delgada sobre el tapetum.

Una lámina basal, desarrollada en su totalidad, como se presenta en el humano, consiste de cinco capas:

- a) Una lámina basal del epitelio pigmentado de la retina.
- b) Una zona colágena interna.
- c) Una capa elástica.
- d) Una zona colágena externa.
- e) Una lámina basal de la coroidocapilar.

Sin embargo, en los animales que presentan *tapetum* celular, como el perro y el gato, la lámina basal del epitelio pigmentado de la retina y la lámina basal de la coroidocapilar se fusionan, obliterando las otras tres capas, lo que ocasiona la disminución del grosor de la lámina basal (25, 47, 53, 64).

Lámina coroidocapilar.

Esta lámina consiste de una capa simple de capilares entre el *tapetum lucidum* y el epitelio externo pigmentado de la retina o, en ausencia del *tapetum lucidum*, entre el epitelio externo pigmentado de la retina y la lámina vascular (47, 64, 70).

Esta lámina se forma de la ramificación súbita de las arterias ciliares

posteriores. Los capilares tienen fenestraciones circulares y lúmenes anchos. Las fenestraciones tienen un diafragma que las cubre. Externa al endotelio, se encuentra la lámina basal de la coroides (47). Radículos de la lámina coroidocapilar nutren a las capas externas de la retina (1, 53).

Tapetum lucidum.

El *tapetum lucidum*, es una estructura característica de los ojos de los animales cuyo hábitat, presente una iluminación reducida, por condiciones nocturnas o por un medio ambiente acuático. El *tapetum lucidum* es la capa reflectora especializada de la coroides. En la noche, al mantenerse los animales frente a la luz, produce que los ojos brillen cuando la pupila está dilatada. Está presente en todos los animales domésticos, excepto en el cerdo. En la mayoría de los animales se localiza dentro de la coroides, interpuesto entre la lámina vascular y la lámina coroidocapilar. De acuerdo a sus componentes, el *tapetum* se puede dividir en *tapetum* fibroso, como el que presentan los ungulados, y *tapetum* celular, característico de los carnívoros como el gato y el perro.

El *tapetum lucidum* se localiza en la mitad superior del interior del globo ocular, cubriendo una tercera parte del fondo del ojo. No es inusual tener un *tapetum* ausente, sobre todo en los animales albinos.

El grosor del *tapetum* varía, siendo multilaminado en el centro y adelgazando a una simple capa de células, o lámina, en su periferia y adyacente al nervio óptico (1, 7, 19, 47, 53, 64).

El área central del *tapetum* canino contiene de 9 a 11 capas, o de 15 a 20 capas de células, al igual que el *tapetum* del gato. Hacia la periferia estas capas de células van disminuyendo hasta desaparecer. En el borde externo del *tapetum*, las células tapetales son reemplazadas de manera gradual por melanocitos de la coroides. Con frecuencia, en la interfase coroido-tapetal, los melanocitos están intermezclados con las células tapetales, pero no es común encontrar células que exhiban características combinadas de ambas células (7, 47, 53).

Las células tapetales tienen núcleos redondos, con nucleolos prominentes. Vistas al microscopio, en un corte tangencial, las células tapetales son poligonales. La característica más llamativa, al microscopio electrónico, en el *tapetum* del perro y el gato es la presencia de numerosos bastones delgados electrodensos en el citoplasma de sus células (47).

Del estroma coroidal sobrepuesto, penetran numerosos capilares al *tapetum* para formar la lámina simple de la trama coroidocapilar sobre la superficie del *tapetum* (47, 53).

La forma, tamaño, posición y color del *tapetum lucidum*, es muy variada, sobre todo en el perro (47).

El *tapetum lucidum* de los gatos se localiza dentro de la capa vascular, en la mitad dorsal del fondo del ojo, el cual corresponde a la parte baja del campo visual frontal (región baja del horizonte visual) en el que se detecta a la presa, y se extiende hacia lateral y medial (7, 64). La unión de la región tapetal con la no tapetal es irregular y no está bien definida. En la región no tapetal periférica, el fondo del ojo se ve como un parche color rojo oscuro (fig. 8-13). Tanto en los gatos pigmentados, como en los

no pigmentados, el *tapetum lucidum* es granular y de color amarillo a verde. El *tapetum lucidum* algunas veces está ausente o es muy difuso. En estos casos, el pigmento coroidal implícito se descubre o, si el pigmento coroidal está ausente, se llega a reconocer el patrón radial de la vasculatura coroidal, contrastando con la esclera amarillenta que se puede observar entre los vasos coroidales (64).

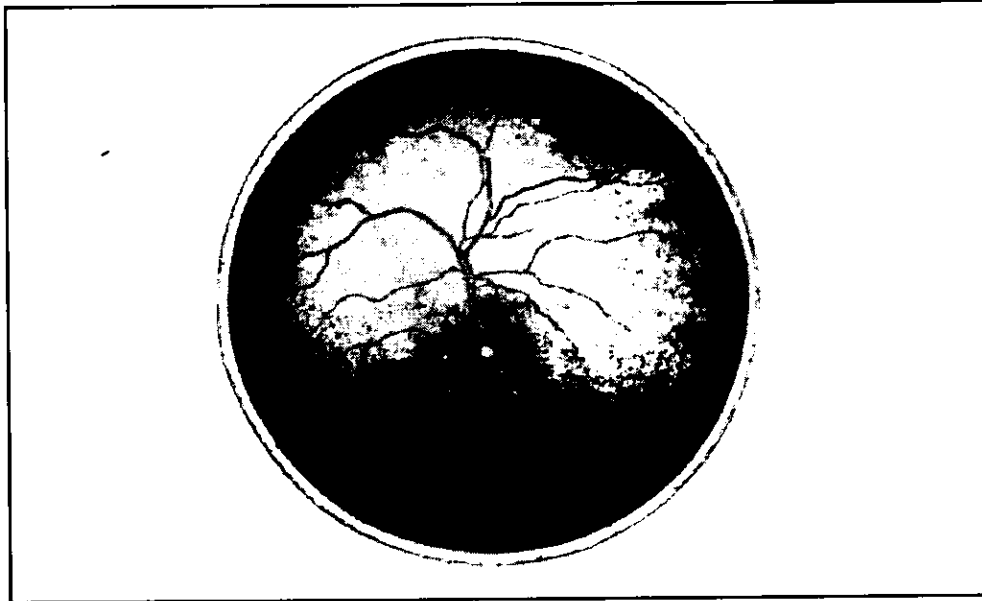


Figura 8-13. Localización del *tapetum lucidum* en el fondo del ojo del gato (17).

Dentro de la parte más gruesa del *tapetum lucidum* de los gatos, las células tapetales tienen un arreglo regular y presentan un perfil muy rectangular. Las células tienen de 3 a 4 μm de grosor y terminaciones romas, donde colindan con las células tapetales adyacentes en la misma capa. Las terminaciones de las células están acomodadas dando la apariencia de una pared de ladrillos. Hacia la periferia del *tapetum*, las células van perdiendo su forma rectangular y en sección transversal van tomando una forma más ahusada (7). La célula tapetal típica, localizada cerca de la lámina epitelial de la retina, en la región central del *tapetum*, es una célula aplanada grande, con su superficie más grande paralela a la retina. El núcleo es grande, ovoide y se localiza en el centro. La mayor parte de las células tapetales, está llena de numerosos bastoncillos, rodeados por membranas de material reflexivo. En los gatos, estos bastoncillos se agrupan de manera densa, su tamaño es uniforme, son circulares en corte transversal, y miden cerca de 0.10 a 0.12 mm de diámetro, y de 4 a 6 mm de longitud. Se arreglan en grupos que tienen una orientación similar dentro de cada grupo de bastoncillos. Dentro de cada célula puede haber varios grupos de bastones, cada grupo con una orientación diferente. La orientación de los ejes longitudinales de los bastones es paralela a la superficie de la retina. Los bastones llenan el citoplasma, por lo que el resto de los organelos están limitados a la región perinuclear y la periferia celular (figs. 8-14, 8-15). También está presente un pequeño número de gránulos de melanina en las células tapetales adyacentes a la coroides.

Los lados de las células tapetales adyacentes tienen anchos espacios intercelulares separados por fibrillas elásticas y de colágeno, mientras que los extremos de las células están en cercana aposición (7, 47).

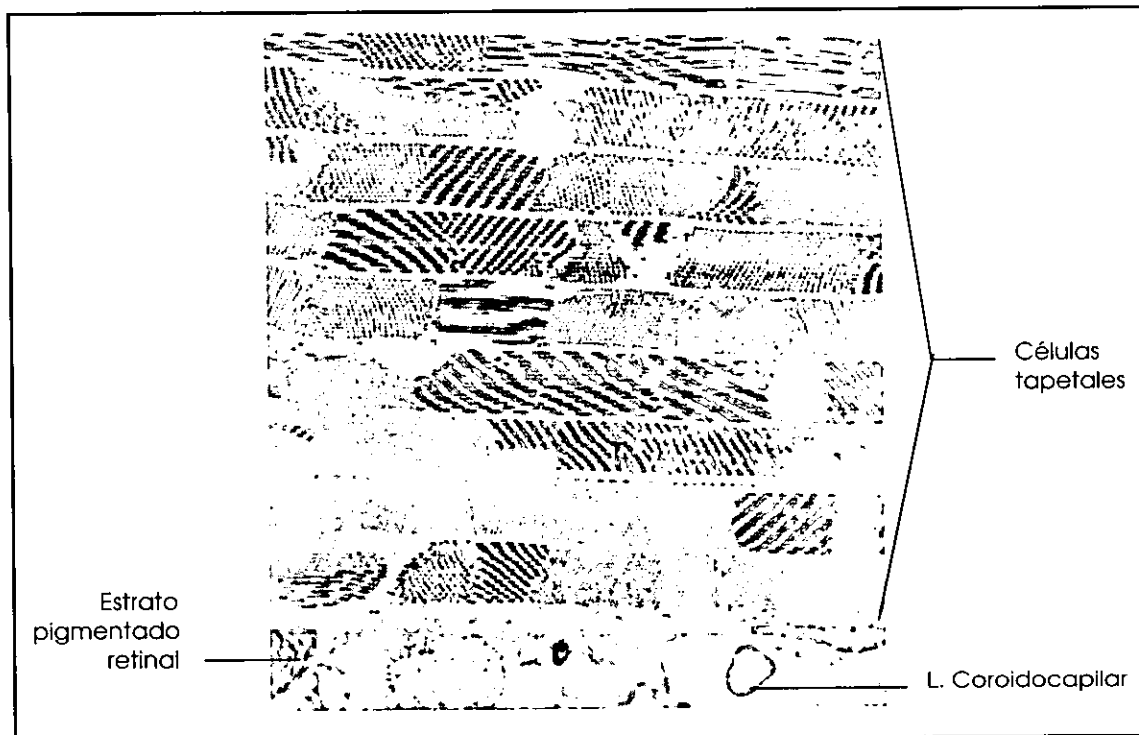


Figura 8-14. Fotografía al microscopio electrónico del *tapetum* felino en la región más gruesa. se observa que los bastoncillos tapetales dentro de cada célula llevan una misma dirección, además cada grupo es paralelo a la retina (7).

En los perros, el *tapetum lucidum* tiene la forma de un tosco triángulo recto, la hipotenusa se dirige hacia ventral y el ángulo recto se sitúa hacia dorsal. El ángulo medial es más agudo que el lateral. En las razas caninas grandes, la hipotenusa (borde ventral) es en general, ventral al disco óptico (fig. 8-16). En las razas pequeñas, el *tapetum* es más pequeño en relación con el de las razas grandes, y no se extiende hacia ventral, por lo que no incluye al disco óptico. En algunas razas toy, el *tapetum* puede estar muy reducido en su área o estar ausente como una variación normal. En la raza Beagle, se ha descrito una ausencia hereditaria del *tapetum*, en la cual las células están presentes al principio, pero después, falla el desarrollo normal de los bastoncillos tapetales (53, 63, 69).

En términos generales, las células tapetales del perro son similares a las del gato, y al microscopio de luz, aparecen casi idénticas. En el microscopio electrónico sin embargo, los bastones que llenan el citoplasma son diferentes. En fijación con osmio son electrodensos, pero en fijación con glutaraldehído la densidad se pierde. Los bastones pueden tener algunas diferencias en su orientación como en el gato y tienen sus ejes longitudinales paralelos a la retina, pero no son tan variados como en éste. Están dentro de una sustancia con una apariencia granular fina que tiene una

composición homogénea. Los bastones fijados en glutaraldehído vistos en sección transversal, son circulares con una membrana externa y una membrana interna que es bilaminar. En fijación con osmio, muchos de los bastones son electrodensos rodeados por una membrana. En el centro denso del bastón está presente un túbulo, en sección transversal. Los espacios intercelulares son anchos con fibrillas elásticas corriendo entre las células. Donde los capilares penetran al *tapetum*, el capilar es separado de las células tapetales por ligeras fibrillas de colágeno, fibrillas elásticas y procesos de fibroblastos dispersos. Estos se extienden hacia lateral de la penetración capilar vertical entre las células, pero disminuyen en grosor y número de fibras hasta que sólo quedan presentes fibras elásticas. Pequeñas proyecciones de las superficies celulares aparecen con frecuencia como aislados límites de membrana, rodeando las estructuras ovales en los espacios intercelulares (47).

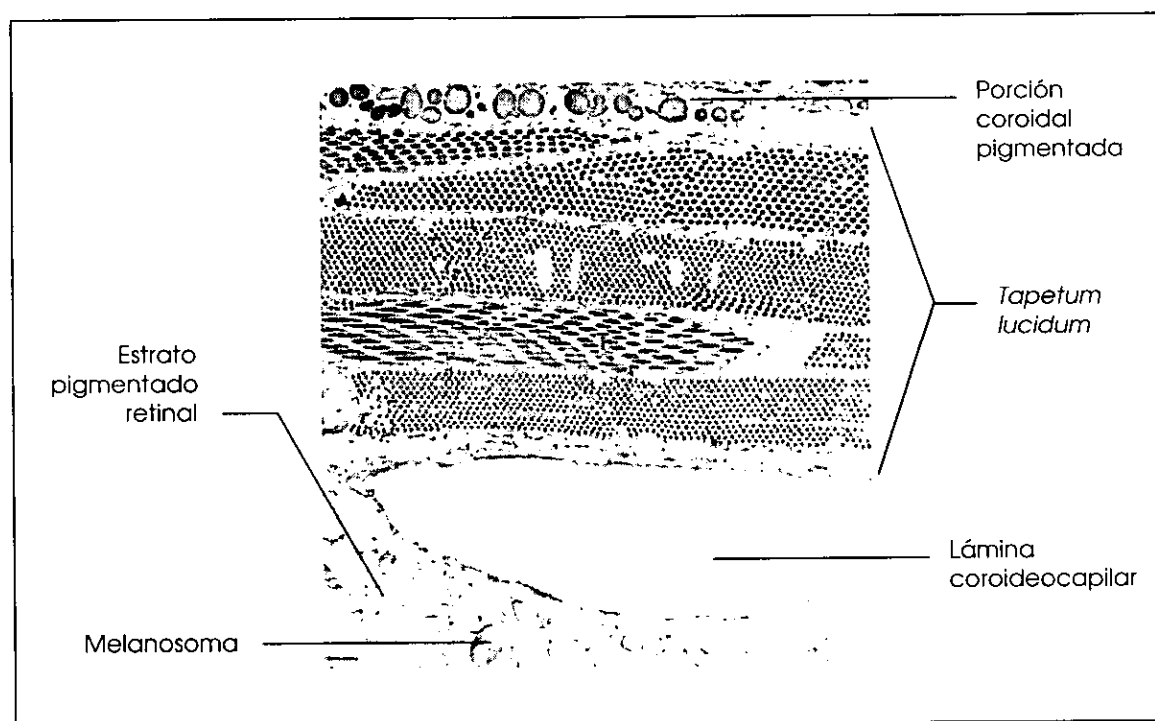


Figura 8-15. Fotografía al microscopio electrónico de la porción periférica del *tapetum* de un gato. Se han reducido las capas de células tapetales (7).

El *tapetum* del perro contiene altas concentraciones de hidrato de zinc y cisteína, en el gato, además, hay altas concentraciones de riboflavina. Se cree que son los bastones los que contienen a estas sustancias. Otros componentes reportados son guanina, también en altas cantidades, además de colesterol, pteridina y una variedad de lípidos (7, 47, 74). En el gato las similitudes morfológicas entre los gránulos de melanina y los bastones tapetales, así como también la presencia de bastones y gránulos de melanina en las células tapetales, han sugerido un posible origen común de los bastones tapetales y los gránulos de melanina (47).

El *tapetum* se desarrolla después del nacimiento. En los perros maduros, el

color del *tapetum* cambia de un gris pizarra a un violeta a rojo naranja, a los cuatro meses de edad. Casi siempre el color es uniforme, excepto en la unión de la coroides tapetal y la no tapetal, en donde puede ser por completo irregular y demostrar un considerable pleocromismo (53). El color del *tapetum* varía con el color del manto y con la edad, los colores que se encuentran con mayor frecuencia son, en los perros con un manto oscuro, de azul a verde; en los perros con un manto más claro (marrón) es amarillo, anaranjado o rojo. En los animales blancos con un iris azul, se ve de color rojo blanquecino (69). La coloración distintiva del *tapetum* es dada por el fenómeno óptico de interferencia de una película delgada, más que por la presencia de pigmentos específicos. En otras palabras, la coloración tapetal es estructural, más que pigmentaria (53).

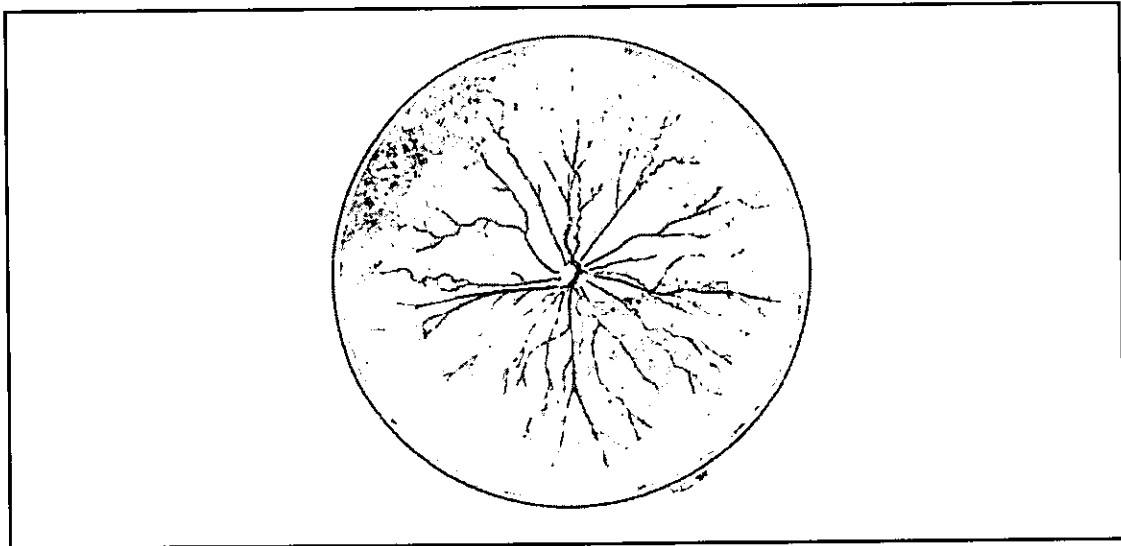


Figura 8-16. Localización del *tapetum lucidum* en el fondo ocular del ojo canino. Esta es una de las variaciones normales que se pueden observar en el examen clínico (53).

En la porción pigmentada de la coroides penetran vasos sanguíneos, pasando a través del *tapetum lucidum*, en ángulos rectos para nutrir a la coroidocapilar. Las células tapetales adyacentes a estos vasos, no tienen sus terminaciones alineadas con éstos. Se encuentra más colágeno intercelular alrededor de los vasos sanguíneos (7).

Existen vasos sanguíneos penetrantes en el *tapetum lucidum*, que se orientan de forma radial y se conectan a la lámina coroidocapilar con los vasos de la lámina vascular. La orientación radial de estos vasos penetrantes minimiza su intervención sobre la función tapetal (53).

Los capilares de la lámina coroidocapilar están indentados, profundos a la lámina epitelial de la retina, esto para lograr una superficie interna llana en el *tapetum lucidum*. También sobre el tapetum principal, la lámina epitelial de la retina está despigmentada para permitir el paso de la luz al, y desde, el tapetum lucidum. En la periferia del *tapetum*, la lámina epitelial de la retina comienza a pigmentarse y, en los lugares no pigmentados, está muy pigmentada (7).

Lámina vascular.

Esta lámina se forma por un plexo con un gran número de arterias y vénulas coroidales, separados por estrías muy pigmentadas de tejido conectivo elástico. Las arterias en la lámina vascular son ramas de las arterias ciliares posteriores cortas, que entran al globo ocular alrededor del nervio óptico, y corren, casi todas, paralelas a los meridianos, una al lado de otra. Estas arterias nutren al nervio óptico, a la retina y a la coroides (fig. 8-17). Las ramas arteriales coroidales se anastomosan con frecuencia y terminan en la coroidocapilar mientras descansa bajo la capa epitelial externa de la retina. Cuando está presente el *tapetum*, los capilares lo atraviesan para formar una capa simple interna al tapetum. Hacia anterior, ramas de las arterias ciliares posteriores cortas se anastomosan con ramas de la arteria ciliar posterior larga. Las vénulas forman la mayor parte de los vasos de la lámina vascular, se anastomosan y se comunican hacia anterior con las venas vorticosas y las venas ciliares anteriores por vía del plexo venoso escleral (fig. 8-18) (47, 53, 64).

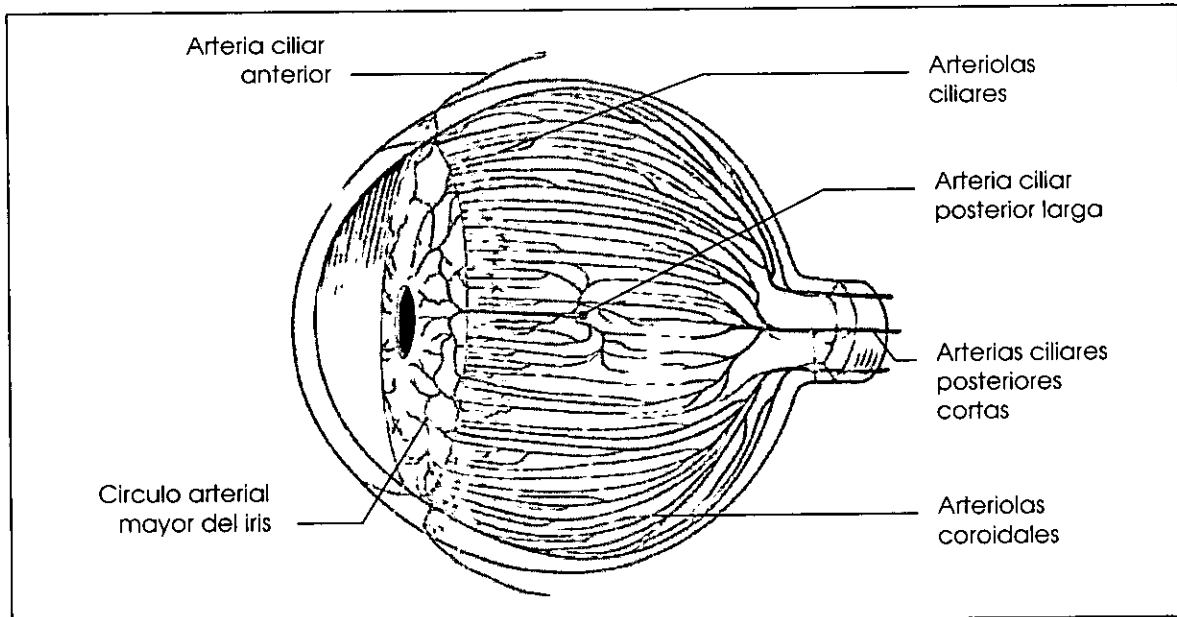


Figura. 8-17. Arterias de la túnica vascular (53).

En esta lámina también están presentes dos tipos de células, fibroblastos y melanocitos, además de dos tipos de fibras, colágeno y elastina. Los fibroblastos son elongados, con delgados procesos citoplásmicos ramificados hacia otros fibroblastos y a los melanocitos. Los procesos celulares se distribuyen paralelos a la superficie coroidal.

El espacio extracelular consiste de haces de colágeno con un arreglo libre, corriendo paralelos a la superficie coroidal, además de numerosas fibras elásticas.

En asociación con el sistema arterial, aparecen fibras nerviosas desmielinizadas que arriban a la coroides como nervios ciliares cortos, alrededor del nervio óptico y emiten numerosos colaterales en su ruta postero-anterior. Estas

siguen las ramas de las arterias ciliares posteriores cortas y originan ramas anastomósicas a las venas, otros nervios arteriales y tejido conectivo. Las ramificaciones arteriales terminan como delicados nervios bajo el epitelio pigmentado retinal. La mayoría de las terminaciones nerviosas son motoras al músculo liso de las arterias y venas.

Se han observado, en la coroides y en la lámina vascular, células ganglionares, aisladas o en pequeños grupos, en asociación con las arterias. En estudios con animales de laboratorio, se ha determinado que son células ganglionares unipolares (47).

En la mayoría de los perros, la lámina vascular de la coroides y la lámina pigmentada de la retina son de color oscuro. La región no tapetal en esos perros se ve de color café oscuro o negro. En perros con iris color ámbar, azul o heterocrómicos, la capa pigmentada retinal y la coroides pueden casi no tener pigmento o no tenerlo. En estos animales los vasos de la coroides pueden ser visualizados con el oftalmoscopio, y el fondo no tapetal aparece rojo o estriado (también llamado fondo atigrado). La ausencia de *tapetum lucidum*, o de pigmento coroidal e incluso de ambos, es considerada una variación normal, que al parecer no afecta a la visión del perro (53).

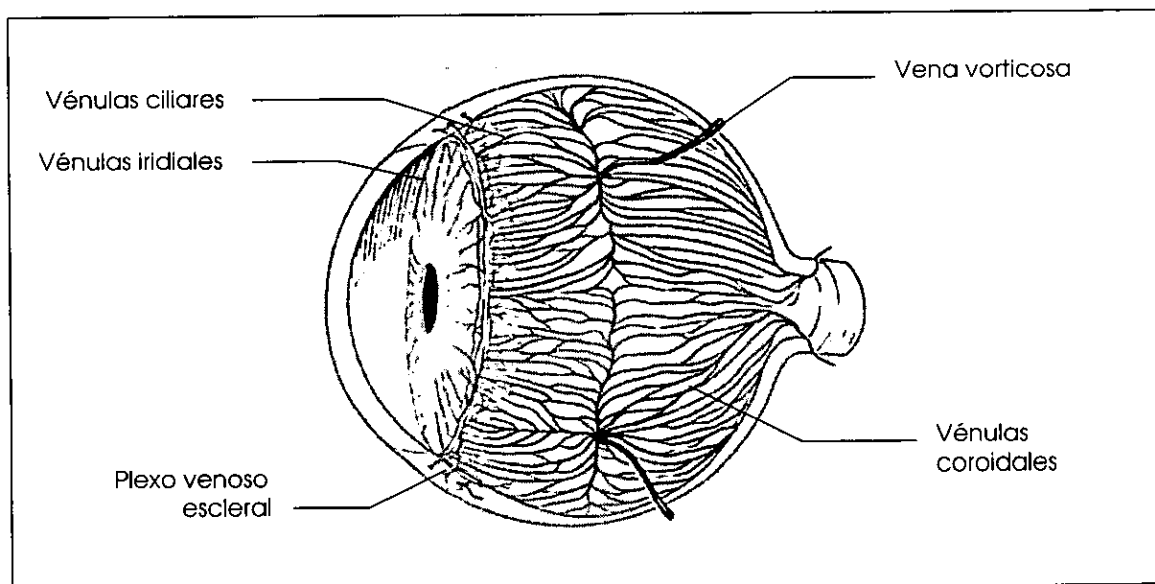


Figura 8-18. Venas de la túnica vascular (53).

Lámina supracoroidea.

Es la zona de transición entre la esclera y la coroides. Consiste de láminas ramificadas de colágena que están pigmentadas. Las láminas atraviesan el espacio potencial pericoroidal a unir la coroides con la esclera o la lámina fusca. Los nervios ciliares largos, que contienen fibras sensoriales y simpáticas, cursan el espacio pericoroidal en el meridiano horizontal. Se han descrito células ganglionares y plexos nerviosos en esta zona (47, 64, 74).

FISIOLOGÍA DE LA TÚNICA VASCULAR

IRIS Y PUPILA.

La forma normal de la pupila del perro es circular. En el gato, la pupila contraída forma una hendidura vertical para optimizar la profundidad focal, mientras que en los grandes gatos salvajes, la abertura es circular. En dilatación, la pupila de los gatos se expande adquiriendo la forma circular. El tamaño de las pupilas de ambos ojos debe ser igual, así como también lo debe ser la respuesta a la estimulación luminosa. Los movimientos que efectúa la pupila son la dilatación y la contracción (figs. 8-19, 8-20) (34, 47, 62, 67, 70, 74).

Las funciones de la abertura pupilar son:

- Ajustar la intensidad de la iluminación a la retina. La constricción previene el deslumbramiento en la visión y el posible daño retinal. La dilatación permite que luz suficiente alcance a la retina bajo condiciones de reducida iluminación.
- Restringe la ruta de los rayos de luz a las porciones centrales del lente, de esta manera incrementa la nitidez de la imagen retinal.
- Influye en la profundidad de foco del sistema de lentes en el ojo (34).

Los músculos del iris son el esfínter, que circunda a la pupila, y es el más fuerte, y el músculo dilatador del iris, que está acomodado de manera radial. El esfínter está inervado por el nervio oculomotor (parasimpático) y el dilatador está inervado por fibras simpáticas. El músculo esfínter del iris causa miosis, mientras que el músculo dilatador provoca midriasis. La luz brillante disminuye el tamaño de la pupila (13, 19, 67, 70).

El reflejo pupilar es un mecanismo de protección del ojo y sus componentes son (67, 70):

Estímulo:	Iluminación del fondo del ojo.
Receptores:	Conos y batones.
Vías aferentes:	Retina, nervio óptico, ambas cintillas ópticas, tubérculo cuadrigémino anterior y área pretectal.
Vías eferentes:	Núcleo parasimpático del nervio craneal III, nervios oculomotores, ganglios ciliares, nervios ciliares cortos.
Efector:	Músculo del esfínter de la pupila de ambos ojos.
Efecto:	Miosis (la constricción de la pupila en el ojo no

iluminado es un reflejo consensual)

El rango de contracción varía, pero la mayor parte de ésta se presenta dentro de los primeros segundos, completándose dentro de 5 o 6 segundos. Al ser retirado el estímulo luminoso, la pupila comienza a dilatarse poco a poco. El tiempo de dilatación es por lo menos el doble del que se requiere para la contracción (34).

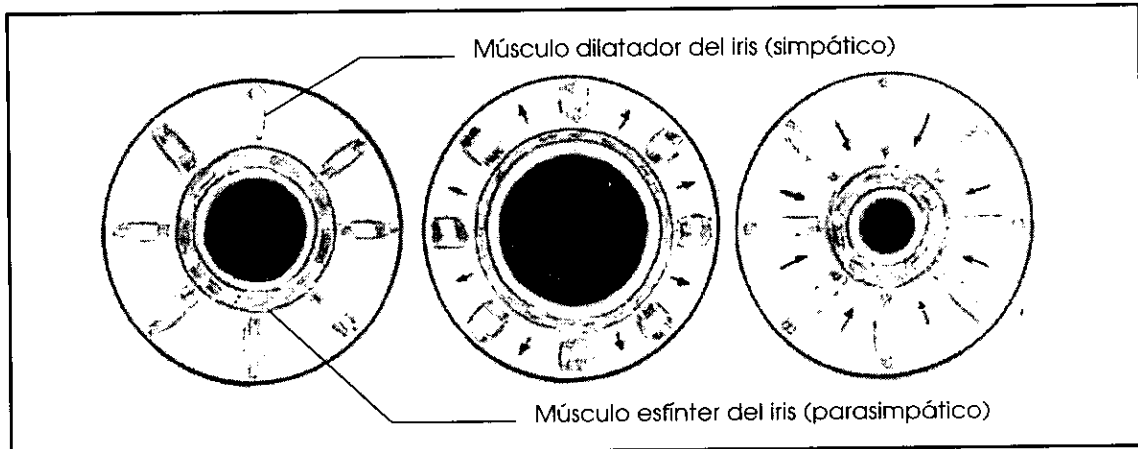


Figura 8-19. Control del tamaño de la pupila. En la dilatación (midriasis), el músculo dilatador se contrae, mientras que el músculo del esfínter se relaja. En la constricción (miosis), el músculo dilatador se relaja y el músculo esfínter se contrae (70).

La contracción de la pupila al estímulo luminoso, puede ser directa o indirecta. Un reflejo de luz directa puede ser obtenido al exponer un ojo a una iluminación intensa, observándose la contracción resultante. El reflejo indirecto o consensual, se observa cuando se contrae la pupila en el ojo contrario al que recibe el estímulo luminoso. Estas reacciones deben ser iguales. La contracción indirecta se explica por el hecho de que el estímulo luminoso en un ojo es llevado por el nervio óptico y pasa a ambos tractos ópticos y de esta manera al núcleo parasimpático del III par craneal de cada lado. La ceguera en un ojo desaparece el reflejo directo en ese ojo, pero el reflejo indirecto del ojo contralateral se preserva (1, 34, 68, 70).

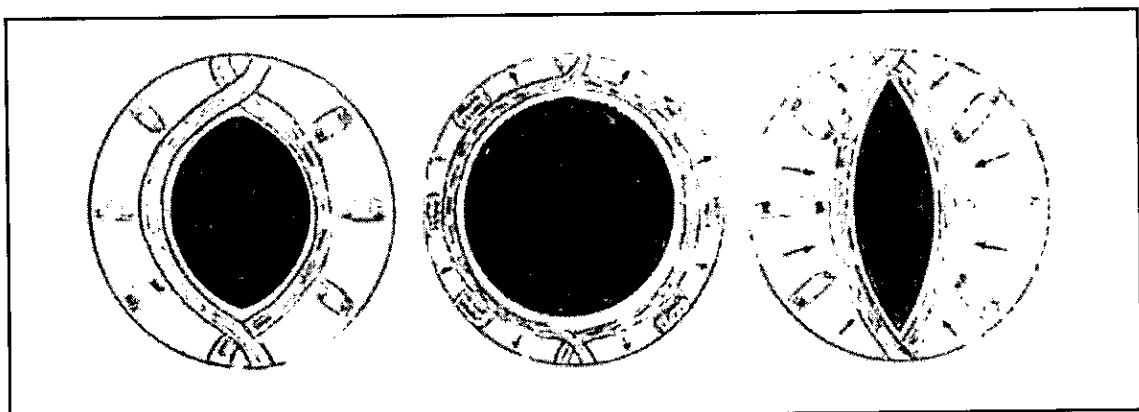


Figura 8-20. Control del tamaño de la pupila en el gato.

La mayoría de las sinapsis en el ganglio ciliar están involucradas en la transmisión de impulsos que producen la acomodación. El resto está relacionada con la constricción de la pupila. La morfina actúa sobre las células subcorticales (complejo nuclear oculomotor) causando constricción en la pupila del perro y dilatación en la del gato debido a la liberación de catecolaminas de las glándulas adrenales. La denervación simpática del músculo dilatador del iris, además de la denervación de los músculos tarsales y orbitales, se manifiesta con el síndrome de Horner resulta de la denervación simpática del músculo dilatador del iris. Los signos clínicos son miosis, ptosis, y enoftalmos con protusión pasiva del tercer párpado. Después de la denervación, el músculo dilatador del iris se vuelve hipersensitivo a las catecolaminas. De esta manera, una inyección o instilación en el ojo de una pequeña cantidad de epinefrina, causa midriasis en un animal con síndrome de Horner. La hipersensibilidad es más grande en la denervación posganglionar que en la preganglionar (67).

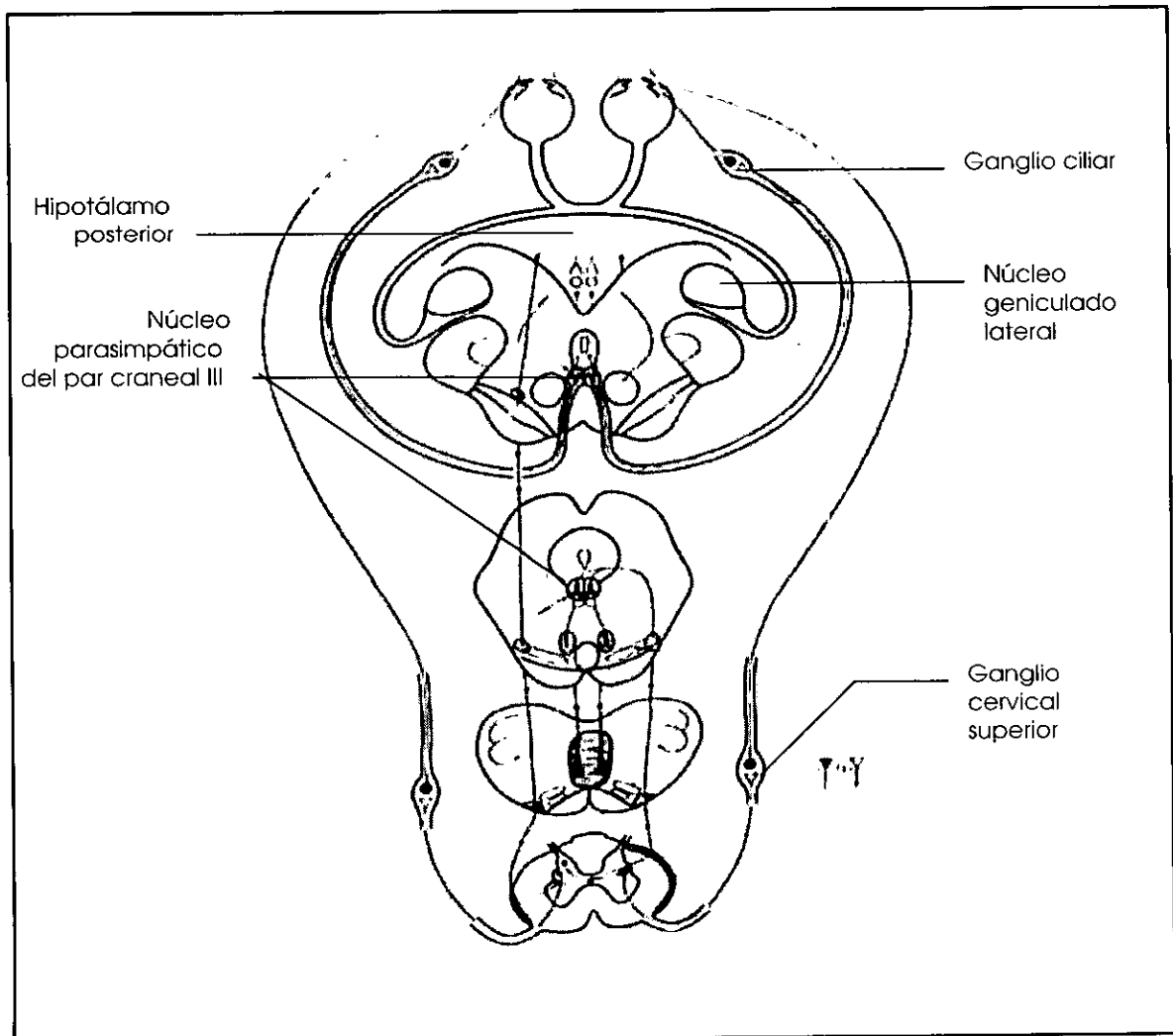


Figura 8-21. Vías pupilomotoras (67).

Es probable que no sólo la ausencia del estímulo luminoso sobre la retina provoque el reflejo activo de la dilatación de la pupila. Algunos de los estímulos para la dilatación pupilar (midriasis) son: dolor corporal súbito, asfixia, y ansiedad (62). La dilatación pupilar se puede producir por estimulación de las fibras simpáticas o por inhibición del flujo parasimpático del núcleo parasimpático del par craneal III (núcleo de Edinger-Westphal) (34, 67). En el gato se han logrado identificar cuatro vías para la dilatación de la pupila (fig. 8-21) (64, 67):

- 1) Una vía excitatoria descendente desde el hipotálamo, la cual se proyecta a la columna de células intermediolateral (C8 - T2).
- 2) Una vía inhibitoria descendente desde el hipotálamo, que se proyecta al núcleo parasimpático del III par craneal.
- 3) Una vía inhibitoria ascendente desde la formación reticular, que se proyecta al núcleo parasimpático del III par craneal.
- 4) Una vía inhibitoria ascendente desde la punta dorsal, que se proyecta al núcleo parasimpático del III par craneal.

Una irritación local, como una contusión o una abrasión corneal, produce una hiperemia conjuntival e iridial, favoreciendo la entrada de proteínas en el humor acuoso, incrementando la presión intraocular y produciendo miosis. Las vías neurales y los mediadores humorales son desconocidos, pero se han sugerido reflejos axonales (67).

CUERPO CILIAR

Las funciones principales del cuerpo ciliar en el globo ocular son las siguientes:

- a) Sustentar y mantener en su posición al lente por medio de los procesos ciliares y las fibras zonulares.
- b) Por medio del músculo ciliar, regular el fenómeno de acomodación que se presenta en el lente cuando se observan objetos cercanos.
- c) Producción del humor acuoso por los procesos ciliares a través de mecanismos activos y de mecanismos pasivos, como la ultrafiltración (7, 53, 64, 67, 70).

Acomodación.

Para mantener una imagen adecuada sobre la retina, el ojo presenta el reflejo de la acomodación. La acomodación se produce cuando una imagen, por estar cercana al ojo, está mal enfocada. Esto es captado por los fotorreceptores de la retina, que envían la información a través del nervio óptico, obteniendo como respuesta, por estimulación del nervio oculomotor (parasimpático), la contracción del músculo ciliar. Al producirse la contracción, las fibras zonulares reducen la tensión sobre la cápsula del lente, por lo que aumenta su curvatura y, de esta manera, incrementa su poder óptico (1, 41, 53, 63, 64, 67, 70). El músculo ciliar, en comparación con el de los primates, es débil, tanto en el gato y como en el perro, por lo que la habilidad de acomodación de éstos es reducida. También abre el ángulo iridocorneal, lo que

favorece el drenaje del humor acuoso. El espasmo del músculo ciliar por ciclitis causa dolor, que puede ser aliviado por cicloplégicos como la atropina (53, 64, 67). El proceso de acomodación se explica de manera más detallada en el capítulo referente al lente.

Humor acuoso.

Es en el cuerpo ciliar, de manera específica en los procesos ciliares, en donde se produce el humor acuoso. El humor acuoso es el fluido transparente que llena el segmento ocular anterior. Su densidad es un poco mayor a la del agua y su índice refractivo es de 1.335. Una vez formado, el humor acuoso entra a la cámara posterior y fluye a la cámara anterior, en donde drena a través del ángulo iridocorneal. El constante flujo del humor acoso es necesario para la función metabólica normal de los tejidos que baña, de manera particular al lente, a la córnea y a la red trabecular. El humor acuoso provee de nutrientes y acarrea los desechos metabólicos de estas estructuras. La tasa de producción de humor acuoso es igual a la de drenaje para conservar su nivel constante, y de esta manera mantener la presión intraocular normal (13, 18, 21, 63, 67).

Composición del humor acuoso.

El humor acuoso esta constituido en un 99.6% de agua, siendo su característica principal un reducido contenido de proteínas (38).

El humor acuoso se compone de:

- a) Coloides, como proteínas, inmunoglobulinas, enzimas y lípidos.
- b) Electrolitos, divididos en cationes y aniones.
 - Cationes: sodio, potasio, calcio, magnesio.
 - Aniones: cloruros, bicarbonato, fosfato, ácido ascórbico y ácido láctico.
- c) Cristaloides no ionizados, como azúcares, urea y aminoácidos (67).

La concentración de coloides en el humor acuoso es menor a la del plasma debido a la barrera sangre/humor acuoso existente. La concentración de proteína en el humor acuoso es de casi el 0.5% del nivel plasmático. Esto asegura un aspecto incoloro y una débil viscosidad (38, 70). Siendo el humor acuoso un ultrafiltrado del plasma, al romperse esta barrera sangre/humor acuoso, se modifica su composición. En la clínica esto se manifiesta como la "flama acuosa" (67). Al aumentar la cantidad de proteínas en el humor acuoso, su composición se hace semejante a la del plasma, por lo que a este fluido se le llama humor acuoso plasmoide. El humor acuoso plasmoide se coagula con facilidad por los altos niveles de fibrinógeno, lo que causa complicaciones al realizarse cirugía intraocular en los animales (67, 70).

La concentración de electrolitos en el humor acuoso, es similar a la del plasma, si no es que la de sodio es un poco superior. El sodio representa cerca del 95% de la concentración total de cationes. Llega al humor acuoso por transporte activo con el flujo de agua a la cámara posterior. Es probable que sea esta bomba la involucrada en la formación de la mayor parte del humor acuoso formado por secreción (38, 67).

El cloruro y el bicarbonato entran con el sodio al humor acuoso, sus concentraciones varían con las especies. Al igualarse la concentración de aniones totales a la de cationes totales, la concentración combinada del cloruro con el

bicarbonato, es igual a la de sodio. El peso del lente se relaciona con el nivel de bicarbonato en el humor acuoso. Al expresarse el peso del lente como una fracción del peso total del ojo, la relación peso del lente: peso del ojo, es más alta en los ojos de tamaño pequeño, ya que estos ojos contienen más ácido láctico producido por el lente. Al ser amortiguado el ácido láctico con el bicarbonato, los ojos pequeños requieren mayores concentraciones de éste o una tasa alta de recambio de humor acuoso para contribuir a la amortiguación (67).

Un mecanismo de transporte activo provoca que la concentración de ácido ascórbico sea mayor a la del plasma. Se ha encontrado menor concentración de ácido ascórbico en el humor acuoso de animales jóvenes que en los adultos, la causa se desconoce, así como también el papel de éste en la fisiología intraocular.

La concentración de azúcar en el humor acuoso equivale al 80% de la contenida en el plasma. El azúcar ingresa al humor acuoso por difusión, pero la diferencia de concentración la causa su utilización en el lente y en la córnea (38, 67).

Al igual que la concentración de azúcar, la de urea también es equivalente al 80% de la del plasma.

Las concentraciones de los aminoácidos en el humor acuoso de los perros son más bajas que en el plasma, con excepción de la leucina. En el perro, los aminoácidos pasan a la sangre por medio de transporte pasivo, a través de un gradiente electroquímico (67).

La concentración de las sustancias que componen al humor acuoso es diferente entre la cámara anterior y en la posterior, ya que las necesidades metabólicas de la córnea y el lente alteran su composición. El nivel de sustancias en la sangre, la tasa de flujo sanguíneo en los procesos ciliares y las modificaciones en la actividad secretora del epitelio ciliar también alteran su composición (38, 67, 70).

Formación del humor acuoso.

El humor acuoso se forma por medio de dos mecanismos (fig. 8-22):

- 1) Un mecanismo pasivo resultado de una barrera semipermeable entre el flujo sanguíneo y el humor acuoso, lo que facilita la ultrafiltración, diálisis y difusión pasiva.
- 2) Un mecanismo activo asociado a la intervención de diversos sistemas enzimáticos (21, 38, 67).

No existe un consenso en la proporción que cada uno de los mecanismos juega para la producción de humor acuoso. Se ha reportado que del 35 al 70% del humor acuoso se forma por secreción activa (26, 58, 67).

Mecanismo pasivo de la formación del humor acuoso.

Este mecanismo se da gracias a:

- a) La difusión pasiva. Que involucra a pequeñas moléculas, liposolubles y poco o no ionizadas.
- b) La difusión facilitada. Se aplica en aquellas sustancias (sobre todo azúcares) por intermedio de una proteína constitutiva de la membrana que juega el papel de transportadora.
- c) La ultrafiltración. Que es el resultado de la presencia de diferentes fuerzas:

- La presión hidrostática de los capilares ciliares que favorecen el paso del filtrado del estroma hacia la cámara posterior.
- La presión intraocular que rige dentro de la cámara posterior.
- La presión osmótica del estroma (38).

El humor acuoso fluye a través del epitelio del cuerpo ciliar a la cámara posterior, por el proceso de ultrafiltración, además de por una bomba metabólica. La ultrafiltración es el paso del líquido bajo la influencia de la presión hidrostática, aportada por el sistema arterial en la vasculatura ciliar, contra un gradiente osmótico en la cámara posterior. La tasa de formación del humor acuoso en el tejido del estroma ciliar, depende de la presión sanguínea de la arteria ciliar y de la presión en el estroma ciliar, que es igual a la presión intraocular y facilita el flujo a través de los capilares ciliares y la pared capilar (21, 67, 70). La estimulación del ganglio ciliar en el gato incrementa la tasa de formación de humor acuoso al elevarse la presión sanguínea de los capilares ciliares (67).

Los capilares fenestrados de los procesos ciliares facilitan la salida de las proteínas en el estroma. Lo que forma un filtrado rico en proteínas, equivalente al 70% de la concentración existente en el plasma. Esta cantidad de proteínas produce la presión osmótica. Al contrario de la presión hidrostática, la presión osmótica atrae el agua del medio intraocular al exterior del ojo (38). Sin embargo, gracias a la barrera sangre-humor acuoso, el paso de las proteínas, e incluso de algunos fármacos, a la cámara posterior es restringido. Debido a las uniones intercelulares herméticas, las grandes moléculas son incapaces de atravesar o cruzar entre las células en las dos capas del epitelio ciliar que se superponen en los procesos ciliares (59, 70).

La presión hidrostática es un poco superior a la presión osmótica. Así, del 15 al 20% del flujo total del humor acuoso ingresa hacia el ojo por filtración (38).

Mecanismo activo de la secreción del humor acuoso.

Se puede considerar que el 80% de la formación del humor acuoso está bajo la dependencia del flujo del sodio a través del epitelio. Por las uniones oclusivas de las células de la capa epitelial no pigmentada de los procesos ciliares, no es posible que el sodio atraviese. Su paso es de dependencia enzimática.

El humor acuoso penetra el polo apical de la célula no pigmentada gracias a un intercambio sodio/protón, dependiente de la anhidrasa carbónica. Después es excretado dentro del canal intercelular no pigmentado, gracias a un proceso activo Na^+ , K^+ , ATPasa dependiente. Por el flujo osmótico, se instala dentro del canal intercelular de células no pigmentadas. Se produce el flujo acuoso a través de las uniones intercelulares y, sobre todo, a través de las membranas plasmáticas de las células no pigmentadas. Hay dos fenómenos de osmosis local. El fluido es hipertónico en la entrada del canal intercelular y pierde su tonicidad de manera progresiva. El resto sin embargo, es poco hipertónico con relación al fluido estromal en su salida dentro de la cámara posterior. Existen otras bombas como la de los cloruros, pero su mecanismo de acción es poco conocido (38).

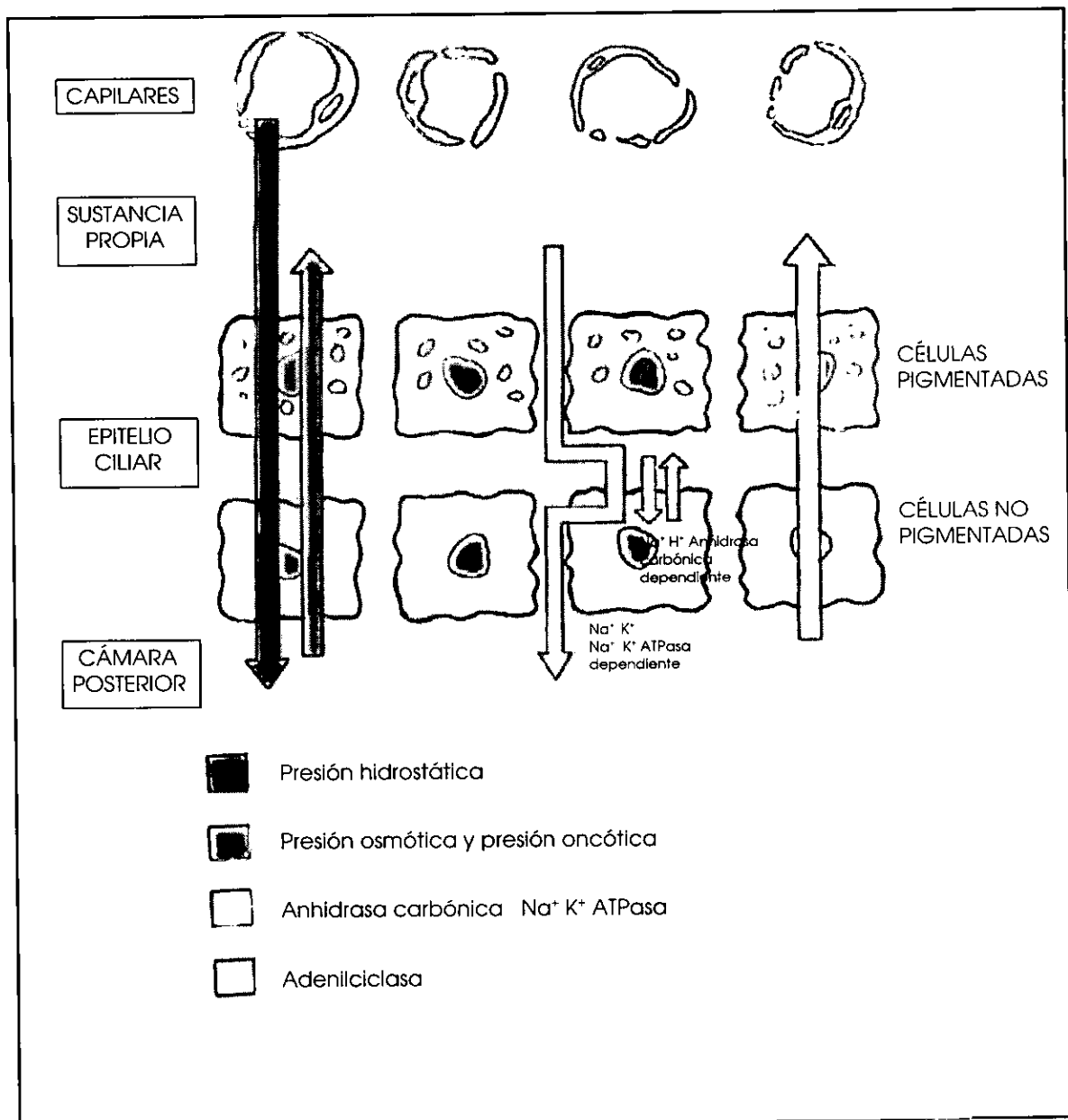


Figura 8-22. Formación del humor acuoso. Se forma a partir de un proceso pasivo de ultrafiltración y de un proceso activo de secreción. La ultrafiltración es originada por la presión hidrostática, la cual se opone a la presión oncótica. La secreción transepitelial pasa a través de los contornos de las uniones celulares. Ésta tiene dependencia enzimática de la anhidrasa carbónica y de la Na⁺ K⁺ ATPasa (38).

Los iones de bicarbonato se presentan en altas concentraciones en el humor acuoso, esto se relaciona con la existencia de la anhidrasa carbónica, que cataliza la formación del ácido carbónico a partir del CO₂ y agua. El ácido carbónico se disocia y los iones HCO₃ pasan al humor acuoso. La administración de inhibidores de la anhidrasa carbónica disminuye la tasa de formación del humor acuoso en un 50 a

60%. Se cree que estas drogas inhiben su secreción activa. El mecanismo exacto no se conoce, pero es posible que la inhibición de anhidrasa carbónica disminuya el ingreso del bicarbonato en la cámara posterior, en consecuencia una lenta tasa de entrada de agua, reduciendo así la formación del humor acuoso (67, 70).

Regulación de la secreción del humor acuoso.

El mecanismo completo y exacto de la secreción del humor acuoso no es conocido en su totalidad. Se ha sugerido la intervención de un comando diencefálico. El sistema nervioso neurovegetativo y sobre todo el simpático, debe jugar un papel esencial en el control de la secreción de humor acuoso, ya que los vasos sanguíneos de los procesos ciliares tienen una inervación simpática densa (38). En el gato se ha encontrado un centro en el diencefalo, que al ser estimulado, altera la presión intraocular. Aún así, se desconoce la regulación del sistema nervioso central en la presión intraocular (67).

Se han propuesto otras influencias en la tasa de formación de humor acuoso y de la regulación de la presión intraocular. Los factores neurohumorales influyen en la acción celular. Éstos actúan sobre un receptor celular, la adenilciclasa. Su estimulación por los componentes adrenérgicos inhibe la formación del humor acuoso. Esta enzima juega un papel importante en la regulación del flujo del humor acuoso (38). Por la similitud entre el epitelio ciliar y el epitelio renal se ha sugerido que la hormona antidiurética, el cortisol y la prolactina también regulan la dinámica del humor acuoso.

La tasa de formación del humor acuoso en el gato es de 15 ml/min, mientras que en el hombre se producen 2 ml/min. Los valores en otros animales se desconocen. La tasa de formación del humor acuoso se expresa como:

$$F_{dentro} = (P_a - P_i) C_{dentro}$$

donde: F_{dentro} = tasa de formación
 P_i = presión intraocular
 P_a = presión sanguínea de la arteria ciliar
 C_{dentro} = facilidad de afluencia

Como se observa en esta fórmula, la tasa de formación de humor acuoso disminuye al aumentar la presión intraocular. A este proceso se le conoce como pseudofacilidad y es probable que se deba a una reducción de la tasa de ultrafiltración (67).

Circulación del humor acuoso.

El humor acuoso producido ingresa a la cámara posterior y pasa a la cámara anterior a través de la pupila. Después, llega a la hendidura ciliar, pasando a través de los ligamentos pectíneos, en donde se filtra a través de la red trabecular para llegar a los vasos del plexo venoso escleral e ingresar al sistema venoso central (fig. 8-23). La diferencia de temperatura entre la córnea, enfriada por el aire, y el iris, crea una corriente de convección facilitando la circulación del humor acuoso. A este

fenómeno se le conoce como circulación térmica. La corriente de convección causa un flujo hacia arriba del humor acuoso cercano al iris y un flujo hacia abajo del que está cercano a la córnea. La circulación es responsable de la deposición de material celular y precipitados queratíticos del endotelio corneal en una línea o huso vertical cuando hay un proceso inflamatorio (38, 21, 67).

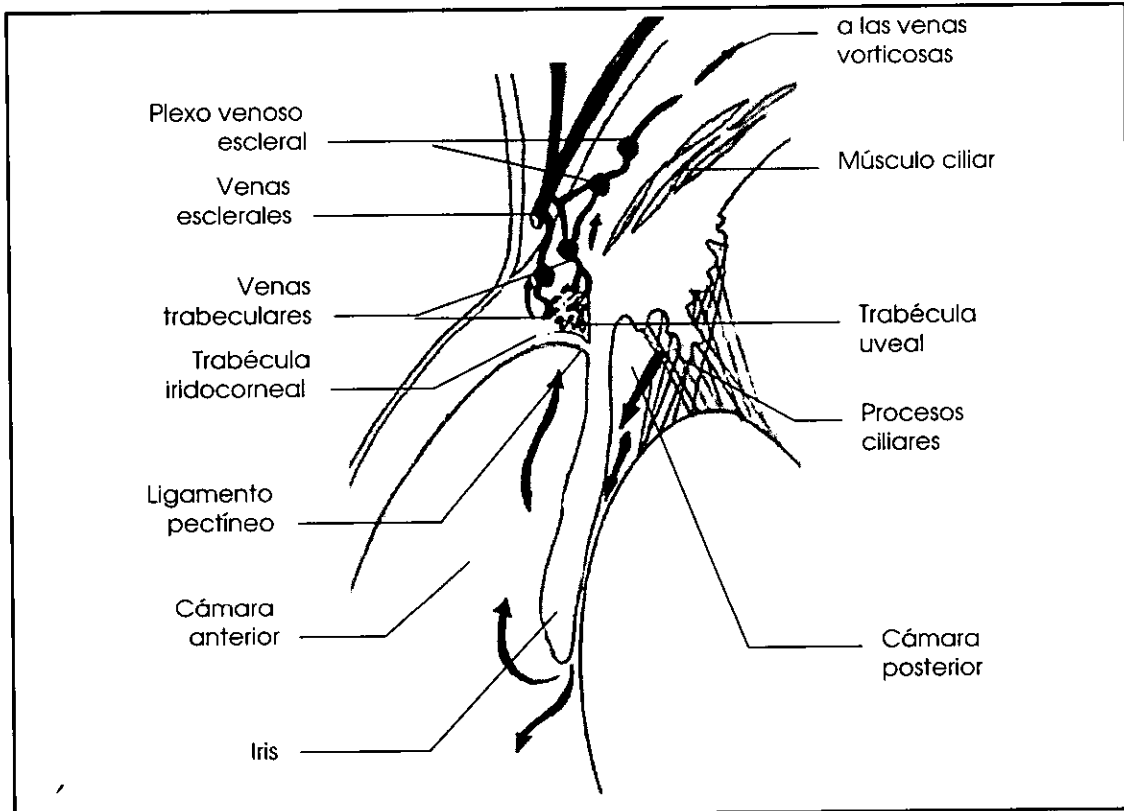


Figura 8-23. Drenaje del humor acuoso (38).

Eliminación del humor acuoso.

Casi la totalidad del humor acuoso abandona el ojo por filtración a través de los espacios de la trama trabecular (espacios de Fontana), llegando a los vasos colectores de humor acuoso que se unen al plexo venoso escleral, el cual es drenado por las venas ciliares anteriores y las venas vorticosas. Los ligamentos pectíneos parecen contribuir a la barrera de flujo de humor acuoso conteniendo glicosaminoglicanos entre sus espacios. Los glicosaminoglicanos participan en la regulación de la presión intraocular vía su estado de polimerización, el cual se relaciona con su estado de hidratación, el cual promueve su inflamación o su encogimiento.

La dilatación de la pupila, también impide el drenaje del humor acuoso, ya que el ángulo iridocorneal es estrechado por el engrosamiento de la periferia del iris. La constricción de la pupila abre los espacios del ángulo irido corneal y facilita el drenaje (1, 26, 53).

La tasa de drenaje a través de esta vía se expresa como:

$$F_{fuera} = (P_i - P_e) C_{fuera}$$

donde: P_e = presión venosa episcleral
 C_{fuera} = facilidad de drenaje

Un incremento de la presión intraocular, incrementa la tasa de drenaje de humor acuoso. El volumen de la cámara anterior se relaciona de manera directa con la tasa de drenaje. En los animales con ojos más grandes se presenta una tasa de drenaje más rápida por minuto (67). La resistencia del drenaje acuoso es inversamente proporcional a la facilidad de éste. En estudios en mamíferos inferiores se ha encontrado que el principal sitio de resistencia de drenaje es la línea endotelial del plexo venoso angular. Las células endoteliales de este plexo permiten la entrada de humor acuoso a los canales de salida por vacuolación. El humor acuoso entonces drena de los plexos venosos episcleral y subconjuntival a la circulación general (26, 67, 70). En los perros y los gatos, del 85 al 90% del humor acuoso abandona el ojo por esta vía (58).

La facilidad de salida o drenaje del humor acuoso en el gato, ha sido calculada de 0.156 a 0.193 ml/min/mm Hg. En el perro se han calculado de 0.13 a 0.18 ml/min/mm Hg, dependiendo del tipo de anestésico y de la presión intraocular, ya que los anestésicos y tranquilizantes reducen la presión intraocular, excepto la ketamina en los gatos, que la aumenta de manera temporal, quizá por el espasmo de los músculos extraoculares (67, 70).

Dinámica del humor acuoso felino (67)

Símbolo	Cantidad	Valores representativos
BP	Presión sanguínea arterial	186 mm Hg
P_a	Presión sanguínea de la arteria ciliar = 0.6 BP	112 mm Hg
P_i	Presión intraocular	18 mm Hg
P_e	Presión venosa episcleral	8.1 mm Hg
F_{dentro}	Tasa de formación de H. acuoso	15 ml/min
U	Drenaje uveoescleral = 0.03F	0.45 ml/min
C_{dentro}	Facilidad de afluencia (pseudofacilidad)	0.15 ml/min/mm Hg
C_{fuera}	Facilidad de drenaje	0.56 ml/min/mm Hg

$$F_{dentro} = F_{fuera}$$

$$(P_a - P_i) C_{dentro} = (P_i - P_e) C_{fuera} + U$$

Otras dos vías de drenaje accesorias del humor acuoso, además de la vía principal a través de la salida trabecular del ángulo iridocorneal son:

- a) La vía iridial. La superficie anterior del iris permite el contacto directo del humor acuoso con los capilares iridiales. Por otro lado, en el hombre y el conejo, se ponen en evidencia dentro del estroma del iris con canalículos llenos de humor acuoso e independientes de la red vascular. Esta vía iridial asegura en los gatos una evacuación importante, en ocasiones del 40%, mientras que no será mayor de 5% en el perro (38).
- b) La vía uveoescleral. El humor acuoso puede atravesar el cuerpo ciliar infiltrándose en el espacio comprendido entre la esclera y los músculos ciliares para incorporarse a la circulación venosa en el espacio pericoroideo y la esclera. En esta vía la capacidad está condicionada por la contracción de los músculos ciliares. La contracción del cuerpo ciliar disminuye el drenaje y la relajación lo incrementa (26, 38, 67). En el perro la eliminación del humor acuoso a través de esta vía es de 15 a 25% (26, 70).

El globo ocular presenta una resistencia a cambiar el volumen intraocular, dada por la esclera y la córnea. Esta resistencia se manifiesta como un cambio en la presión intraocular. Los perros y los gatos tienen una marcada elasticidad escleral. La buftalmia se presenta de manera rápida con una presión intraocular incrementada prolongada.

Se puede presentar una hipertensión intraocular fisiológica al comprimirse la esclera en cada ocasión en la que se fuerza el cierre de los párpados y por la retracción del globo causada por el músculo retractor del bulbo (67).

Al producirse algunos cambios en la presión sanguínea, la hipertensión intraocular se puede presentar de forma aguda, como cuando tosen o cuando el sistema vascular del cuello está comprometido. La hipertensión intraocular patológica es el glaucoma (67). Con la edad, la facilidad de salida del humor acuoso disminuye, por lo que su producción también debe reducirse para mantener la presión intraocular adecuada (70). Se puede presentar hipotensión intraocular en algunos problemas patológicos como desprendimiento de retina y uveítis. La hipotensión prolongada puede resultar en ptosis bulbi. Otras variaciones en la presión intraocular pueden involucrar a los órganos relacionados con la órbita, la posición de la cabeza, y las mediciones repetidas de la presión intraocular (67). En los animales se pueden presentar variaciones diurnas, ya que pueden observarse presiones más altas durante la mañana y más bajas por la tarde. No se conoce cuál es la causa de este cambio, pero se cree que puede deberse a influencias hormonales, neurogénicas y metabólicas (67, 70).

Presión intraocular normal (58, 67)

Especie	Presión en mm Hg	Técnica
Perro	15 - 30	Tonometría Schiötz
	10 - 31	Tonometría Schiötz
	< 20	Tonometría de aplanación Tonomat
Gato	17.4 - 19.2	Manómetro
	< 35	Tonometría de aplanación Tonomat

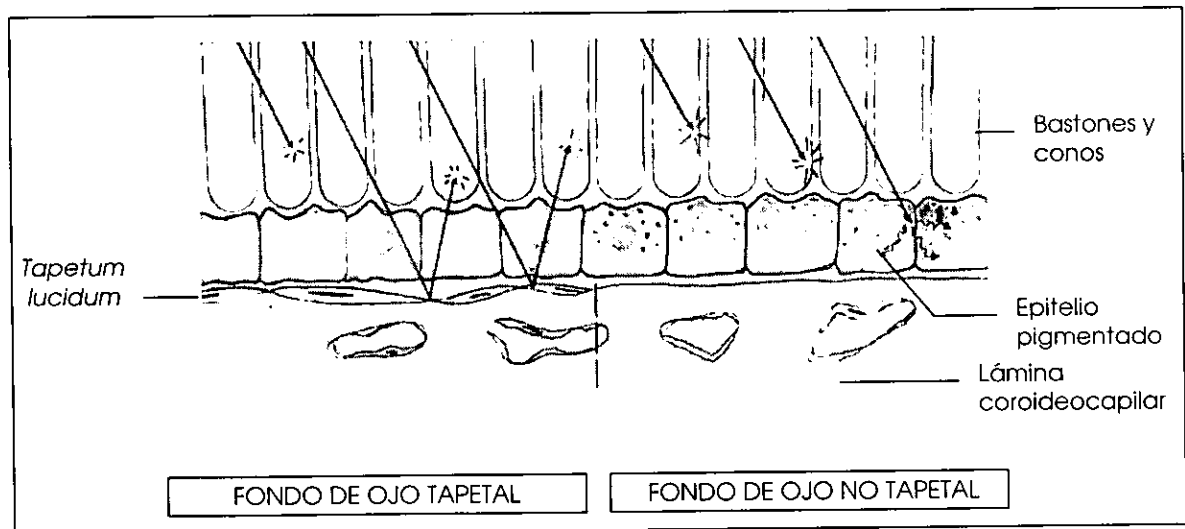


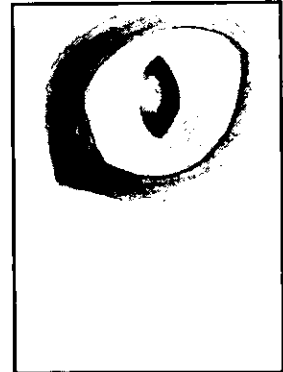
Figura 8-24. Función del *tapetum lucidum*. Los rayos luminosos que pasan a través de los conos y de los bastones chocan con el *tapetum*, y regresan a las células fotorreceptoras volviendo a estimularlas por segunda ocasión. Los rayos luminosos que llegan a la parte no tapetal, son absorbidos por las células del estrato pigmentado (1, 13, 19, 43, 53, 64, 67, 70).

COROIDES

Las funciones principales de la coroides son:

- La de proveer nutrición a las capas externas de la retina y a las estructuras anteriores del ojo por medio de la red de vasos sanguíneos que contiene (47, 53, 64, 67).
- Los vasos sanguíneos y el tejido pigmentado sirven como una coraza que absorbe los rayos de luz no reflejados por el *tapetum*, para evitar su dispersión y el crear una imagen demasiado difusa (13, 23, 34).
- La presencia del *tapetum lucidum* incrementa la habilidad de la retina para funcionar a bajos niveles de iluminación. Las células tapetales contienen un material reflejante que es un complejo cristalino de aminoácidos, minerales y, de manera particular en el gato, riboflavina. La función del *tapetum lucidum* es la de un tejido amplificador, que refleja la luz una vez que ya ha pasado a través de las células fotorreceptoras, esto otorga otra oportunidad para que los fotorreceptores sean estimulados por segunda ocasión. Gracias a este efecto, la respuesta a la luz de una retina con la presencia del *tapetum*, es mayor que la obtenida con una retina no tapetal (fig. 8-24) (1, 13, 19, 43, 53, 64, 67, 70). Se estima que debido a la presencia del *tapetum lucidum*, la sensibilidad de los gatos a la luz es seis veces más grande que la del ser humano (2, 7).

CAPÍTULO 9



Lente

ANATOMÍA

El lente o cristalino, es una estructura suave, biconvexa, avascular y transparente. Se encuentra suspendido por medio de las fibras zonulares entre la cámara posterior y la cámara vítrea (fig. 9-1).

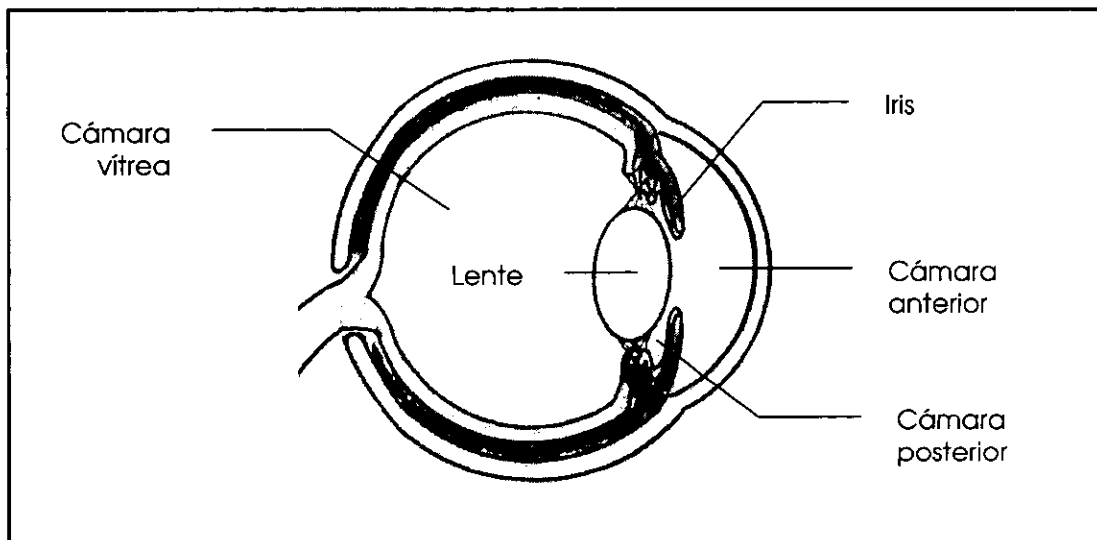


Figura 9-1. Localización del lente dentro del globo ocular.

La superficie anterior del lente es más plana y menos curva que la posterior. Los centros de estas superficies se denominan polo anterior y polo posterior. La circunferencia es llamada ecuador del lente y limita a las caras anterior y posterior. En el ecuador hay numerosas irregularidades en las cuales se adhieren las fibras zonulares. El otro extremo de estas fibras, también llamadas zónulas de Zinn, se fija al cuerpo ciliar. El ecuador limita las caras anterior y posterior del lente (fig. 9-2) (34, 43, 47, 53, 64, 70).

La cara anterior del lente, está en contacto con la parte posterior de la porción pupilar del iris. La cara lenticular posterior se ajusta a la fosa hialoidea, que es una depresión presente en la superficie vítrea anterior. Por medio del ligamento hialoideocapsular, el lente se adhiere con firmeza en esta región (64).

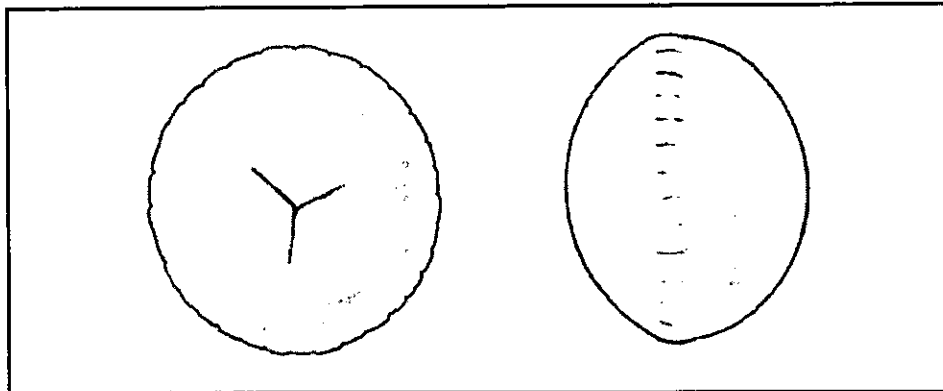


Figura 9-2. Vista frontal y lateral del lente (70).

El lente es circular en sección transversa y ligeramente elipsoidal en sección sagital o dorsal. La dimensión promedio del eje anteroposterior del lente, es de 8 mm en el gato y de 7 mm en el perro, mientras que su diámetro aproximado es de 12 a 13 mm en el gato, y de 9 a 11.5 mm en el perro (52, 53).

El lente es una estructura única por su transparencia, ausencia total de aporte nervioso y de riego sanguíneo posnatal, y por su alta concentración de anhidrasa carbónica. También contiene la más alta concentración de proteína y glutatión que cualquier otro tejido del cuerpo.

Las estructuras que constituyen al lente son, de exterior a interior, la cápsula, el epitelio y las fibras lenticulares (47, 64, 73).

Cápsula del lente.

La cápsula es la membrana basal secretada por las células del epitelio invertido que forma a las fibras del lente. Se compone de colágeno y de carbohidratos complejos. A pesar de no contar con fibras elásticas, tiene propiedades elásticas.

El grosor de la cápsula varía según la porción de esta estructura, es más gruesa cerca del ecuador y más delgada en los polos anterior y posterior. El polo posterior es la región más delgada (fig. 9-3). Al microscopio de luz, la cápsula se observa como una estructura homogénea amorfa (43, 47, 53).

Grosor capsular promedio (52).

Ojo	C. anterior	C. posterior
Perro	50 - 60	3.5 - 7.0
Gato	40 - 90	7.0 - 10.0

La cápsula, por su elasticidad y dado que es el sitio de inserción de las fibras zonulares, influye sobre la forma del cristalino (1, 70).

El cuerpo vítreo inserta fibras de colágeno a la cápsula posterior, uniendo a las dos estructuras con firmeza. El intentar extraer la cápsula posterior durante una cirugía, puede ocasionar la pérdida del cuerpo vítreo (70).

Epitelio germinal del lente.

El lente se origina del ectodermo. Se forma a partir de una invaginación del epitelio superficial de la copa óptica, la cual se comprime para formar a la vesícula del lente. Las células que forman la pared posterior se elongan hasta que alcanzan el epitelio anterior obliterando la cavidad de la vesícula. Estas células pierden sus núcleos, convirtiéndose en las fibras primarias del núcleo del lente embrional. El resultado, después del nacimiento, es la presencia de un epitelio lenticular cuboidal, sólo en la cara anterior del lente y en el ecuador (53).

La lenta proliferación del epitelio continúa durante el transcurso de la vida. Las células en el ecuador se elongan a lo largo de los meridianos por lo que, aún cuando el epitelio es cuboidal cerca del polo anterior, se transforman a células columnares conforme se acerca al ecuador. Las fibras se alargan hacia anterior y posterior, lo que les da forma. Al desarrollarse una nueva fibra, las células más viejas son empujadas hacia adentro y su núcleo se retiene, observándose con el microscopio cerca del ecuador en las fibras más superficiales. Estos núcleos forman un arco dirigido hacia posterior y luego hacia anterior. Esta formación es conocida como arco del lente. Las fibras más viejas se encuentran más hacia el centro y tienen un núcleo celular no visible, a estas células se les conoce como fibras secundarias del lente (fig. 9-4) (1, 3, 34, 47, 53, 64, 73).

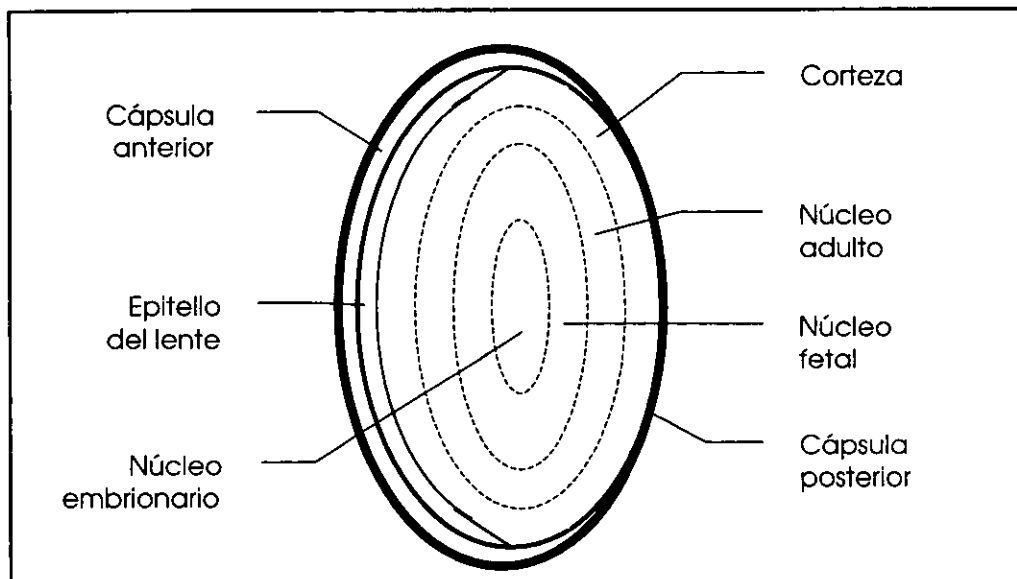


Figura 9-3. Esquema del lente adulto mostrando las capas que presenta (1, 47, 53, 70, 74).

Durante la proliferación del epitelio no hay pérdida de células, por lo que el peso del lente se incrementa con la edad. Este aumento de peso es más rápido durante los primeros meses de edad, pero la tasa de crecimiento se reduce conforme aumenta la edad (53).

La porción nuclear del lente sufre deshidratación y condensación progresiva (esclerosis nuclear) en los adultos. Esta condensación ocurre en un rango muy similar al del crecimiento de la periferia, hasta que el lente detiene su crecimiento. La esclerosis nuclear disminuye la elasticidad del lente en los individuos viejos. Al examen clínico, las porciones profundas del lente aparecen con un color azul-grisáceo y brumosas. Este es un cambio normal causado por la edad y no debe ser confundido con las cataratas, las cuales son una opacidad lenticular patológica (34, 43, 53).

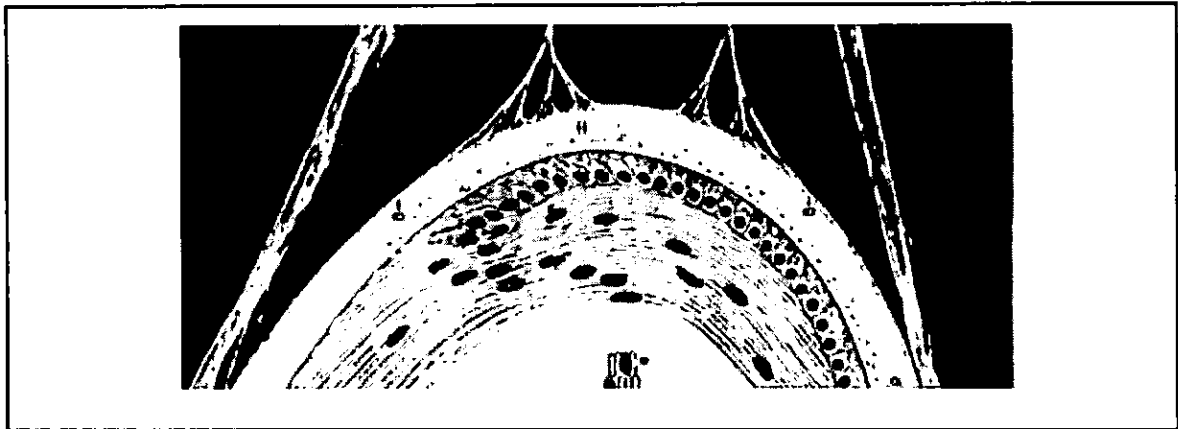


Figura 9-4. Esquema del crecimiento de las fibras del lente. Las células del epitelio anterior se elongan en la zona del ecuador, formando las células corticales del lente. Las células se elongan hacia posterior y anterior dirigiéndose a las suturas. Los núcleos migran hacia anterior formando el arco del lente (62).

Fibras del lente.

Las fibras del lente se elongan y los extremos se dirigen hacia los polos posterior y anterior, tomando la forma de una U. Los ápices de las fibras no alcanzan la distancia de un polo a otro, mucho menos la circunferencia completa del lente, pero se unen a las fibras del lado opuesto hasta formar las suturas del lente. Las suturas son sólo las uniones entre fibras opuestas, a un cierto nivel en el lente.

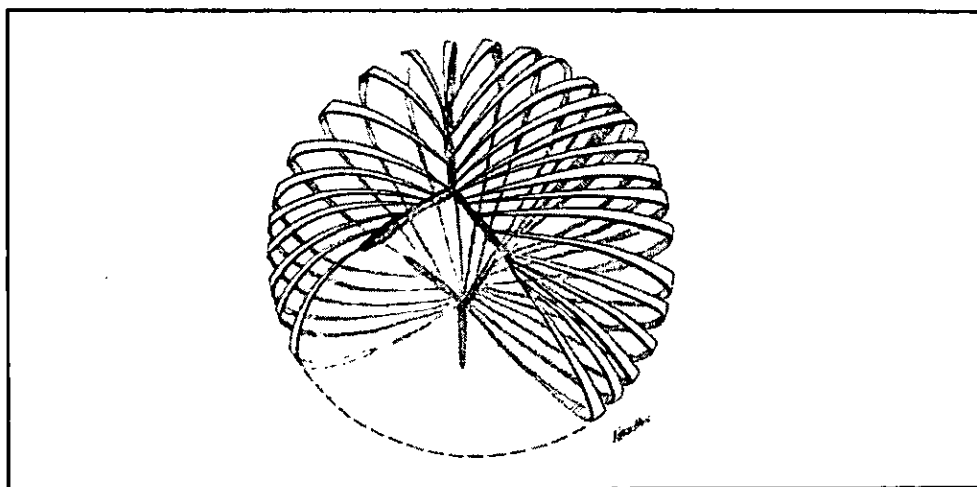


Figura 9-5. Esquema de la formación de las suturas por las fibras del lente (53).

Las suturas forman una Y cerca del centro del lente, pero ésta se vuelve más compleja por las ramificaciones de sus brazos en las capas más superficiales. Aunque los patrones de sutura se extienden a través de lo profundo del lente, *in vivo* son sólo aparentes en interfases ópticas. Las suturas en la mitad anterior del lente forman un patrón de Y vertical o sus variaciones, mientras que en la mitad posterior la Y está invertida (fig. 9-5). Conforme van extendiéndose más, durante la vida del animal, las fibras del lente producen una laminación cronológica. *In vivo*, estas láminas se observan mejor con una fuente de luz focal que delimite las capas por la discontinuidad óptica de las zonas. La porción más antigua, formada durante el desarrollo embrionario, es el centro del lente y se conoce como núcleo embrionario. Se observa como una zona pequeña, densa y luminosa. Extendiéndose hacia afuera se encuentran el núcleo fetal, el núcleo adulto y la corteza respectivamente (fig. 9-3). Estas porciones se subdividen en anterior y posterior para la localización de las lesiones en el examen clínico (34, 47, 53, 64, 73).

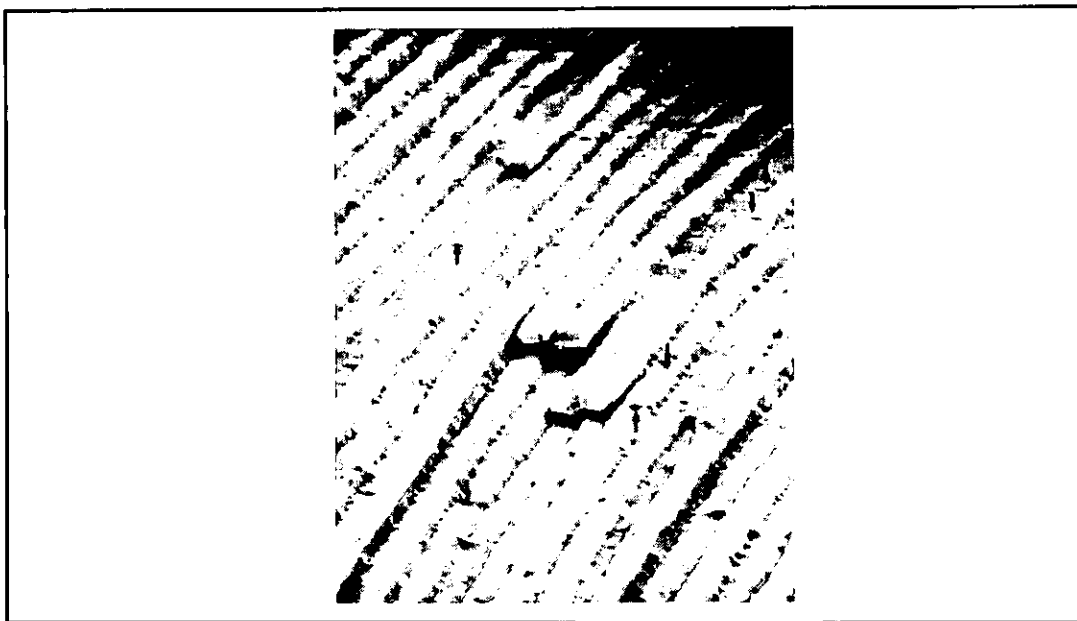


Figura 9-6. Imagen al microscopio electrónico de las fibras del lente. Las flechas señalan las depresiones que se articulan con las protuberancias de las fibras adyacentes. Las fibras cortadas en sección transversal muestran una forma hexagonal (47).

Las fibras del lente tienen forma hexagonal en sección transversal, están interdigitadas y bien acomodadas entre ellas (fig. 9-6). Se entrelazan en virtud de su forma, así como por sus circunvoluciones superficiales e interdigitaciones. Las circunvoluciones superficiales aparecen como surcos y círculos similares a los de la corteza cerebral, y se localizan sobre toda la superficie de las seis caras de las fibras. Las interdigitaciones entre las fibras adyacentes se localizan sólo en los seis bordes formados por los lados de la fibra. Las protuberancias del borde de una fibra se introducen en las cuencas o depresiones que se encuentran en el borde de la fibra adyacente. Estas protuberancias varían en forma y tamaño (fig. 9-7) (47).

Fibras zonulares.

El concepto tradicional de la zónula ciliar la presentaba como una condensación de vitreína, por lo tanto de estructura colágena, por consecuencia, también se le consideraba como el vítreo terciario. En estudios recientes, se ha demostrado que la composición de las fibras zonulares es diferente a la vitreína colagenosa, ya que éstas son resistentes a la enzima colagenasa, están deprovistas de hidroxiprolina y son ricas en cistina. Las fibras zonulares están constituidas por ácidos glicoproteicos, similares a la elastina que se encuentra en otros órganos (14).

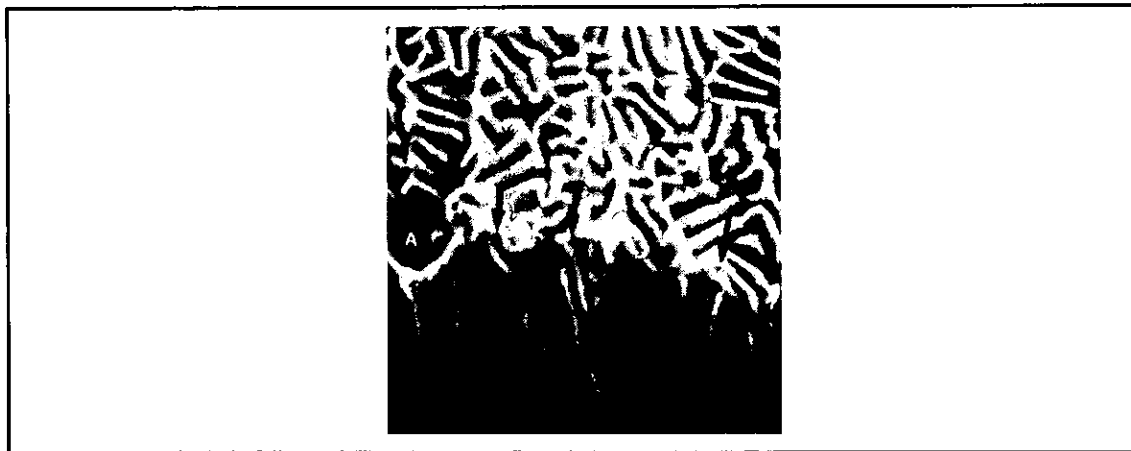


Figura 9-7. Circunvoluciones presentes en las superficies de las fibras del lente. Las flechas indican una de las aristas de la fibra. La letra A indica una de las depresiones para la unión con las fibras adyacentes (47).

Las zónula ciliar, estudiada *in vivo*, aparece como una vaina de gel que encierra a las fibras, pero *in vitro*, sólo es posible ver a las fibras (fig. 9-9) (47). Las fibras de la zónula ciliar apuntalan sus terminaciones en la lámina basal del epitelio ciliar no pigmentado, en la corona ciliar, y después se unen a la cápsula del lente por simple contacto, sin penetración. La unión se realiza a corta distancia, anterior y posterior del ecuador (fig. 9-8) (14). La zónula ciliar mantiene a los polos anterior y posterior del lente en el eje visual del ojo.

Las fibras zonulares están fraguadas de muchas pequeñas fibrillas, y cuando se unen a la cápsula del lente, las fibras largas se dividen en pequeñas hebras cerca de sus terminaciones. Las fibras más pequeñas salen en abanico y forman una trama densa extensa que ramifica sobre la región corrugada de la cápsula. Las uniones lente-zónula tienen cierto parecido al adhesivo Velcro. Se insertan mayor cantidad de fibras y con más fuerza, en la cápsula anterior que en la posterior (47, 53).

Las fibras zonulares se agrupan en haces, sobre la cápsula del cristalino éstos forman una corona continua. Aunque están más o menos interconectadas pueden dividirse en dos grupos:

- 1) Un grupo se origina en la cresta del cuerpo ciliar y se inserta anterior al ecuador del lente.
- 2) El segundo grupo se origina en las paredes del cuerpo ciliar y se inserta posterior al ecuador. Las fibras de este grupo se adhieren con menor fuerza que las del primer grupo (14).

La morfología de los haces zonulares en el perro, tiene una gran cantidad de variaciones dentro del mismo ojo. Se han descrito cinco variaciones del aparato suspensorio:

- a) Haces de zónulas con amplias uniones al lente y arcadas regulares abiertas entre los haces, con fibras transversas aisladas.
- b) Distribución irregular de fibras y fibras interconectadas entre haces, al punto de formar redes.
- c) Haces de diferentes grosores y fibras interconectadas formando redes.
- d) Haces largos de fibras con redes de fibras interconectadas.
- e) Haces largos de fibras torcidas, con fibras interconectadas formando una membrana.

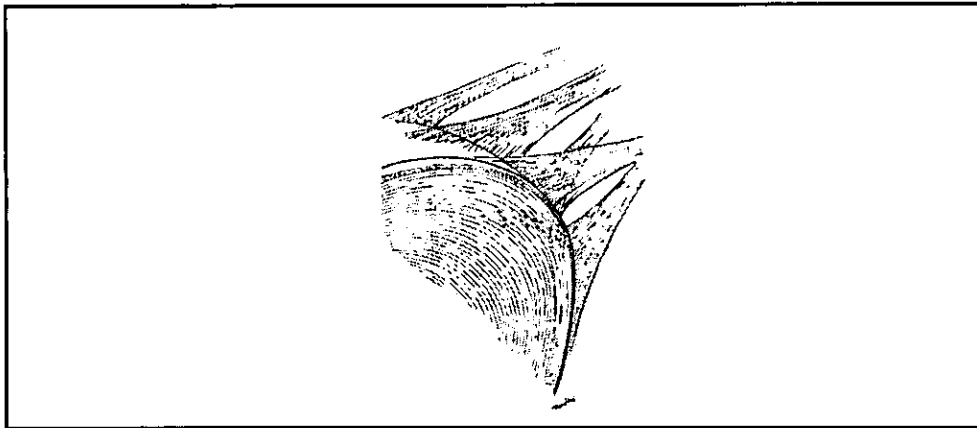


Figura 9-8. Las fibras zonulares se unen a la cápsula del lente cerca del ecuador (53).

Las puntas de los procesos ciliares del perro y del gato están libres de fibras zonulares. En el gato, las fibras zonulares aparecen como derivaciones de los procesos ciliares y se insertan entre los valles. En el perro, los procesos remanentes están envainados con la zónula. Las fibras como un grupo pueden ser seguidas a la base del proceso ciliar (47).

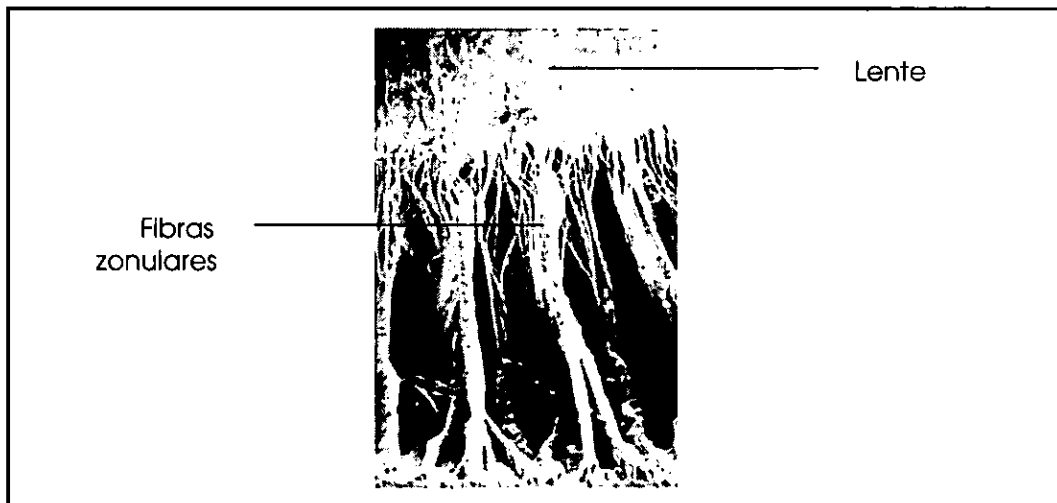


Figura 9-9. Imagen al microscopio electrónico de la zónula ciliar (23).

Las zónulas se separan de la superficie anterior del vítreo por un espacio potencial, el espacio zonular (también llamado canal de Petit). A través de este espacio es posible ver en el examen clínico, la presencia patológica de un prolapso anterior del humor vítreo en la cámara posterior, con el subsecuente paso a través de la pupila a la cámara anterior. Este signo puede ser la indicación temprana de una inminente luxación de lente (64).

FISIOLOGÍA METABÓLICA

La tasa de metabolismo del lente es baja, ya que la actividad de esta estructura es reducida. La energía requerida se limita sólo a la necesaria para mantener su transparencia, para obtener los nutrientes utilizados en su desarrollo y para el crecimiento de nuevas fibras lenticulares. Todo el intercambio metabólico es necesario para mantener la elasticidad de su cápsula (73).

El lente es un tejido transparente, que no cuenta con vasos sanguíneos en su totalidad. A pesar de que la córnea también es un tejido transparente, tiene varias diferencias con el lente, y estas son:

- a) Sus fuentes de nutrientes. Al no contar con irrigación sanguínea, el lente depende del humor acuoso que lo rodea para cubrir sus necesidades metabólicas. El intercambio entre las sustancias del lente y el humor acuoso, permite el transporte de nutrientes y de productos de desecho al y desde el lente. Los cambios en la composición del humor acuoso, o en su tasa de producción, pueden ocasionar cambios en el metabolismo del lente. El lente está encerrado dentro de la cápsula, por lo que cualquier cambio que se presente en la permeabilidad de ésta, trastorna el mantenimiento del metabolismo normal (fig. 9-10) (67, 73).
- b) La solubilidad de sus proteínas estructurales. En el lente, la mayor parte de la proteína es soluble, mientras que la córnea tiene una mayor parte de colágeno insoluble.
- c) La cantidad de mucopolisacáridos. La córnea contiene una relativa mayor cantidad de mucopolisacáridos que el lente.
- d) Las características físicas responsables de la transparencia. La transparencia de la córnea depende de arreglo preciso y regular de sus fibras de colágeno, mientras que la transparencia del lente depende de la solubilidad de sus proteínas (67).

El lente es una estructura en estado de relativa deshidratación, su contenido de agua aproximado es del 65% de su peso total. La cantidad absoluta de agua en el lente aumenta con su crecimiento, pero hay una disminución relativa con la edad. La corteza presenta una mayor proporción de agua, ya que esta porción del lente contiene a las fibras más jóvenes (33, 73).

En relación con cualquier otro órgano del cuerpo, el lente tiene el más alto porcentaje de proteína dentro de su estructura, contando con un 35% del total de su masa. Comparando, el músculo tiene 18% y el riñón 17%. El lente contiene, además, una pequeña cantidad de lípidos, iones orgánicos, carbohidratos, ácido ascórbico, glutatión y aminoácidos. La proteína que contiene la cápsula es del tipo del colágeno (33, 67).

Las proteínas del lente pueden dividirse en:

- 1) Proteínas cristalinas o solubles. Corresponden al 85% del total de las proteínas, pero esta cantidad va disminuyendo con la edad. Las proteínas solubles forman la masa de las fibras refractivas lenticulares y son consideradas las proteínas estructurales del lente.
- 2) Proteínas insolubles o albuminoides. Están asociadas con las membranas de las fibras lenticulares sobre todo. Su cantidad varía con la salud y la edad del lente, cuando éste se vuelve cataratoso, la cantidad de proteína insoluble aumenta (67).

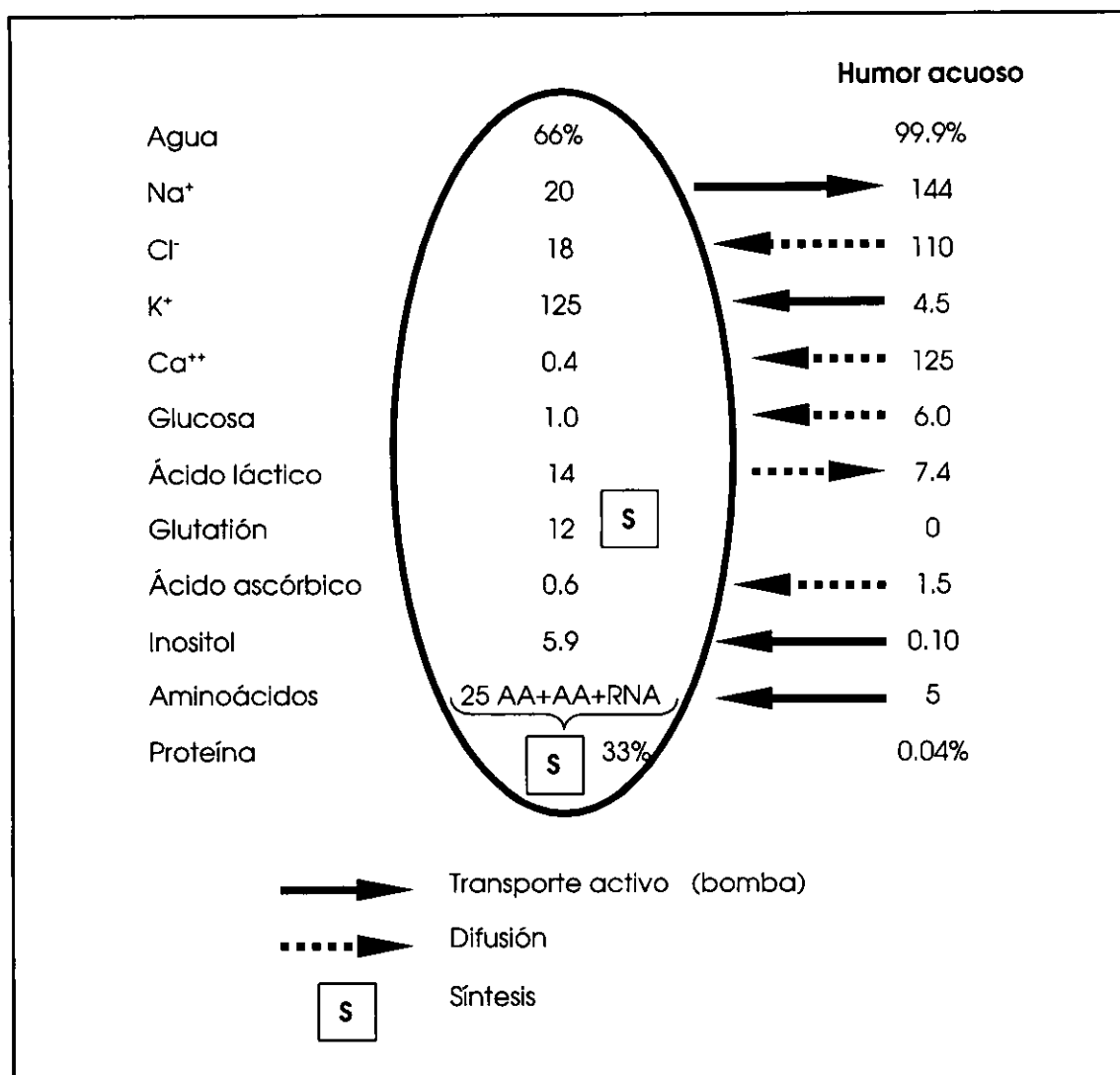


Figura 9-10. Composición química del lente y del humor acuoso. El agua y la proteína están expresados en porcentajes del peso del lente. Los iones de Na⁺, Cl⁻, K⁺ y Ca⁺⁺ en μEq/ml de agua en el lente. Los otros componentes están expresados en μmol/g de peso del lente o en μmol/ml de humor acuoso.

AA = aminoácidos

RNA = ácido ribonucleico (33).

Las proteínas solubles se dividen en tres grupos, según su motilidad electroforética. Los grupos son las proteínas α , β y γ cristalinas. Las proteínas α y γ cristalinas constituyen, cada una, el 15% de la proteína total del lente, otro 50% está formado por la proteína β cristalina (33).

La corteza contiene más proteína soluble (α cristalina) que el núcleo, mientras que el núcleo presenta mayor cantidad de proteína insoluble (albuminoide) que la corteza. Puesto que las concentraciones de proteínas albuminoide y α cristalina son casi inversamente proporcionales, es probable que exista una cercana relación química entre las dos. Ésta podría ser que, con la edad del lente, la proteína α cristalina soluble se convierte de forma gradual en una proteína albuminoide insoluble (33, 67).

En el lente también se han reportado trazas de glicoproteínas, fosfoproteínas, ARN y ADN, entre otras sustancias. Las glicoproteínas aparecen extracelulares, o en la superficie de las fibras del lente, y sirven como sustancia de cemento para mantenerlas juntas. Esta unión es débil para que el enlace no sea rígido y permita la curvatura de las fibras durante la acomodación. La adhesión entre las fibras es necesaria para mantener las propiedades ópticas del lente. La capa externa de cada fibra está constituida por lípidos, que forman una proteína fosfolipídica, la cual habilita a las fibras para mantener su forma.

Las proteínas del lente son, en cuanto a su inmunidad, órgano-específicas, más no especie-específicas. La cápsula evita que las proteínas lenticulares entren en contacto con los sistemas circulatorio y reticuloendotelial. Si las proteínas del lente se distribuyeran dentro del humor acuoso, los sistemas de defensa del cuerpo reconocerían a estas moléculas como extrañas. El resultado sería la formación de anticuerpos contra el lente del propio organismo, y en consecuencia, una uveítis inducida por el lente o una uveítis facoanafiláctica.

El lugar en donde se produce mayor cantidad de energía es el epitelio del lente. Esta energía se utiliza para el transporte de iones inorgánicos y aminoácidos. También se utiliza energía para la síntesis de proteínas. El transporte activo de cationes y de aminoácidos involucra la acción de $\text{Na}^+ - \text{K}^+$ activando ATPasa para mantener altas las concentraciones del ion K^+ y de los aminoácidos, y bajas las concentraciones de los iones de Na^+ , Cl^- y agua en el lente. El K^+ contenido en el lente es muy alto, de hecho es mucho más alto que el contenido en cualquier otro tejido del ojo. Éste ion es acumulado en el lente por una bomba activa de potasio. El K^+ contenido en la célula es tan vital para su integridad que, su proporción en relación con el Na^+ , es utilizada como una medida de la vitalidad de los tejidos. La diferencia en la concentración de Na^+ y de K^+ dentro de las células y el fluido que las rodea, está regida por el proceso secretor activo en la membrana celular. La célula normal excreta Na^+ y concentra K^+ . La interferencia con este mecanismo secretor lleva a un incremento de Na^+ dentro de la célula y a una pérdida de K^+ . El agua tiende a moverse con el Na^+ , por lo que el aumento de este ion, produce un aumento de la hidratación de la célula. En el lente, el mecanismo efectivo de transporte de cationes reside en la cápsula del lente, esto se observa al presentarse cualquier lesión en ésta, lo que produce un inmediato incremento de Na^+ y la pérdida de K^+ dentro del lente. Las fibras lenticulares individuales actúan, cada una, como una célula. Esto contribuye a mantener el balance de sales y de agua en el lente (33, 67, 73).

Como con otras células, el calcio contenido en el fluido externo, en este caso, el humor acuoso, tiene que ver con el mantenimiento de la permeabilidad de las membranas del lente. En ausencia de calcio, la permeabilidad aumenta. Con la edad, aumenta la deposición de calcio en el lente. En aquellos lentes viejos que presentan esclerosis y en especial los cataratosos, el calcio está presente en cantidades considerables.

La cantidad de magnesio contenido en el lente es casi la misma que la del calcio. Este mineral es un componente reconocido de ciertos sistemas glicolíticos, pero se desconoce si esta es su única función en el lente.

El lente acumula aminoácidos por transporte activo. Los aminoácidos son adquiridos por el lente a partir del humor acuoso, por la actividad metabólica del epitelio del lente. El estado de concentración estable está determinado por el balance entre la tasa de entrada a través del transporte activo y la tasa de salida por difusión.

Del total de lípidos del lente, 80% lo constituyen fosfolípidos y colesterol. Se ha demostrado que los fosfolípidos forman una parte integral de cada membrana celular y es probable que intervenga en la permeabilidad característica de la membrana. No se tiene certeza si los fosfolípidos del lente se incrementan con la edad, pero se ha observado que el contenido de colesterol aumenta, tanto de manera absoluta como relativa con la madurez.

En la mayoría de los animales se presenta más ácido ascórbico en el lente que en el humor acuoso. La cantidad de ácido ascórbico varía con la edad del animal, siendo más grande en los animales jóvenes. Hay mayor cantidad en la corteza que en el núcleo. Se desconoce que papel juega en el metabolismo del lente. Puesto que existe en forma oxidada y reducida, este puede actuar como un acarreador, en el transporte de hidrógeno durante la respiración tisular. La mayor parte del ácido ascórbico del lente está en su forma reducida.

El glutatión es un polipéptido sintetizado en el lente. Su función es la de proveer grupos sulfhidrilo para las proteínas del lente y conservar así su solubilidad, y también para la reacción $ATP \rightarrow ADP + P_i$ y de esta manera mantener la bomba de transporte. Se ha postulado que puede actuar como un acarreador de hidrógeno y puede intervenir en la oxidación dentro del metabolismo del lente.

La mayor parte del metabolismo de los carbohidratos en el lente es por vía de la utilización anaeróbica de la glucosa, esto es, por glicólisis (33, 73). La cápsula del lente funciona como un tamiz, previniendo que pasen grandes moléculas, como albúmina o globulina, a través de éste, pero permite el paso de agua y de electrolitos.

Además de metabolitos, el lente requiere de O_2 para su mantenimiento y para la producción continua de las células lenticulares, y para conservar de la elasticidad capsular y su transparencia. La demanda de O_2 es reducida y ésta es consumida por las células corticales y el epitelio anterior. La mayor parte del O_2 necesario se obtiene del humor acuoso. La cantidad de O_2 aportado por el humor acuoso es relativamente pequeña, y se compara con la cantidad de O_2 físicamente disuelto en la mayoría de los fluidos corporales (33, 70).

La fuente de energía para el lente es la glucosa, la cual se difunde del humor acuoso. La energía se deriva de glicólisis anaeróbica (ruta de Embden-Meyerhof) y es utilizada para el transporte activo de cationes y la síntesis de proteínas. Un pequeño porcentaje de glucosa es metabolizado a partir de la ruta del ácido cítrico (ciclo de

Krebs). El desvío de las pentosas y la ruta del sorbitol, son otras vías para el metabolismo de la glucosa en el lente. El producto mayor final del metabolismo de la glucosa es el ácido láctico, el cual se difunde dentro del humor acuoso. La tasa de glicólisis se controla por la cantidad de enzima hexoquinasa y el rango de entrada de glucosa al lente (33, 73).

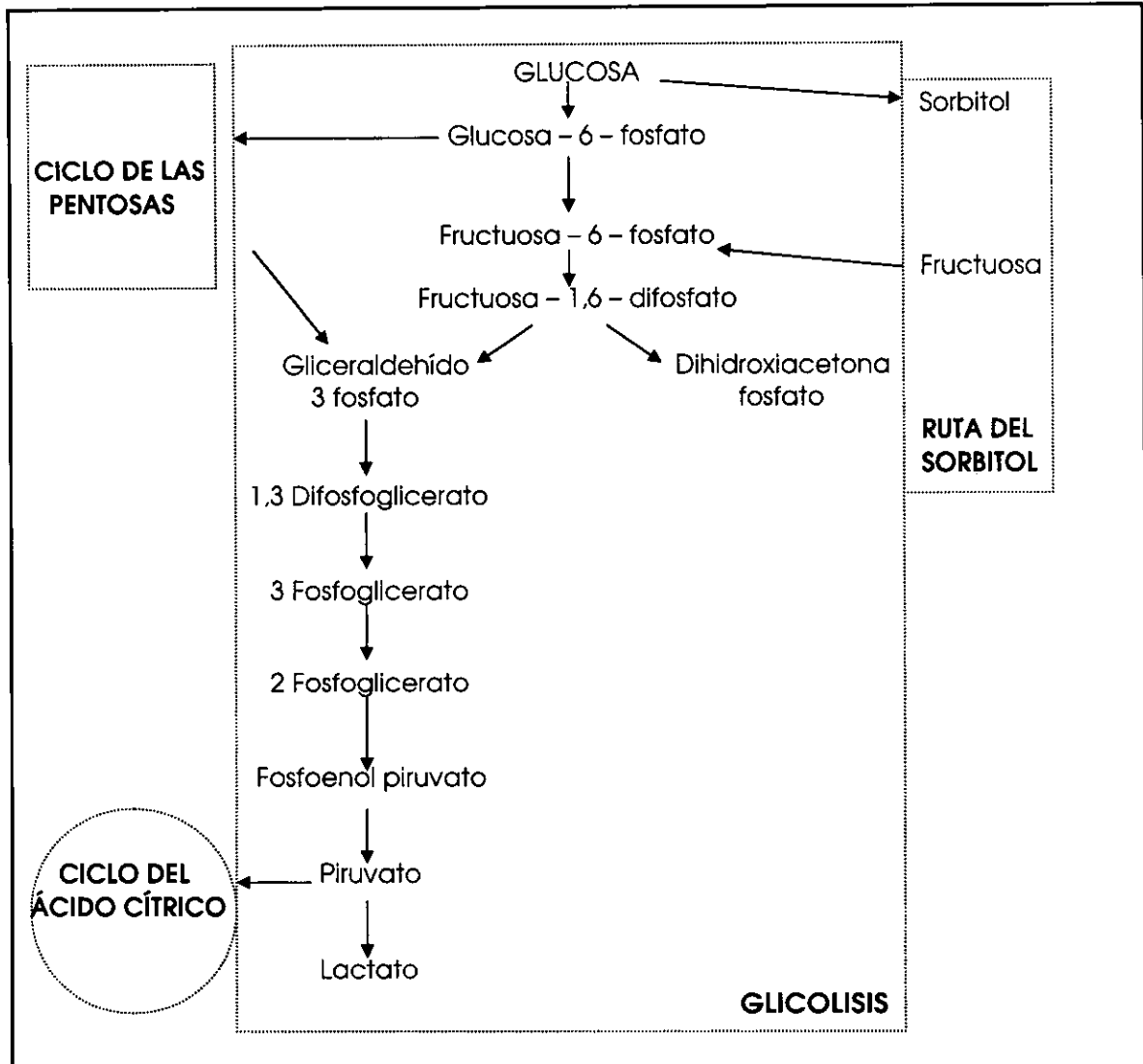


Figura 9-11. Glicólisis (73).

Glicólisis (fig. 9-11).

Éste es un proceso anaeróbico en el que la glucosa es degradada a 2 moléculas de ácido láctico. Representa un mecanismo simple para la recuperación de ATP. Las reacciones que intervienen en esta conversión se dividen en dos fases:

- a) En la primera fase (en la que intervienen las cuatro primeras reacciones del ciclo), ocurre un gasto de energía.
- b) En la segunda fase se produce energía.

La glucosa es fosforilada a glucosa-6-fosfato por medio de la enzima hexocinasa, en esta primera degradación puede, además, ser metabolizada por la ruta de las fosfopentosas. Es hasta la reacción 9 en donde se forma ácido pirúvico, que sufre una nueva desviación hacia el ciclo del ácido cítrico. El producto final neto en este proceso metabólico es la formación de 2 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa consumida (40, 61, 73).

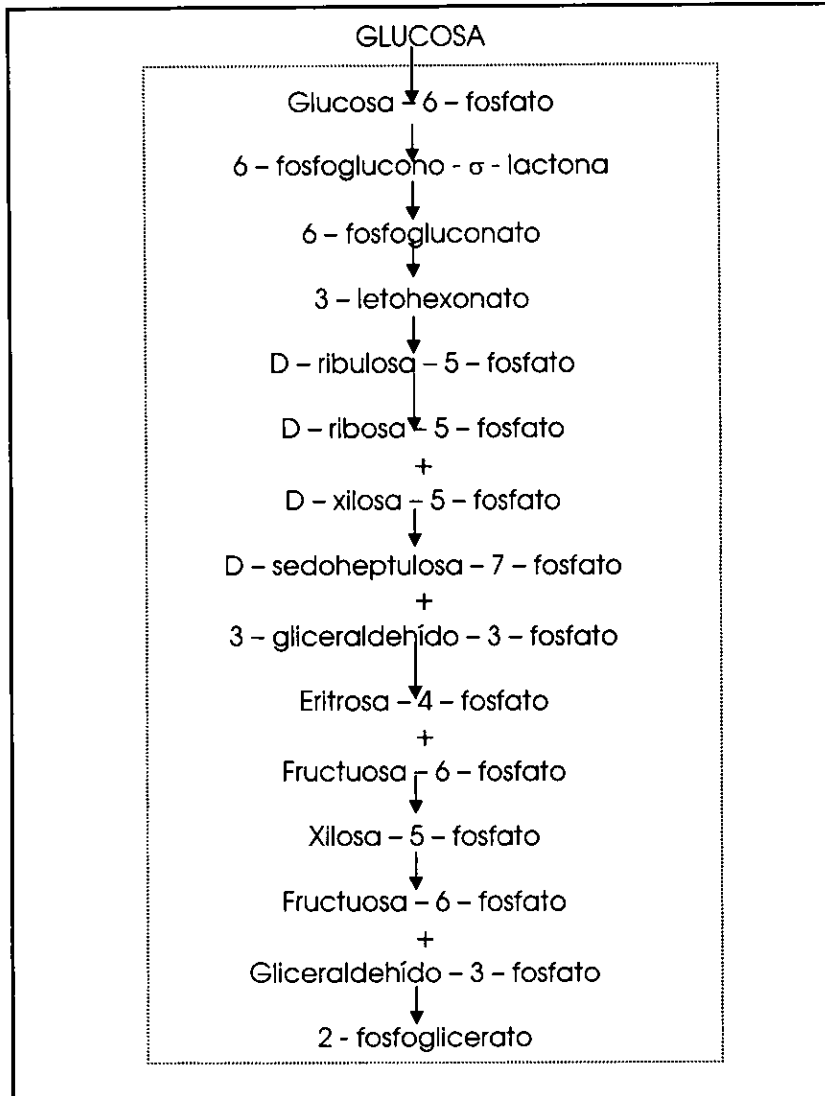


Figura 9-12. Ruta de las pentosas (73).

Ruta de las pentosas (fig. 9-12).

Esta ruta es llevada como alternativa de la glucosa para llevar a cabo su metabolismo. La hexosa monofosfato se encarga de desviar la glucosa-6-fosfato a esta ruta.

La serie de interacciones en las que consiste esta desviación, fosforilan el azúcar (que varía de 3 a 6 carbonos). El mayor producto y el más importante es el

NADPH, que es el factor necesario para las principales reacciones celulares del lente. Esta es la ruta que produce la mayor cantidad de esta coenzima (61, 73).

Ruta del ácido cítrico (fig. 9-13).

La producción de ácido cítrico y de energía, es baja por la deficiencia de mitocondrias en las células del lente. En este ciclo se forman 36 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa consumida. Del 3% de la glucosa residual que entra al ciclo se forma el 30% de ATP formado por el lente. En circunstancias normales, el ATP formado de la glicólisis, parece ser suficiente para mantener las actividades del lente.

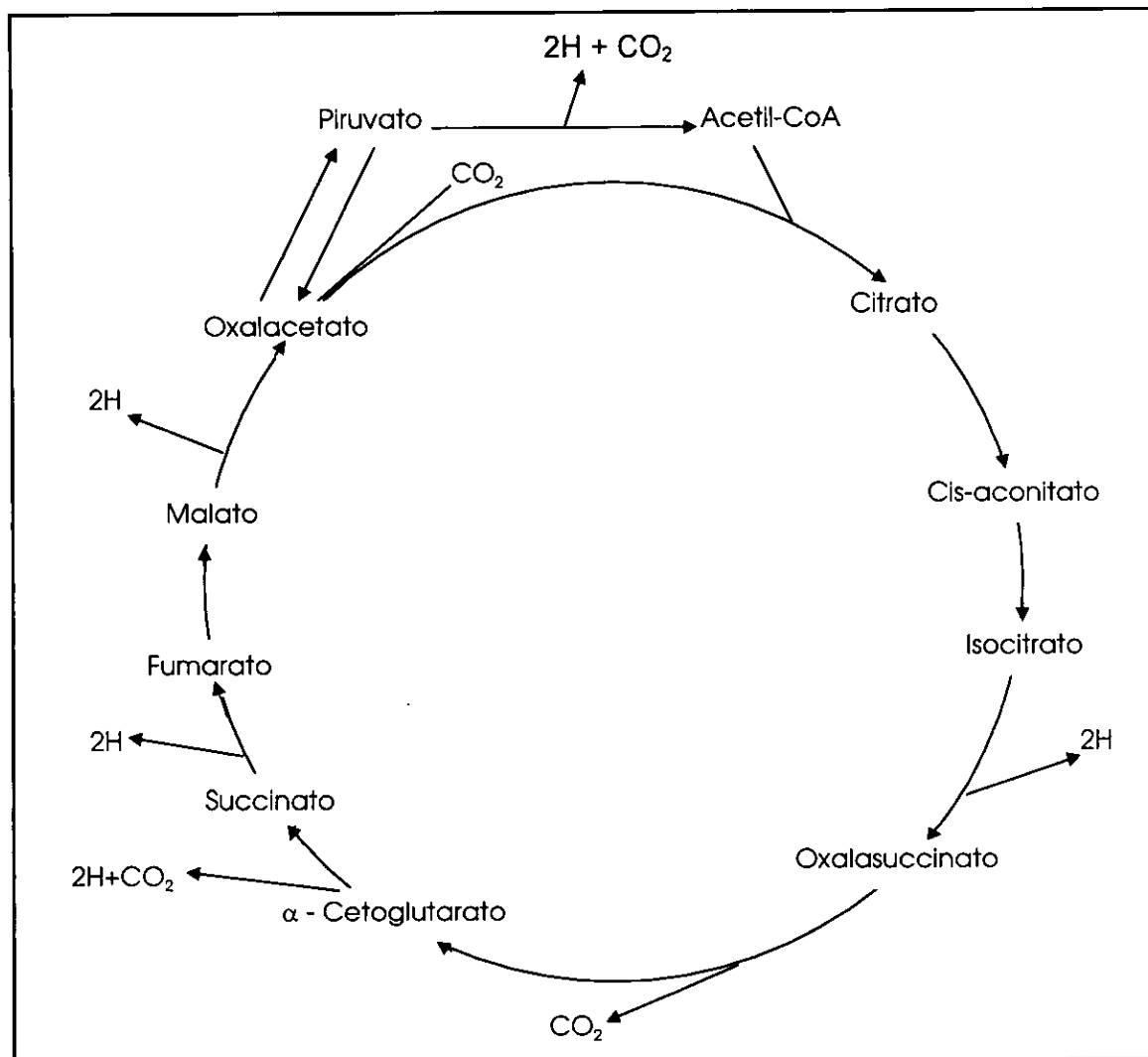


Figura 9-13. Ciclo del ácido cítrico (73).

La función principal de esta ruta es la de actuar como la vía final común para la oxidación de los carbohidratos lenticulares. Las enzimas que intervienen en este ciclo se localizan en la matriz mitocondrial de las células corticales del lente. El producto final es CO_2 , agua y ATP (61).

Ruta del sorbitol.

El lente, en condiciones normales, ocupa el 5% de la glucosa en esta ruta. Aquí actúan 2 enzimas:

- 1) La aldosa-reductasa. Transforma a los azúcares en polialcoholes, que son producto de desecho del lente, y que pasan a través de la membrana celular del epitelio y la cápsula.
- 2) La cetoreductasa. También llamada sorbitol-deshidrogenasa, es más estricta y utiliza el producto de la reacción de la aldosa-reductasa, formando la cetosa. Ambas reacciones son reversibles con facilidad, pero la concentración de NADPH y NAD^+ predomina sobre la de NADP^+ y NADH, lo que favorece la formación de cetosa como producto final.

La fosfofructuocinasa y la hexocinasa son las principales enzimas que controlan el metabolismo del azúcar en el lente.

La fosfofructuocinasa es la enzima que inicia la verdadera ruta glicolítica: la inhibición aldostérica ejerce el control de la glicólisis, esta inhibición es vencida por grandes concentraciones de AMP o ADP, los cuales desplazan al ATP (el ATP en altas concentraciones se une al sitio aldostérico, lo activa inhibiendo la reacción), y activan a la enzima. Pero la gran velocidad de la glicólisis aumenta la concentración de ATP, que reduce con lentitud la actividad de la fosfofructuocinasa y, de esta manera la glicólisis. Como el ATP es desfosforilado a ADP por otra reacción, se activa otra vez la enzima para iniciar la glicólisis.

Es probable que la hexoquinasa sea el factor de control para 2 reacciones:

- 1) En la primera la actividad enzimática, sólo demuestra 10 en 1000 la actividad de otras enzimas de la química glicolítica, siendo el marcapaso de la glicólisis. Cuando la enzima es saturada con glucosa y está operando al máximo, las otras enzimas están operando en sólo una pequeña fracción.
- 2) En la segunda la hexoquinasa del lente es inhibida por muy bajos niveles de glucosa-6-fosfato, pero no por ADP o cualquier otra fuente de enzima. Este producto inhibido se relaciona con la actividad de la fosfofructuocinasa cuando la concentración de ATP es alta, la fosfofructuocinasa es inhibida. Cuando la concentración de ATP es normal, la actividad enzimática es menos que máxima. La fosfofructuocinasa inhibida incrementa la concentración de la fructuosa-6-fosfato, la cual es isomerizada a glucosa-6-fosfato que inhibe a la hexocinasa (61).

Al inhibirse la hexocinasa y limitarse la tasa de glicólisis se previene de la excesiva acumulación de ácido láctico en el lente, lo que podría disminuir el pH y activar las proteasas del mismo. Con muy altos niveles de glucosa en la sangre y el humor acuoso, como en una diabetes mellitus, la enzima aldosa reductasa se activa como una vía alternativa para el metabolismo de la glucosa en el lente. El resultado es la acumulación de sorbitol en las células lenticulares, las cuales se hinchan por el incremento de la presión osmótica y finalmente se rompen. La consecuencia es una catarata diabética (67).

En resumen, la transparencia del lente depende del estado fisicoquímico de sus proteínas. Los cambios en la concentración de iones inorgánicos, la presión osmótica, el pH, o la actividad enzimática, altera a las proteínas lenticulares, lo que produce las cataratas.

FISIOLOGÍA ÓPTICA

La luz es una radiación electromagnética que viaja en líneas rectas. Cuando la luz choca con algún objeto se presenta alguno de estos tres fenómenos (fig. 9-14):

- Reflexión. Aquí el rayo retorna al medio original, es decir se refleja.
- Refracción. El rayo entra al segundo medio y es desviado de su curso.
- Dispersión. El rayo luminoso es absorbido por el segundo medio.

Cuando la luz pasa desde un medio con bajo índice de refracción (por ejemplo el aire) a otro con un valor más alto (como la córnea), se inclina hacia la normal a la superficie. Una superficie que es convexa en la dirección de la luz incidente, inclina todos los rayos hacia el centro de la línea, conduciéndolos hasta un foco. El punto focal de una lente, es el punto en el cual los rayos paralelos son conducidos juntos, intersectándose en el mismo lugar.

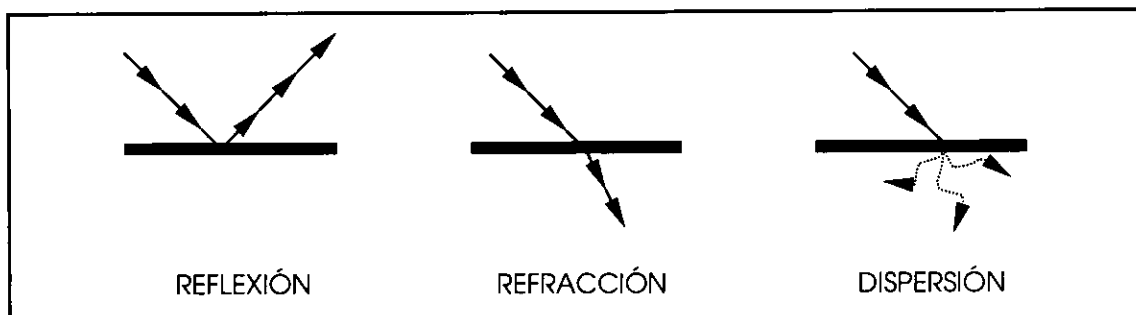


Figura 9-14. Reacciones de la luz al entrar en contacto con un objeto (70).

Los únicos tejidos en el ojo que refractan la luz de manera significativa son la córnea (interfase aire-córnea) y el lente (interfases humor acuoso-lente y lente-humor vítreo) (70).

La refracción combinada de la córnea, el humor acuoso, el lente y el humor vítreo, permite el enfoque de las imágenes sobre la retina.

La córnea es la porción óptica más poderosa del ojo porque es un tejido que se encuentra en contacto directo con el aire, y es la estructura en donde ocurre el mayor porcentaje de la refracción. Ópticamente, el lente debe ser, comparado con el aire, más poderoso que la córnea. Pero el lente, al estar rodeado por fluidos oculares, pierde parte de este poder. La alteración del paso de los rayos de luz a través del lente es leve, pero ésta es la única estructura que puede modificar su poder refractivo, gracias a su capacidad de cambiar de forma por la acción de los músculos ciliares, las fibras zonulares y la cápsula del lente. La función básica del lente, es la de realizar un ajuste fino para enfocar los objetos que se encuentran a distancias diferentes (53, 63, 70).

El lente contribuye de manera significativa al poder refractivo del ojo en su conjunto, ya que cuando se remueve en una cirugía de catarata, el ojo se vuelve hipermetrope (53).

Como se mencionó antes, algunos rayos de luz, al hacer contacto con una superficie lisa o un medio transparente, son reflejados y el resto de estos rayos son refractados. El índice refractivo es el radio entre la velocidad de la luz en un vacío y la velocidad de la luz en un medio.

Estos son algunos índices refractivos relacionados con el ojo:

Aire	1.000
Agua	1.330
Córnea	1.370
Humor acuoso	1.335
Corteza del lente	1.383
Núcleo del lente	1.429
Humor vítreo	1.335

El índice refractivo del agua depende de su temperatura (67). El lente tiene un índice refractivo más alto que el de los medios fluidos que lo rodean por la gran cantidad de proteína que contiene (53). El poder dióptico del ojo es más reducido debajo del agua (67).

Además del índice de refracción del aire o del humor acuoso, en los cuales, tanto la córnea como el lente, se encuentran incluidos respectivamente, sus poderes de refracción se determinan por los radios de su curvatura. A medida de que aumenta la curvatura de su superficie disminuye el radio de ésta, lo que incrementa su poder de refracción (70). Otro factor que incrementa el índice refractivo es la deshidratación que la lente sufre con la edad del animal, cuando las fibras se condensan y se produce una esclerosis nuclear. Un factor más que influye en el índice de refracción es la longitud de onda de la luz, ya que no todas son refractadas de la misma manera, tanto en el lente como en la córnea (53, 67, 70).

Los rayos de luz que pasan por la periferia del lente son refractados de manera diferente a aquellos que atraviesan la porción central. Así, los rayos de luz de un punto sobre un objeto pueden no converger al mismo punto sobre la imagen. Este fenómeno se llama aberración (67). En un lente esférico con índice refractivo uniforme, los rayos de luz que pasan a través de la parte más periférica del lente son llevados a un punto focal enfrente de los rayos que pasan a través de la región paraxial del lente, a este fenómeno se le denomina aberración esférica positiva. Pero en el caso de los perros, éstos presentan lo que se llama aberración esférica negativa. Ésta consiste en que los rayos de la periferia son llevados a un punto focal, a una distancia más allá del lente, que los rayos que pasan a través de la región paraxial. La causa de este fenómeno es el gradiente de índices de refracción que posee el lente. En el perro, las regiones corticales más periféricas tienen un índice de refracción más bajo que las regiones localizadas más hacia el centro (53).

Como los rayos de luz tienen diferentes longitudes de onda (distintos colores), se producen aberraciones cromáticas en el lente. Las longitudes de onda largas (rojos) son menos refractadas que las longitudes de onda cortas (azules). Por lo tanto, las longitudes de onda rojas deben enfocarse detrás de las longitudes de onda azules (53, 67). El porcentaje de aberración cromática con respecto a la distancia focal (o poder) del lente del perro, es muy alto comparado con el de otros vertebrados (53). La mayor parte de la luz ultravioleta es absorbida por el lente (57).

Por las variadas formas de los lentes de los animales, se determina que las aberraciones se presentan, pero por el iris y la poca necesidad de una resolución excelente, la aberración no es una restricción importante para su desarrollo en el medio ambiente (67).

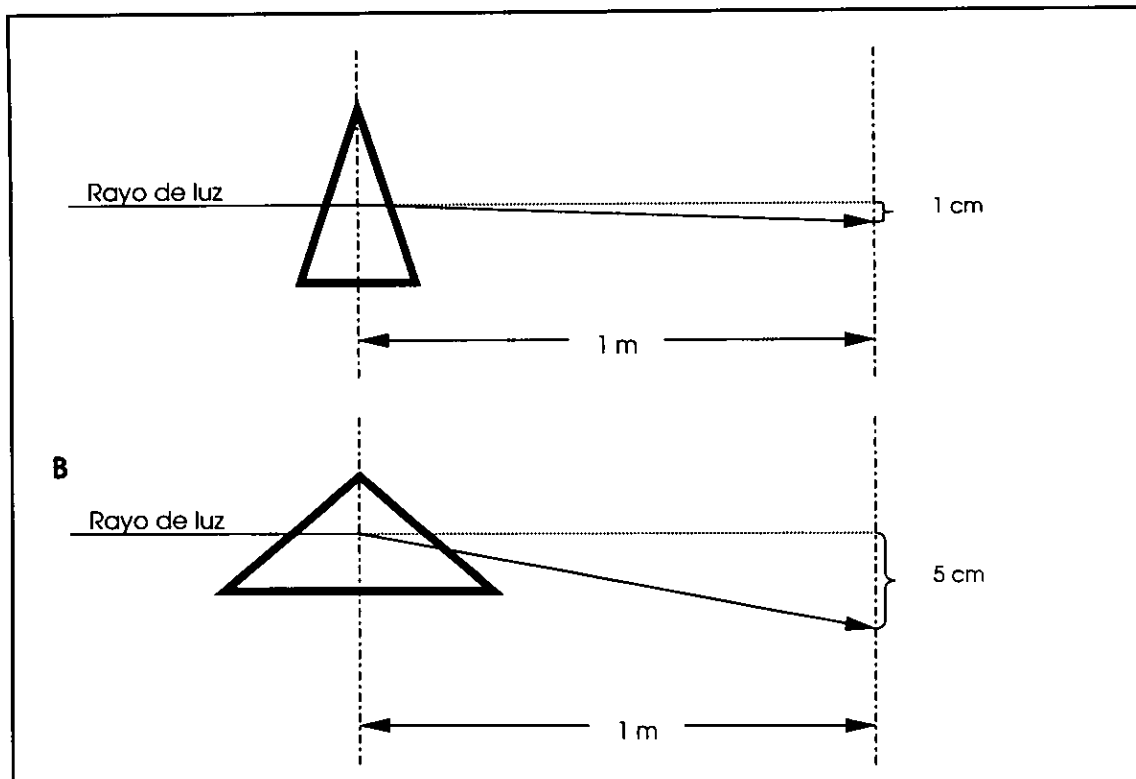


Figura 9-15. A, Efecto de un prisma de 1 D sobre un rayo de luz. B, Efecto de un prisma de 5 D sobre un rayo de luz (70).

La unidad para medir el poder óptico de una lente es la dioptría (D), que se puede definir como la convergencia de una lente de 1 m de distancia focal, es decir, un lente de 1D desvía un rayo de luz 1 cm a una distancia de 1 m (figs. 9-15, 916), su fórmula es:

$$D = \frac{1}{pf}$$

donde: D = dioptría
 pf = distancia focal principal en metros

La convergencia es la inversa de la distancia focal, así, si ésta es de 0.5 m el lente tiene 2 dioptrías; si es de 0.1 m tiene 10 dioptrías, etc. (67, 70).

Para poder calcular el poder óptico en dioptrías, la distancia focal principal se puede determinar con luz paralela (colimada).

Cuando un objeto está cerca del lente, de tal manera que la luz de éste no es paralela, la longitud focal se vuelve más larga y la distancia focal principal no lo es.

Para poder adicionar o sustraer dioptrías se colocan lentes en contacto unos con otros.

$$DT = D_1 + D_2 - D_3$$

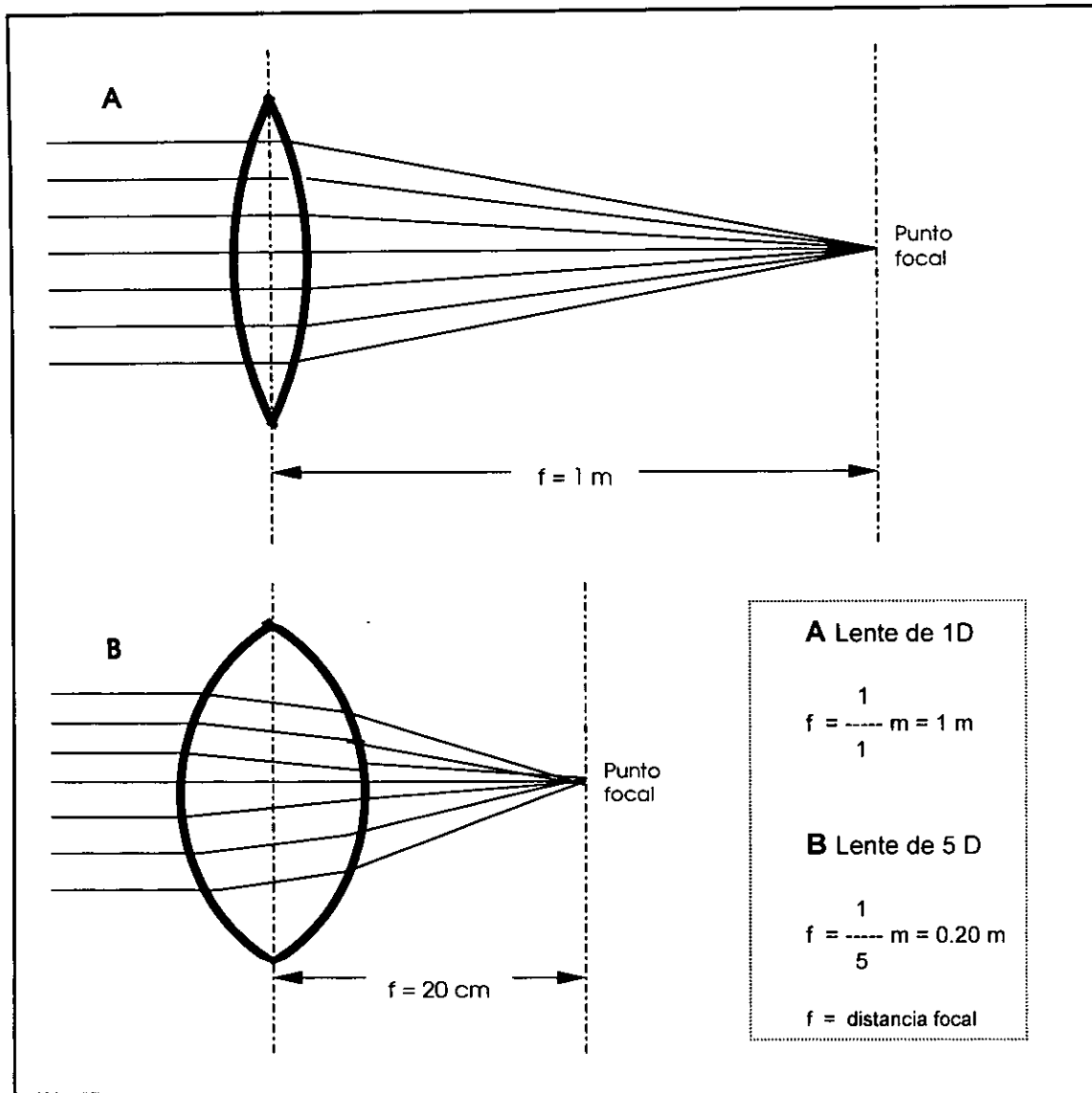


Figura 9-16. Esquema de la distancia focal de un lente de 1 D y otro de 5 D (70).

Los lentes se pueden clasificar en convergentes (dioptrías positivas) y divergentes (dioptrías negativas) y como se ha mencionado, el grado de curvatura determina su poder de refracción.

El poder dióptrico de un lente puede ser calculado con la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{f} = (\mu - 1) \left[\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right]$$

$$m = \text{índice refractivo} = \frac{\text{velocidad de luz en un vacío}}{\text{velocidad de luz en un medio}} = \frac{\text{seno del ángulo de incidencia}}{\text{seno del ángulo de refracción}}$$

Al utilizar la fórmula, se debe considerar que el rayo va de izquierda a derecha. Si la luz se encuentra con una superficie convexa, el radio es positivo; si se encuentra con una superficie cóncava el radio es negativo.

La relación entre el tamaño (magnificación) y la distancia es como sigue:

$$\frac{\text{tamaño de la imagen}}{\text{tamaño del objeto}} = \frac{\text{distancia de la imagen}}{\text{distancia del objeto}}$$

Cuando la imagen del objeto se proyecta en la retina, después de que pasa la luz a través del lente, se gira con la parte superior hacia abajo y se invierten los lados. El tamaño puede determinarse con la fórmula anterior (67).

Si la longitud focal del mecanismo corneolenticular iguala la longitud del ojo, de tal manera que la imagen del objeto distante cae sobre la retina, el ojo es emétrope. De lo contrario, si esta longitud focal no iguala a la longitud del ojo, se presenta un vicio de refracción (70).

Cuando la imagen cae anterior o posterior a la retina el ojo es amétrope. La ametropía puede ser:

- Axial. Cuando el globo ocular es corto o largo.
- Astigmática. Cuando las variaciones se presentan en la superficie del globo ocular (córnea).
- Indicativa. Cuando las alteraciones se encuentran en el índice refractivo del ojo.
- Posicional. Cuando el lente se encuentra en una posición incorrecta.
- Refractiva. Cuando el poder dióptrico del globo ocular es muy fuerte o muy débil.

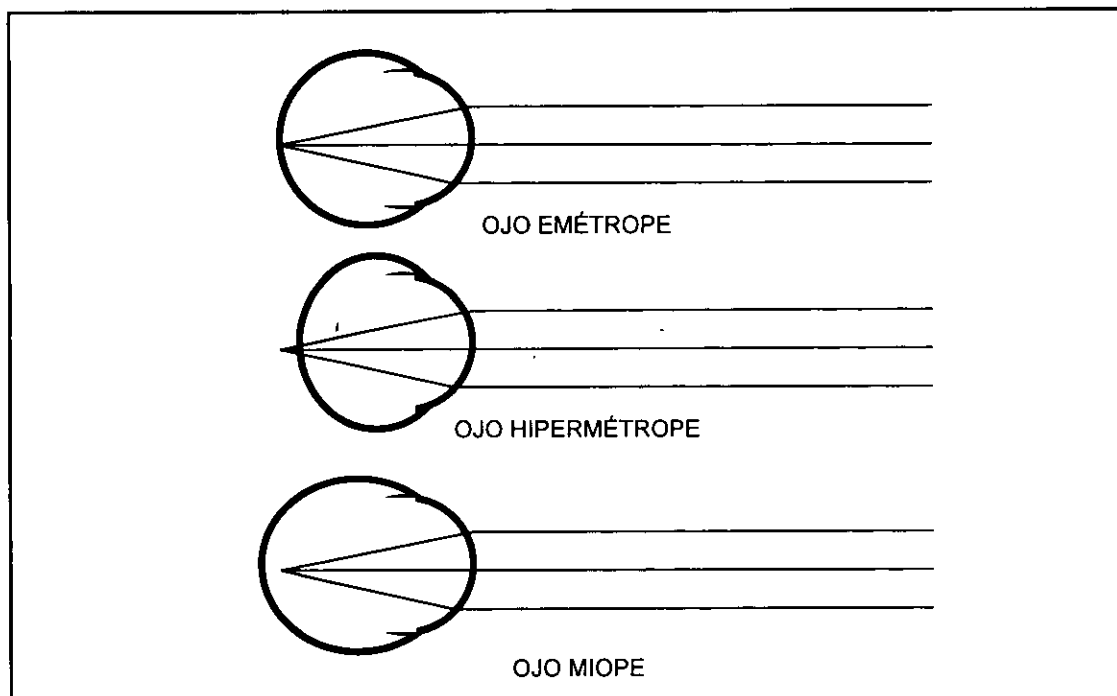


Figura 9-17. Óptica normal y vicios de refracción. Emotropía: el punto focal se encuentra sobre la retina. Hipermetropía: el punto focal se encuentra detrás de la retina. Miopía: el punto focal está delante de la retina (34, 67, 70).

Si la imagen cae frente a la retina, la ametropía del ojo es miope. Si la imagen cae más allá de la retina la ametropía ocular es hipermetrope (fig. 9-17).

Un ojo puede ser miope o hipermetrope en un meridiano, o cualquiera de las dos ametropías en diferentes meridianos, dependiendo de donde se encuentra la ametropía en la retina. Estas situaciones son debidas a que la curvatura o una superficie de refracción, como la córnea, puede ser diferente en algunos de sus meridianos. A esta condición se le denomina astigmatismo.

La remoción de las cataratas deja al ojo hipermetrope por afaquia. La imagen en un ojo con afaquia está fuera de foco, el lado derecho arriba, invertida (como una imagen al espejo), y más grande. Con un lente removido la visión binocular o estereoscópica es dispareja. De cualquier manera, la pérdida de un lente o de los dos lentes no ocasiona un problema clínico aparente para los animales domésticos. Esta súbita adaptación a una condición de afaquia se puede explicar en parte por una observación realizada en el gato. Si un ojo del gato es girado por medio de cirugía cerca de 90°, éste puede discriminar los señalamientos visuales horizontales de los verticales, sin necesidad de tiempo para adaptación. El sitio anatómico exacto para esta adaptación es desconocido.

La mayoría de los mamíferos en estado silvestre, tienden a ser ligeramente hipermetros. Entre los animales domésticos, los cuales son generalmente emétropes, cuando se presenta la ametropía puede ser en cualquier dirección, pero se piensa que los animales mantenidos en confinamiento son con frecuencia miopes. La ametropía en los animales puede ser, por lo tanto, miope, hipermetrope o astigmática (67).

Para mantener una imagen sobre la retina se utiliza un reflejo llamado acomodación. Los componentes del reflejo de acomodación son:

Estímulo	La imagen no se enfoca sobre la retina.
Receptores	Fotorreceptores.
Vía aferente	Nervio óptico.
Vía eferente	Nervio oculomotor.
Efector	Músculo ciliar.
Efecto	Baja la tensión sobre la cápsula del lente permitiendo incrementar la curvatura del lente.

La acomodación se puede describir con la siguiente ecuación:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{pf}$$

donde: d = distancia del objeto en metros
 f = distancia de la imagen en metros
 pf = longitud focal principal en metros

En los perros y los gatos, la acomodación se acompaña con un incremento del poder dióptico del lente como se describió. En otras palabras, se incrementa 1/pf (la longitud focal principal se hace más pequeña) durante la acomodación. El lente en el

ojo puede cambiar de forma, y con esto puede cambiar en $1/pf$, mientras que en un lente de vidrio este valor es constante.

Como $1/d$ aumenta (d es más pequeño, tanto como este más cercano del ojo), aumenta $1/pf$ para mantener $1/f$ constante (f queda igual durante la acomodación para mantener la imagen sobre la retina).

El punto más cercano en el cual los perros pueden enfocar, es probable que sea aproximado a 30 cm (33).

Un lente no acomodado, se presenta cuando los músculos ciliares se relajan, lo que ocasiona una tensión sobre la cápsula, por parte las zónulas lenticulares, para mantener al lente relativamente plano, lo que reduce su poder óptico. La acomodación se produce con la contracción de las fibras de músculo liso ciliares (inervadas por la porción parasimpática del nervio oculomotor) lo que empuja la cápsula hacia adelante, esto reduce la tensión zonular, entonces la elasticidad natural de la cápsula hace que el lente se vuelva más esférico. Se produce un aumento en la convexidad del lente y, así, se incrementa su poder óptico (fig. 9-18). El sistema óptico es acomodado para ver objetos cercanos (23, 41, 67, 70). Comparados con los músculos ciliares del hombre, los de los animales domésticos son pequeños, por lo que es probable que la acomodación sea reducida (67). El perro y el gato normales tienen cerca de 1 a 2 dioptrías de acomodación, mientras que el ojo de un adulto joven humano cuenta con casi 10 dioptrías (70).

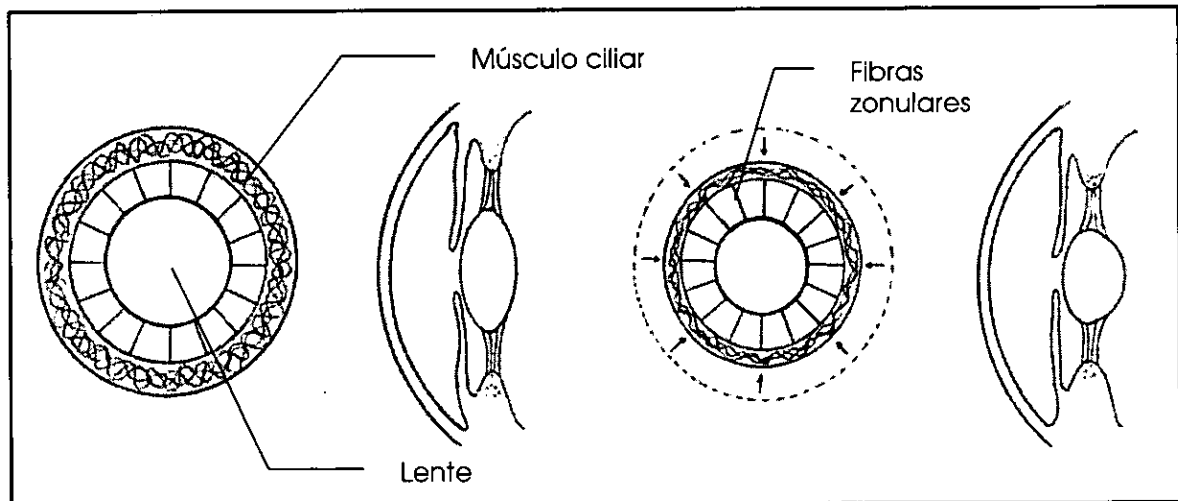


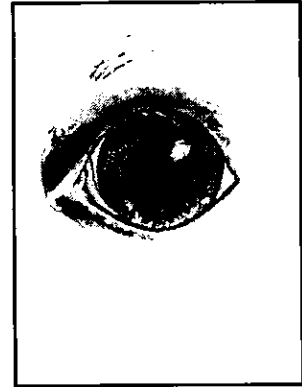
Figura 9-18. Estructuras iculares encargadas de la acomodación. A la izquierda se muestra el lente relajado y a la derecha se presenta la acomodación al contraerse el músculo ciliar (33).

La acomodación se puede acompañar con otras acciones como la disminución del tamaño de la pupila. Al aproximarse algún objeto al ojo, la pupila reduce su tamaño. Esta acción es llamada reflejo de cercanía. Este reflejo podría disminuir las aberraciones ópticas debidas al lente, pero su uso es limitado porque también disminuye la cantidad de luz. Es probable que el reflejo de cercanía no sea una parte importante de la acomodación en los animales domésticos.

El rango de distancia del ojo, en el cual un objeto permanece enfocado sin acomodación, se conoce como profundidad de campo. La profundidad de campo es inversamente proporcional al tamaño de la pupila. El rango en la retina, en el cual, una

imagen óptica puede moverse sin deterioro de la agudeza, se denomina profundidad de foco. Grandes profundidades de campo y de foco reducen la necesidad de una acomodación precisa (67).

CAPÍTULO 10



Cuerpo vítreo

ANATOMÍA

El cuerpo vítreo es la estructura más grande del ojo. Se encuentra dentro de la cámara vítrea que corresponde cerca del 75 al 80% del volumen total del globo ocular. La zónula ciliar y la cara posterior del lente forman el límite anterior de la cámara, mientras que la retina cubre al límite posterior (1, 43, 46, 47, 53, 63).

El cuerpo vítreo es un gel claro y suave que toma la forma de la cavidad que ocupa. Es cóncavo en la parte anterior, donde se forma la fosa hialoidea, que corresponde a la superficie convexa posterior del lente. De la misma manera, la superficie del vítreo es estriada donde se proyectan los procesos ciliares. La porción posterior del vítreo es esférica (figs. 10-1, 10-3) (43, 46, 53, 70, 74).

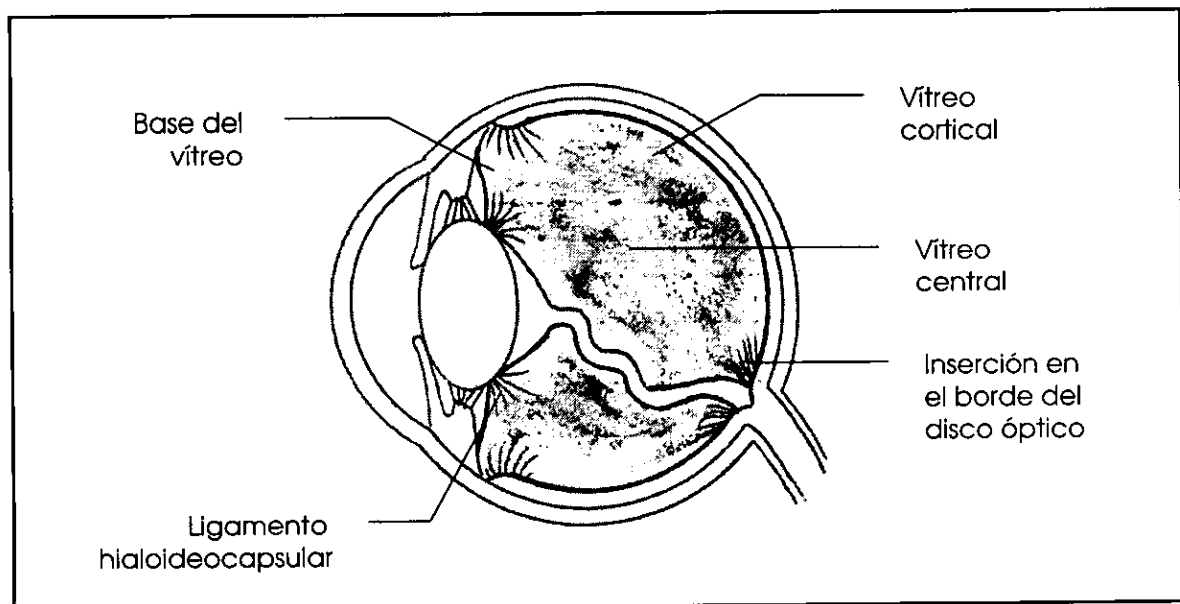


Figura 10-1. Estructura del vítreo y sus inserciones (46).

El cuerpo vítreo se adhiere a la parte ciliar de la retina, en el disco del nervio óptico, así como en la cara posterior del lente, en esta última por medio del ligamento hialoideo. Éste es más sólido en los animales jóvenes que en los adultos. Con la edad se llega a presentar una degeneración del ligamento, así como licuefacción del gel vítreo lo que puede originar una subluxación o luxación del lente. Con excepción de estos puntos, el cuerpo vítreo se puede separar de la retina con facilidad (fig. 10-1) (1, 46, 53, 64, 74).

La porción periférica del cuerpo vítreo, cercana a la retina, se conoce como corteza, y sólo se une de forma débil al estrato limitante interno de la retina. Las fibrillas de colágena del vítreo cortical se unen al estrato limitante interno y a las células retinales gliales. Las débiles uniones vítreo-retinales posteriores pueden asociarse con las inserciones más oblicuas de las fibrillas colágenas corticales y la falta de hemidesmosomas (47).

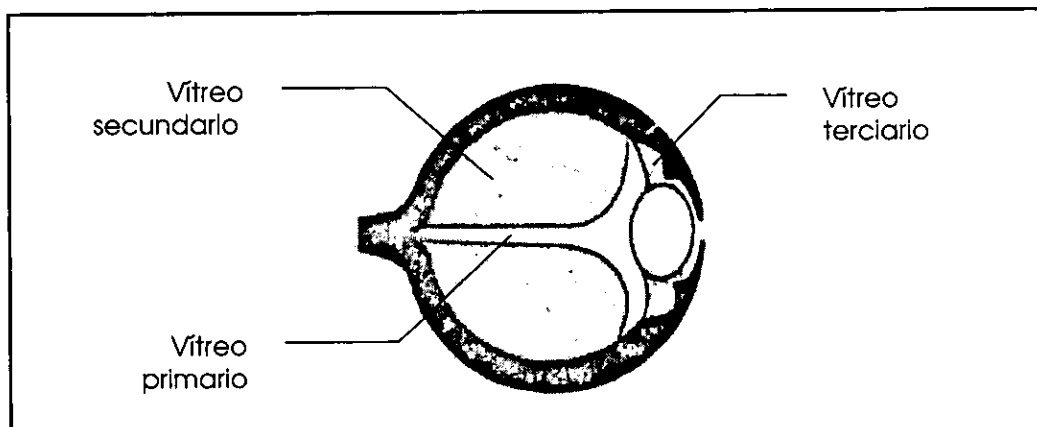


Figura 10-2. Último estadio del desarrollo embrionario del cuerpo vítreo (70).

Basándose en el desarrollo embrionario, el cuerpo vítreo se puede dividir en tres distintos componentes (fig. 10-2):

- a) Vítreo primario. Se desarrolla al inicio, a partir del mesodermo. Consiste en el sistema de arterias hialoideas que involuciona con la maduración posnatal, a las tres semanas de edad en los perros y a las ocho semanas en los gatitos, por lo que es posible observarlo en los animales jóvenes.
- b) Vítreo secundario o vítreo definitivo. Se deriva del neuroectodermo. Esta estructura es un gel pesado, de gran volumen en el globo ocular maduro y se forma alrededor del vítreo primario.
- c) Vítreo terciario. Lo forman las fibras zonulares de la zónula ciliar.

Al referirse al vítreo, la mayoría de los autores lo consideran como una estructura que sólo incluye al vítreo primario y al vítreo secundario (46, 47, 54, 64, 70).

El canal hialoideo es un remanente en forma de embudo del vítreo primario y atraviesa al cuerpo vítreo desde el disco del nervio óptico a la cara posterior del lente. El vítreo definitivo o secundario es elaborado por la retina, por lo que comprime al vítreo primario en el centro. Al mismo tiempo el vítreo primario se ahusa por estiramiento, al incrementarse el tamaño del globo ocular. El canal hialoideo es más ancho en la parte anterior, en donde se une al lente. Este sitio de unión puede observarse mediante el biomicroscopio como un delgado círculo blanco con cerca de

3 mm de diámetro en la superficie del polo posterior del lente. El canal se ahusa hacia posterior rumbo al disco óptico y de manera general, presenta una depresión ventral entre estos puntos de unión (fig. 10-1) (43, 46, 53, 63, 64, 74).

En el embrión, la arteria hialoidea cursa a través del canal hialoideo para irrigar la superficie posterior del lente en crecimiento. Esta arteria se atrofia al tiempo que los párpados se abren. Con el oftalmoscopio se llegan a observar remanentes de esta arteria, sobre todo en perros muy jóvenes. Con poca frecuencia se observa la persistencia de arterias hialoideas que pueden ocasionar cataratas lenticulares posteriores. Existe un espacio potencial entre la cápsula posterior y la fosa hialoidea en la cara anterior del cuerpo vítreo pero no es posible visualizarlo (47, 53, 64).

El vítreo primario tiene la misma claridad que el resto del cuerpo vítreo y sólo puede distinguirse por una tenue diferencia en la refractividad óptica, resultado de las diferencias locales en el estroma vítreo. Con una adecuada iluminación, una línea de demarcación puede ser detectada en la interfase del vítreo primario a secundario (la "pared" del canal). En algunas ocasiones, una hemorragia puede expandirse a través de la interfase, delimitando el canal hialoideo (46, 53, 64, 74).

El cuerpo vítreo es casi acelular por completo. La masa del vítreo está formada por un componente líquido que es el humor vítreo. Éste es una solución rica en mucopolisacáridos y en ácido hialurónico. El cuerpo vítreo está compuesto de cerca de 98% de agua y 2% de sólidos. Entre los sólidos, las proteínas son el mayor constituyente (88%), seguido por los lípidos (9%) y completándose con carbohidratos (1, 10, 46, 53, 61, 64, 70, 74).

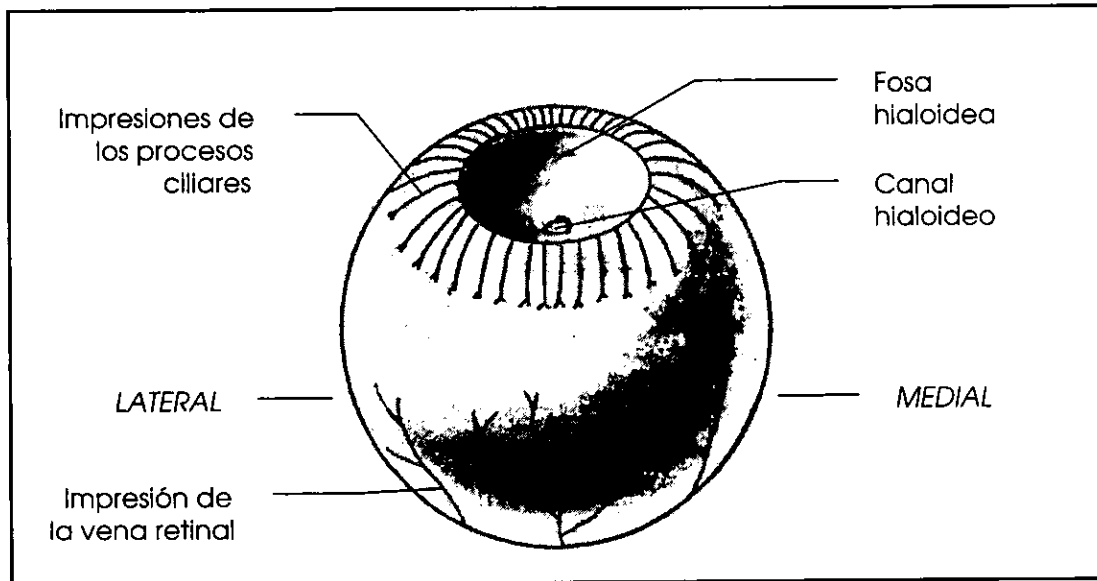


Figura 10-3. Vista dorsal del vítreo aislado del ojo izquierdo (53).

La cara anterior del cuerpo vítreo está limitada por la membrana vítrea. Ésta no es una membrana separada demostrable con los sentidos ordinarios, se asemeja más a la condensación de una estructura filamentosa encontrada a través del vítreo. En los humanos tiene la fuerza suficiente para contener al vítreo después de remover el lente y su cápsula. En el perro y el gato, la remoción intracapsular del lente es impráctica

porque la membrana vítrea es delgada y está adherida de manera muy estrecha a la cápsula posterior del lente. Intentar remover el lente dentro de la cápsula produce el desgarramiento de la membrana vítrea, con la consecuente pérdida del cuerpo vítreo (53, 70).

Irrigación.

El cuerpo vítreo no presenta vasos sanguíneos, su nutrición la obtiene de los tejidos circundantes, la coroides, el cuerpo ciliar y la retina (34).

FISIOLOGÍA

El cuerpo vítreo proporciona un soporte semisólido para la retina y el lente. Si se pierde este soporte, ya sea por licuefacción o degeneración, se puede producir desprendimiento de la retina o luxación del lente.

El cuerpo vítreo había sido considerado como una estructura inerte, pero estudios recientes han documentado que es metabólicamente activa. La organización de la trama de colágeno y de ácido hialurónico es la responsable de la transparencia, estructura, volumen y distribución de las células. La colágena forma una estructura en el vítreo, cuyos espacios son llenados con el ácido hialurónico, dejando pequeños sitios para grandes moléculas o células. Esta disposición mantiene la transparencia del vítreo, lo que permite que más del 90% de la luz visible sea transmitida a la retina. Entre más alto es el contenido de colágena su consistencia es más sólida o más gelificada. Si el contenido de colágena es más bajo, la consistencia es más fluida. El contenido de colágena del cuerpo vítreo varía en las diferentes especies, lo que también produce una variación en la consistencia del vítreo en las mismas. En el gato y el perro, al contrario de lo que ocurre en el humano, la corteza vítrea es más fluida que su centro (53, 67).

Dentro del vítreo existen unas células llamadas hialocitos que son más abundantes cerca de la corteza. Las funciones de estas células son inciertas, pero parecen poseer una capacidad secretora y fagocítica, así como potencial para la reversión a un fibroblasto primitivo capaz de formar tejido cicatrizal (70, 74).

Las características electroquímicas del ácido hialurónico determinan el volumen del cuerpo vítreo. Las moléculas de ácido hialurónico tienen un potencial electrostático negativo, el cual es buferado por cationes y proteínas que restringen su volumen. Si las sustancias neutralizantes son removidas, las moléculas se repelen entre ellas y el vítreo se expande. Si se agregan iones con carga positiva o la estructura de colágena es dañada, el volumen vítreo decrece. Como la estrecha estructura de colágeno-ácido hialurónico deja espacios muy pequeños para el movimiento de moléculas grandes o células, los exudados o las hemorragias vítreas se remueven en forma lenta (67).

Con la excepción del colágeno y el ácido hialurónico, los humores acuoso y vítreo son de composición similar, con libre difusión de sustancias a través de los límites entre ambos humores, a través de la retina y con el lente. El recambio hídrico en el vítreo es sustancial (reemplazo total cada 10 a 15 minutos).

Las diferencias específicas entre la composición del plasma y los humores acuoso y vítreo sugieren una barrera sanguíneo-vitreal. El paso a través de esta barrera, está determinado por la liposolubilidad. Por ejemplo, si se requiere de altos niveles de antibiótico en el vítreo, se indica un fármaco liposoluble como el cloramfenicol.

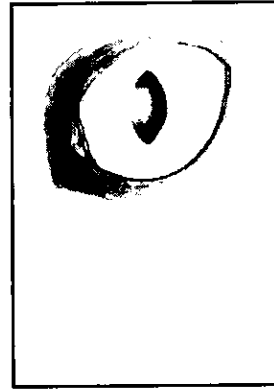
Los mismos principios que gobiernan el ingreso de sustancias desde la circulación hacia el humor acuoso, en general también son aplicables para el vítreo. Existen evidencias de la presencia de un mecanismo de bombeo para el intercambio de iones orgánicos del vítreo al flujo sanguíneo. Puede presentarse una relación entre este bombeo y el flujo de líquido a través del vítreo del cuerpo ciliar hacia la retina, permitiendo la difusión de nutrientes del cuerpo ciliar a la retina y el intercambio de desechos (67, 70).

Composición del humor acuoso, humor vítreo y plasma en el perro y el gato (67).

Constituyente	Concentración			Especie
	H. acuoso	Plasma	H. vítreo	
Ácido ascórbico mg/dl	5.5	---	---	Perro
	1.0	---	2.0	Gato
Aminoácidos mg/dl	2.86	1.87	1.23	Perro
	m moles/kg H ₂ O ---	---	30.0	Gato
Bicarbonato mm/g H ₂ O	Relación h. acuoso / plasma = 1.13		---	Perro
	3.4	25.3	---	Gato
Calcio mEq/L	2.9	5.24	---	Perro
	2.7	4.8	---	Gato
Cloruro mEq/L	Relación h. acuoso / plasma = 1.07		---	Perro
	---	---	---	Gato
Glucosa mg/dl	51.0	70.0	---	Perro
	45.0	56.0	45-64	Gato
Hexosamina mg/ml	16.7	---	19-44	Perro
	---	---	17-40	Gato
Ácido hialurónico mg/ml	---	---	35.0	Perro
	---	---	31-53	Gato

Oxígeno	mm/Hg	45.0	---	---	Perro
		---	---	53.0	
Fosfato	mg/ml	0.53	1.26	---	Perro
		0.48	1.87	---	Gato
Potasio	mEq/L	5.0	4.4	5.3	Perro
		4.4	4.0	---	Gato
Proteína	g/dl	0.38	6.5	---	Perro
		0.15-0.55	7.8	---	Gato
Sodio	mEq/L	149.4	154.0	---	Perro
		158.5	163.6	---	Gato
Urea	mg/dl	Relación h. acuoso / plasma = 0.70		---	Perro
		Relación h. acuoso / plasma = 0.73		56.0	Gato

CAPÍTULO 11



Retina y nervio óptico

ANATOMÍA

RETINA

La túnica interna del globo ocular está formada por la retina, una delgada y delicada membrana transparente, principal estructura responsable de la visión.

La parte más externa de la retina limita con el complejo basal y la lámina coroidocapilar, su parte más interna, limita con el cuerpo vítreo. Junto con las otras estructuras asociadas, como el *tapetum lucidum*, los vasos retinales y el disco óptico, la retina forma lo que, de manera clínica, se denomina el fondo del ojo, mismo que puede ser visualizado por medio del oftalmoscopio.

La retina y el nervio óptico derivan del prosencéfalo al formarse la copa óptica durante el desarrollo embrionario. El tallo óptico, por medio del cual se mantiene unida la copa óptica con la parte anterior del encéfalo en formación, se convertirá en el nervio óptico, por lo que este último se puede considerar como un tracto del sistema nervioso central. Al derivarse de la misma estructura, la retina y el nervio óptico comparten características anatomofisiológicas similares a las de los tejidos del sistema nervioso central. Las meninges del cerebro se continúan, a lo largo del nervio óptico, al globo ocular como las vainas interna y externa del nervio. El nervio óptico, junto con el quiasma, las cintillas ópticas y el cuerpo geniculado conecta a la retina con la corteza visual del cerebro (34, 47, 53, 62, 70).

La copa óptica, formada durante la etapa embrionaria, es una estructura que presenta dos paredes. Ambas paredes, interna y externa, se unen para dar lugar a la retina. La pared externa de la copa dará origen al estrato pigmentado retinal que se adosa de manera directa a la coroides. La pared interna constituirá la parte nerviosa, o retina sensorial, donde se desarrollan los elementos neuronales de la retina: fotorreceptores, células ganglionares, células horizontales, células amacrinas, células gliales radiales y sus respectivas sinapsis.

Entre ambas paredes de la copa óptica existe un espacio virtual, el espacio intrarretinal embrionario. Este espacio potencial permanece en la vida adulta, ya que no hay uniones entre las células del estrato pigmentado con las de la retina sensorial. Cuando se llegan a presentar los desprendimientos de retina, éstos ocurren, de manera general, en este lugar, quedando sólo el estrato pigmentado adherido a la coroides (16, 19, 53, 64).

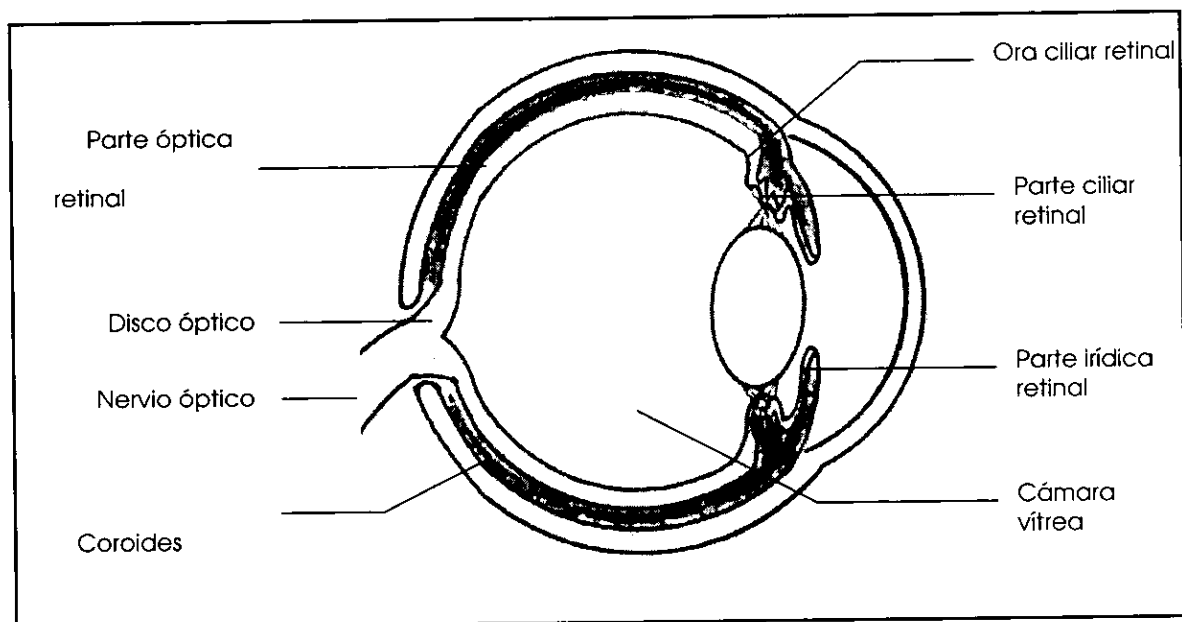


Figura 11-1. Localización y porciones de la retina.

La porción óptica de la retina es más gruesa cerca del disco óptico, pero disminuye hacia la periferia. La mayoría de los animales domésticos tienen una retina central con un grosor de cerca de 200 a 240 μm y una retina periférica de 100 a 120 μm (62, 70). Esta reducción hacia la periferia se debe a la disminución del número de células en los estratos nucleares interno y externo y en el estrato ganglionar (17).

Además de la porción sensorial y el estrato pigmentado, la retina se continua como una capa no fotosensible de células epiteliales relacionada con el cuerpo ciliar, de esta manera, la retina se puede dividir en tres partes (fig. 11-1):

- a) Parte irídica de la retina.
- b) Parte ciliar retinal
- c) Parte óptica retinal.

Sólo la parte óptica es fotosensitiva (retina visual), mientras que la parte irídica y la parte ciliar constituyen la retina no visual (parte ciega retinal), ya que no contiene elementos nerviosos (1, 16, 17, 19, 53).

Parte irídica de la retina.

La parte irídica de la retina es un epitelio bilaminar que cubre la superficie posterior del iris. El margen pupilar, de origen neuroectodermal, es el límite anterior.

Los músculos del iris se originan de la capa externa de la parte irídica de la retina. En la mayoría de los perros, la capa interna es un epitelio muy pigmentado que presenta estrías radiales prominentes (1, 17, 34, 53, 64).

Parte ciliar retinal.

La parte ciliar es la continuación de la parte irídica de la retina hacia el cuerpo ciliar desde el margen del iris. Es un epitelio cuboidal bilaminar que produce al humor acuoso. La capa externa presenta gran cantidad de pigmento, mientras que la capa interna carece de él. Entre los intersticios de las células de este epitelio, se origina las fibras zonulares que sustentan al lente (1, 17, 34, 53, 64).

Parte óptica retinal.

La parte óptica se localiza posterior a la ora ciliar retinal, que es el límite entre la retina visual y la no visual. Esta porción es de tres a cuatro veces más gruesa que la parte ciliar. La parte óptica de la retina es la responsable de la transducción de la energía luminosa a energía química y después a energía eléctrica, que es como se transmite a los centros visuales del cerebro a través del nervio óptico (19, 53, 62).

La parte óptica de la retina está dividida en 10 estratos que representan a varios componentes de 4 capas celulares principales: un epitelio y 3 capas de células neuronales (fig. 11-2). El epitelio representa el estrato más externo y las 3 capas de neuronas corresponden a los 9 estratos restantes, que son más internos, pertenecientes al estrato nervioso de la retina (53, 70, 62).

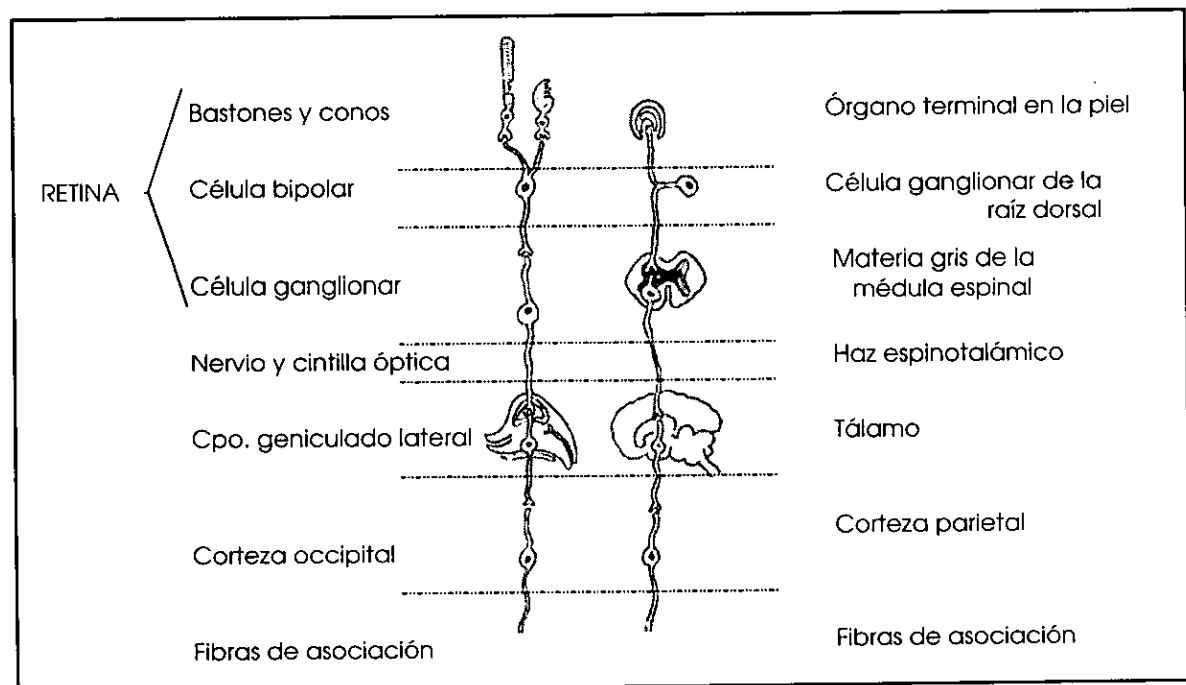


Figura 11-2. Comparación de la organización neuronal visual con la correspondiente al sistema sensitivo general. La retina se puede considerar como una unidad sensoria de tres neuronas (70).

Los 10 estratos que forman a la retina, de externa a interna, son los siguientes :

1. Estrato pigmentado.
2. Estrato neuroepitelial (fotosensorial).
3. Estrato limitante externo.
4. Estrato nuclear externo.
5. Estrato plexiforme externo.
6. Estrato nuclear interno.
7. Estrato plexiforme interno.
8. Estrato ganglionar.
9. Estrato neurofibroso.
10. Estrato limitante interno (1, 16, 34, 47, 53, 64, 70, 78)

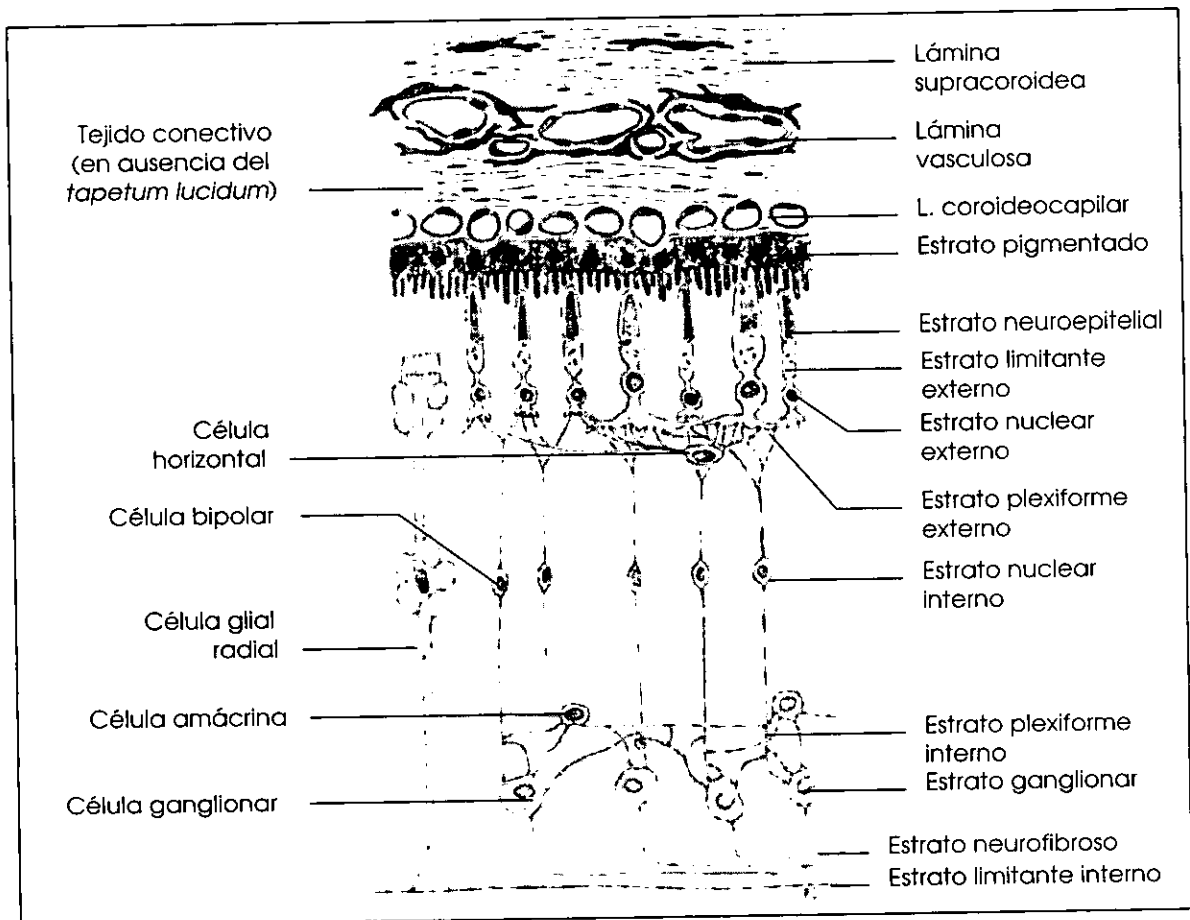


Figura 11-3. Dibujo de la organización de la retina y la coroides, mostrando los estratos de la retina y las células que se encuentran en éstos (33).

Como se ha mencionado, el primer estrato se origina de la capa externa de la copa óptica, mientras que el resto, se origina de la capa interna. Aunque el estrato pigmentado retinal, está adherido con firmeza al complejo basal, y por lo tanto a la coroides, los otros 9 estratos, aunque unidos uno al otro, no están adheridos de

manera firme al epitelio pigmentado. La retina sensorial sólo presenta fuertes uniones en la ora ciliar retinal y en el disco óptico, está última es la más fuerte. Es la presión del cuerpo vítreo la que mantiene en contacto a la retina sensorial con el epitelio pigmentado (34).

El estrato nuclear externo incluye neuronas aferentes de primer orden. El estrato nuclear interno y el estrato plexiforme externo contienen células bipolares, que son neuronas aferentes de segundo orden. Del estrato limitante interno al estrato plexiforme interno contienen neuronas aferentes de tercer orden cuyos axones llegan al centro óptico primario del cerebro (fig. 11-3) (78).

1. Estrato pigmentado.

El estrato pigmentado retinal es la continuación del epitelio pigmentado del cuerpo ciliar, formado por una lámina de células poligonales poco cuboides o planas, que constituye la capa más externa de la retina, adherida a la coroides. En el gato, la altura promedio de estas células es de entre 4 y 6 μm . Cada célula envía procesos citoplasmáticos apicales que rodean a las porciones más externas y más antiguas de los segmentos externos de los fotorreceptores aislándolos de la luz brillante, incrementando así su sensibilidad visual. Los procesos apicales son de dos tipos, uno, que es corto y en forma de dedo, cubre las puntas de los segmentos externos de los bastones fotorreceptores, el otro es más grande y toma la forma de un proceso laminar. Este cubre los segmentos externos de los conos, incluyendo a los de los conos más cortos (fig. 11-3) (1, 6, 43, 62, 70).

Los bordes celulares laterales de las células de este estrato, son lisos y sus regiones apicales presentan una serie de uniones estrechas (6).

A pesar de la relación que existe entre las células epiteliales del estrato pigmentado con los segmentos externos de los fotorreceptores, no existen uniones morfológicas especializadas que unan a estas células, la unión es sólo fisiológica, por lo que cualquier separación patológica puede ocasionar el desprendimiento de retina (53).

Las células de esta capa están pigmentadas de manera densa, excepto en la porción que se encuentra sobre el *tapetum lucidum* de la coroides. La presencia del pigmento produce un color tostado homogéneo en el área no tapetal cuando se observa por medio del oftalmoscopio (16, 34, 62, 63, 64, 70).

Las células del estrato pigmentado retinal son, por lo general, mononucleadas, pero cerca de la ora ciliar de la retina, son más grandes y se observan formas binucleadas (62).

El núcleo se localiza en el centro y es de forma redonda a oval, con su eje largo paralelo a la superficie retinal. El citoplasma presenta además, retículo endoplásmico liso, mitocondrias, con mayor concentración en los dos tercios basales de la célula y, en ocasiones, retículo endoplásmico liso. La porción no tapetal contiene abundantes gránulos de melanina, que tienen una forma elongada o lanceolada, en la porción media apical del citoplasma. Otros cuerpos que se encuentran en estas células son lisosomas, cuerpos laminares y residuales de lipofuscina, además de los fagosomas que contienen a los segmentos externos fagocitados de los fotorreceptores (6, 62).

Las membranas basales del estrato pigmentado retinal y de la lámina coroidocapilar se encuentran unidas, formando el complejo basal (membrana de Brunch) (62).

2. Estrato neuroepitelial (fotosensorial).

En el estrato neuroepitelial sólo contiene a los segmentos externos e internos de los fotorreceptores, los núcleos de estas células están en el estrato nuclear externo. Estos segmentos tienen forma cilíndrica o cónica y están agrupados lado a lado, paralelos a la luz que penetra desde la pupila, en un arreglo radial. Los segmentos externos reaccionan al estímulo luminoso e inician los mecanismos de la visión y los reflejos asociados con ésta (62).

Los segmentos externos de los conos y los bastones se componen de pilas de discos, que contienen a los pigmentos visuales, rodeados por la membrana celular (fig. 11-4). Los discos son, en realidad, esferas aplanadas, por lo que presentan dos membranas. El grosor de las pilas de los bastones es uniforme en toda su longitud y son más largas que las pilas que forman a los segmentos externos de los conos. Los segmentos externos de los bastones llegan a los cuerpos celulares del estrato pigmentado retinal, donde sus puntas están cubiertas por los procesos apicales cortos de estas células (6, 62, 70).

La región apical del segmento interno de los bastones contiene abundantes mitocondrias, aunque cerca del estrato limitante externo disminuye el número de éstas, y presenta abundante retículo endoplásmico rugoso, polisomas y aparato de Golgi. Tanto en los conos como en los bastones, se observan vacuolas autofágicas en esta región (6).

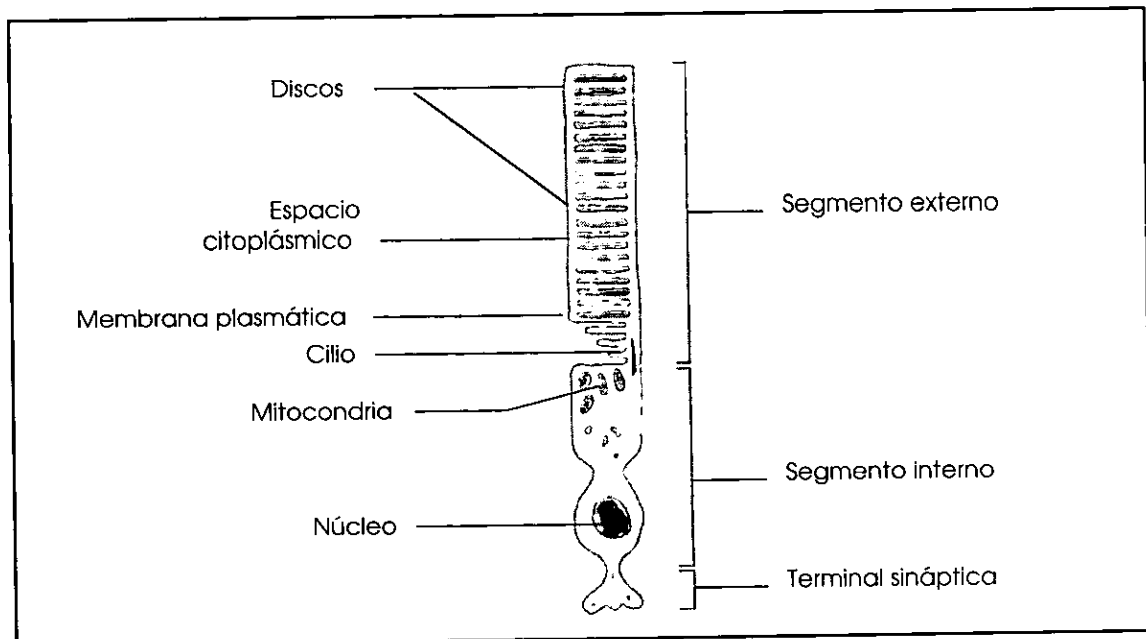


Figura 11-4. Dibujo esquemático del bastón retinal (13).

Los conos son más cortos y robustos que los bastones. Las pilas son más anchas en su terminación interna, lo que produce su forma característica (fig. 11-5) (6, 62, 70, 78).

Los segmentos internos de los conos miden de 5 a 6 μm de diámetro pero disminuyen a cerca de 2 μm donde comienza el segmento externo. Bajo el cilio conectante de los segmentos interno y externo, los conos contienen mitocondrias, además de retículo endoplásmico rugoso, numerosos polisomas y aparato de Golgi (5).

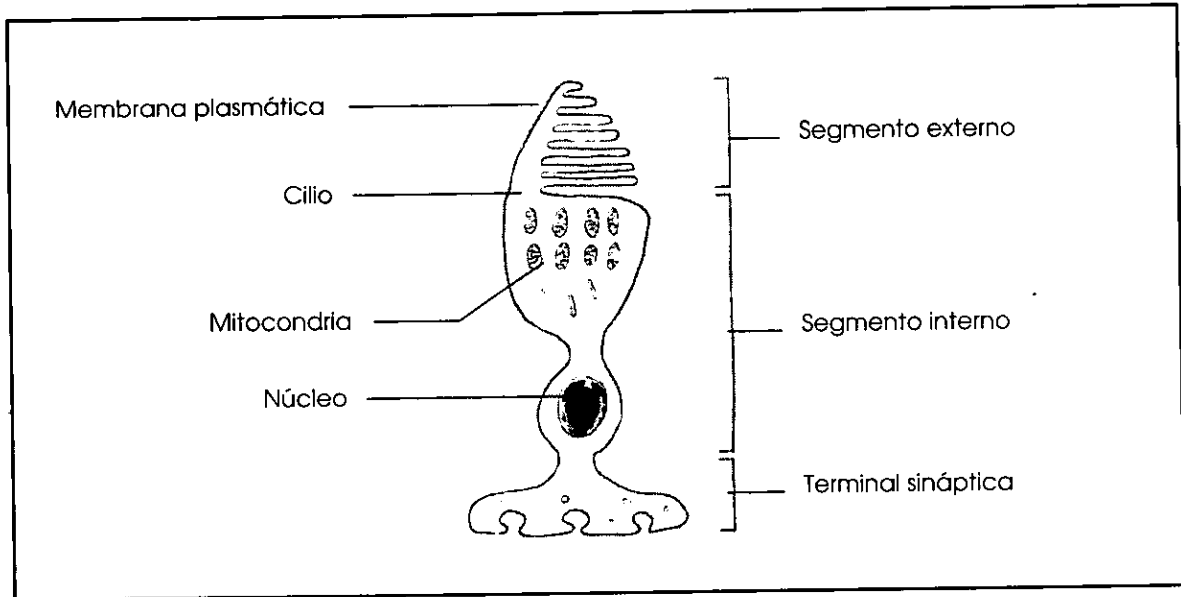


Figura 11-5. Dibujo esquemático del cono retinal (13).

Los segmentos externos de los fotorreceptores se conectan a los segmentos internos por un cilio, de 1 a 1.5 μm de diámetro cuyo cuerpo basal se encuentra en el segmento interno distal (6, 62).

Los segmentos internos de los conos y de los bastones están separados unos de otros, por medio de largas extensiones de las células gliales radiales. Estos procesos están involucrados en el intercambio de metabolitos con el epitelio pigmentado retinal y ayudan a proporcionar un medio ambiente homeostático para los segmentos externos (62).

3. Estrato limitante externo.

Los segmentos internos de las células fotorreceptoras están separados de los núcleos celulares por una membrana limitante muy delgada. Esta membrana se compone por una serie de uniones celulares, *zonulas adherens*, que fijan a los segmentos internos de los conos y bastones con las células gliales radiales, y a estas células, una con otra. Las células gliales radiales (células de Müller), el elemento más grande de la retina, se extienden desde el estrato limitante externo hasta el interno y son el esqueleto estructural de la retina. Sus procesos celulares pasan entre los segmentos externos de los bastones y los conos (6, 62, 70).

Se cree que la función del estrato limitante externo es, además de mantener unida a la retina externa, ya que los conos y bastones no están en contacto unos a otros de manera directa, la de formar una barrera entre los espacios del estrato fotosensorial y el resto de la retina visual (62, 70).

4. Estrato nuclear externo.

Los cuerpos celulares de los fotorreceptores se encuentran en este estrato. Los núcleos forman una serie de hileras, cuyo número varía con la especie y la localización en la retina. El perro y el gato tienen mayor cantidad de hileras en la retina central (de 12 a 15 y de 19 a 20, respectivamente), mientras que los ungulados poseen menos (5 en el caballo y el cerdo y 10 en la vaca). El estrato nuclear externo reduce su grosor y densidad de conos y bastones en forma gradual hacia la retina periférica (16, 62, 70).

Los núcleos de los bastones son redondos a ovales y con un patrón denso de heterocromatina. Estos núcleos se localizan en todos los niveles del estrato nuclear externo (6). Los núcleos de los conos, forman una hilera simple discontinua debajo del estrato limitante externo. El núcleo de los conos es más grande, oval y más vesicular que el núcleo de los bastones (6, 62, 70).

También se pueden observar en este estrato, fibras conectoras externas de los conos y los bastones, además de procesos de las células gliales radiales, que aíslan a las células fotorreceptoras unas de otras. Las fibras conectoras de los conos y los bastones son las continuaciones de los segmentos internos a su origen desde su respectivo núcleo. Los axones de los núcleos de los conos y bastones se extienden hacia el estrato plexiforme externo para sinapsarse con las células bipolares y horizontales (6, 47, 62, 70).

Tanto en el perro como en el gato, los bastones son más numerosos que los conos, comprendiendo cerca del 95% de los receptores totales. Los gatos presentan de 50 a 60 bastones por cada cono. La periferia de la retina contiene una mayor densidad de bastones, mientras que la densidad de conos es más alta en la retina central (6, 34, 53, 62, 63, 70). Sin embargo, aún en la mácula, la cantidad de bastones es mayor que la de conos con cerca de 350 000 bastones/mm² por 30 000 conos/mm². En el gato, se ha estimado que el 9% de los fotorreceptores en el área central son conos (62). Los bastones son elongados, y se proyectan a través del estrato limitante externo por 25 a 30 μ m, mientras que los conos sólo se proyectan de 10 a 15 μ m de este estrato (6).

A diferencia del humano, los perros y los gatos no presentan fovea, que son regiones libres de bastones. Sin embargo, existe una zona con una población de conos más densa llamada mácula. Ésta se localiza de 3 a 4 mm dorsolateral al nervio óptico en el perro y el gato. En esta zona los conos son más largos y delgados. Aquí, la visión es más definida y se posee una mayor capacidad de discriminación (6, 34, 53, 62, 63, 64). El número de conos presenta un incremento en esta área, además de las células ganglionares, que llegan a exceder de 7000 células por mm² (53). En el gato, los conos en la mácula son de seis a siete veces más numerosos que en la periferia (26,000 a 27,000/mm² contra 4000/mm²). Por comparación, los bastones del gato son casi similares en densidad entre la retina periférica (250,000/mm²) y el área central

(275,000/mm²). Sin embargo, la densidad de los bastones se acerca al doble (460,000/mm²) a lo largo de la zona que rodea a la mácula (62).

Los vasos sanguíneos retinales mayores no atraviesan la mácula, formando una curva dorsal y ventral a ésta. La mácula no está bien definida al observarse por medio del oftalmoscopio (53).

5. Estrato plexiforme externo.

El estrato plexiforme externo está formado por las terminales sinápticas de los axones de los conos y de los bastones, éstas se conectan con las dendritas de las células bipolares y de las horizontales (1, 16, 62, 70). Los axones de los bastones, terminan en unas estructuras en forma de pera, llamadas esférulas, que son la terminación sináptica del bastón. La esférula se expande y presenta de 2 a 3 bandas sinápticas, así como sinapsis convencionales. Los axones de los conos, terminan en pedículos sinápticos anchos y grandes, que tienen de 8 a 10 bandas sinápticas, así como numerosos sitios sinápticos convencionales. Los pedículos de los conos se extienden hacia el vítreo dentro del estrato plexiforme externo (6, 62).

Las bandas sinápticas son estructuras laminares densas que se orientan perpendiculares y cercanas a las invaginaciones citoplasmáticas de las expansiones sinápticas, están formadas por un borde de vesículas sinápticas. En la invaginación de la expansión sináptica hay dos procesos de células horizontales insertados de forma profunda hacia lateral y, uno o más procesos de células bipolares hacia el centro.

Un segundo tipo de sinapsis, que se presenta en este estrato, es plano y solo se distingue por la densificación de las membranas. Estos procesos están entre las dendritas bipolares planas y los pedículos de los conos, que son los axones receptores. Los procesos de las células horizontales pueden tener contactos sinápticos convencionales entre los procesos de las células bipolares. A través de la longitud de los procesos de células horizontales puede haber sitios postsinápticos y presinápticos. En el gato, las dendritas de células horizontales sinapsan sólo con los conos, y las terminales axonales conectan sólo a los bastones (62).

6. Estrato nuclear interno.

El cuerpo de las células horizontales, células bipolares, células amacrinas y células gliales radiales, forman este estrato. Estas neuronas mantienen conexiones entre el estrato de células ganglionares y el estrato neuroepitelial (1, 16, 62, 70).

Los núcleos de las células horizontales se colocan en el margen más externo de este estrato. Estas células se caracterizan por poseer unos anchos procesos orientados de forma horizontal, y presenta ramificaciones que se extienden al estrato plexiforme externo.

Los núcleos de las células amacrinas se encuentran en el margen más interno. Estas neuronas no presentan un axón identificable como tal, y presentan procesos que llegan al estrato. Su citoplasma está cargado con polisomas, retículo endoplásmico rugoso, mitocondrias, túbulos y neurofilamentos. Se categorizan con base en la distribución de sus procesos axonales en dos tipos mayores: difusas y estratificadas. Las células amacrinas difusas se dividen con base en su extensión axonal en los tipos de extensión angosta y extensión amplia. En forma colectiva, las

células amacrinas proveen integración horizontal en la capa plexiforme interna entre las terminales de las células bipolares, las dendritas de las células ganglionares y otras células amacrinas (47, 62).

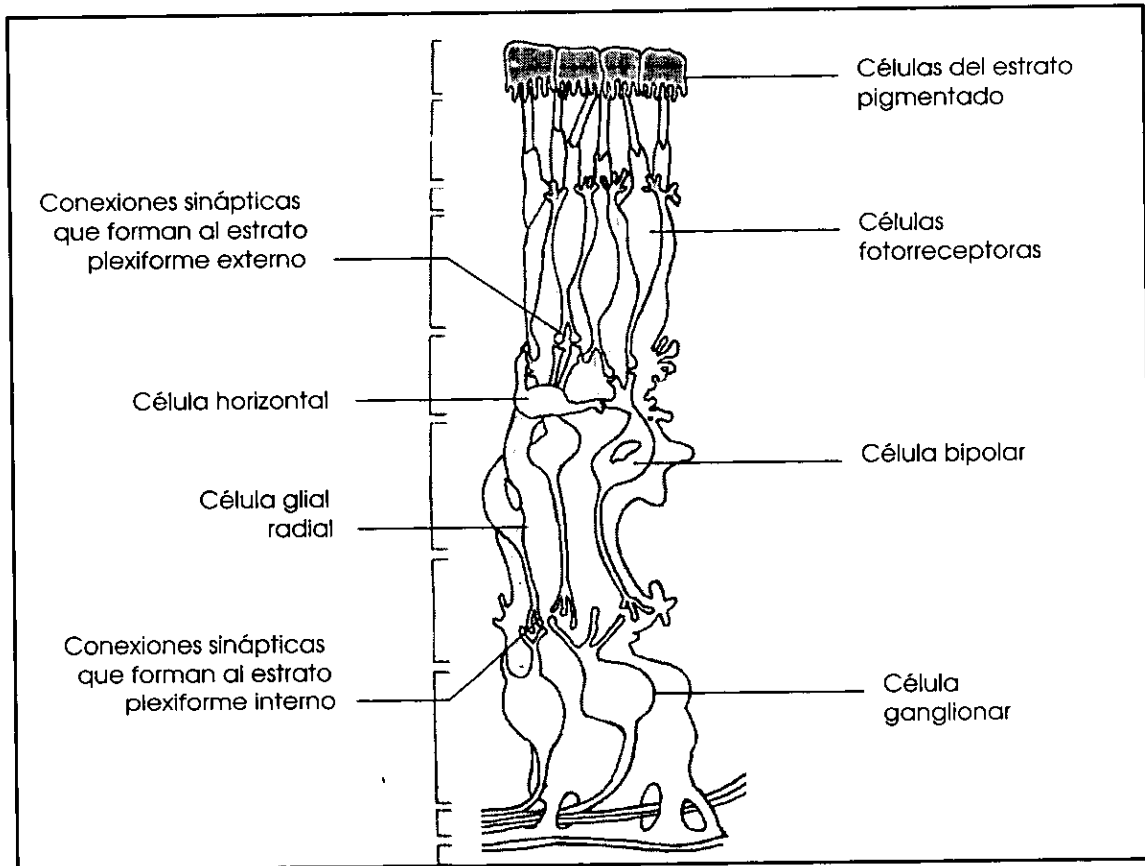


Figura 11-6. Células que intervienen en la formación de la retina. Las células gliales radiales abarcan casi todos los estratos retinales (1).

Los núcleos de las células bipolares y de las células gliales radiales componen la zona intermedia del estrato nuclear interno. Las células bipolares, que constituyen la conexión entre los fotorreceptores y las células ganglionares, son la segunda célula más numerosa de la retina. Las células bipolares están orientadas de manera radial, sus procesos dendríticos sinapsan con los fotorreceptores y las células horizontales en el estrato plexiforme externo, y sus procesos axonales, que terminan en el estrato plexiforme interno, sinapsan con las células amacrinas y las células ganglionares. Las esférulas de los bastones sinapsan con las células bipolares. Células bipolares planas sinapsan con varios conos, y células bipolares diminutas, que pueden ser invaginadas o planas, sinapsan con conos de manera individual. Todas las células bipolares de los conos, pueden sinapsar con células ganglionares y células amacrinas tipo I en la capa plexiforme interna. El citoplasma de sus axones puede ser identificado por sus microtúbulos, y sus núcleos son un poco más pequeños que los de las células horizontales (62).

Las células gliales radiales tienen más citoplasma y están en la porción externa del estrato. Hay células ramificadas elongadas que se extienden del estrato limitante interno a más allá del estrato limitante externo. Las fibras de las células gliales radiales llenan casi todo el espacio extracelular entre las células neurales (fig. 11-6). Sus núcleos son angulares y con una cromatina más densa que la de los otros núcleos en el estrato nuclear interno. Presenta numerosos filamentos, sobre todo, cerca del estrato limitante interno, y tienen un retículo endoplásmico liso bien desarrollado (47, 62).

7. Estrato plexiforme interno.

Este estrato se compone por los procesos celulares de los estratos nuclear interno y de células ganglionares donde se presentan las sinapsis entre las células ganglionares, bipolares y amacrinas. Es más grueso que el estrato plexiforme externo (16, 62, 70).

Las células bipolares presentan bandas sinápticas con dos elementos postsinápticos, por lo que terminan en par. Los elementos postsinápticos de cada par consisten de una dendrita de célula ganglionar y un proceso amacrino, o dos procesos celulares amacrinos. Los pares predominantes varían con las especies, en el gato, las terminales bipolares de los bastones sinapsan solo con dos tipos de células amacrinas. Las células bipolares de los conos sinapsan en forma directa sobre una dendrita de célula ganglionar y un proceso celular amacrino. Las células amacrinas asociadas con células bipolares de los bastones actúan como neuronas internunciales, conectándose con las células ganglionares.

También se encuentran abundantes sinapsis convencionales en las células amacrinas. Estas sinapsis involucran dendritas terminales bipolares de células ganglionares y otras células amacrinas. Algunas de estas actúan como sinapsis recíprocas regresando a una terminal bipolar después de participar en una sinapsis pareada. Además, se observan sinapsis seriales entre dos o más procesos de células amacrinas adyacentes.

Los axones bipolares contienen numerosas vesículas sinápticas y mitocondrias, y son las únicas estructuras que contienen las bandas sinápticas. Las dendritas de células ganglionares son los únicos procesos en el estrato plexiforme sin vesículas sinápticas. Presentan retículo endoplásmico liso y rugoso, pequeñas mitocondrias y microtúbulos. Los procesos amacrinos, que poseen grandes mitocondrias y vesículas sinápticas, son más numerosos a causa de la extensiva arborización de sus axones (62).

De manera funcional, el estrato plexiforme externo está organizado para acentuar los aspectos estáticos o espaciales, aumentando el contraste en la imagen retinal. El estrato plexiforme interno parece intervenir con las actividades dinámicas o temporales incrementando las respuestas de movimiento y dirección (62, 70).

8. Estrato celular ganglionar.

Este estrato contiene a las células ganglionares, células neurogliales y vasos sanguíneos retinales. Es una capa simple de células esparcidas, excepto en el área central, donde puede tener un grosor de dos a tres células (62, 70).

En el gato se han descrito tres formas de células ganglionares en la retina, basándose en las extensiones dendríticas, alfa, beta y gama. Estas formas corresponden a tres tipos fisiológicos, W, X y Y.

- a) Células alfa (Y). Tienen ramificaciones dendríticas esparcidas y un gran pericarión. No son muy numerosas pero se cargan más en la retina periférica.
- b) Células beta (X). Son más pequeñas, tienen más ramificaciones y son más numerosas. Están más concentradas en el centro que en la periferia.
- c) Células gama (W). Su pericarión es pequeño y tienen pocas dendritas. Son numerosas y se concentran más en la retina central (62, 64).

Las células ganglionares más pequeñas se conectan con células bipolares reducidas, que solo sinapsan con los conos. Estas células ganglionares están involucradas en la visión de alta resolución. Las células alfa grandes por otro lado, son importantes en la visión periférica (escotópica).

Los tres tipos de células ganglionares contienen abundante citoplasma, caracterizado por la presencia de retículo endoplásmico rugoso y ribosomas esparcidos, retículo endoplásmico liso, cuerpos densos en el límite de la membrana y mitocondrias (62).

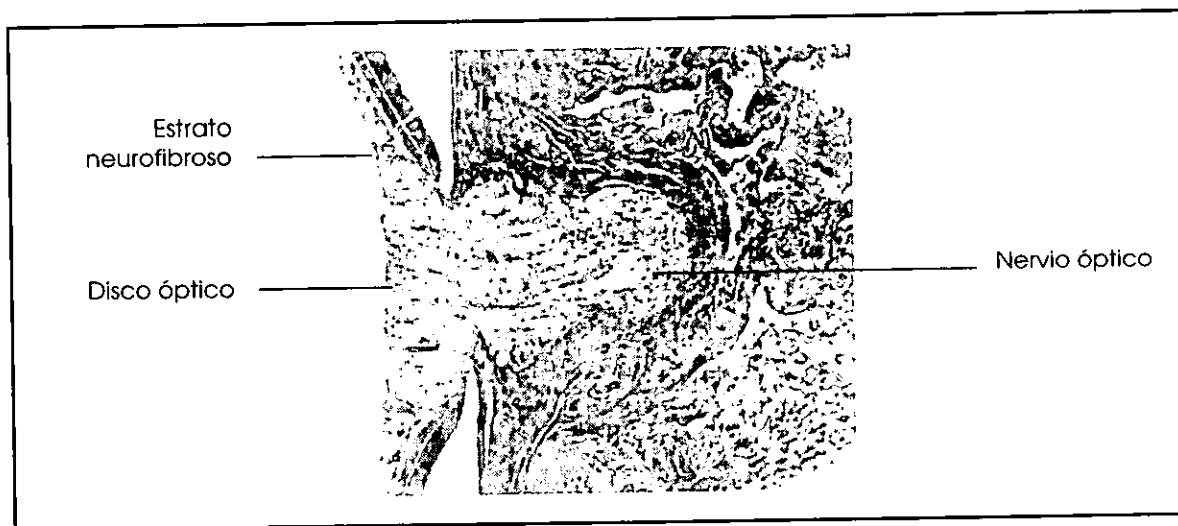


Figura 11-7. Fotografía microscópica del disco óptico (1).

9. Estrato neurofibroso.

En este estrato se encuentran los axones de las células ganglionares, donde se dirigen en ángulos rectos hacia el polo posterior para formar el nervio óptico (fig. 11-7). Las fibras carecen de las vainas de mielina para mantener la transparencia de la retina. También están presentes algunas células neurogliales y las puntas internas de las células gliales radiales. Los grandes vasos retinales se encuentran en este estrato, así como en los estratos de células ganglionares y el plexiforme interno (62, 70).

El estrato neurofibroso aumenta su grosor conforme se aproxima al disco óptico. Los axones pasan de manera radial hacia éste, excepto en el área central, donde la concentración de axones de esta región causa que los más periféricos formen un arco alrededor del área para llegar al disco óptico.

Las neuronas de este estrato son fibras centripetas (aférentes) que conducen los impulsos desde la retina hasta el cerebro. Los axones son de varios tamaños, los grandes se originan en las células ganglionares grandes como las células alfa (62).

También se observan células gliales y astrocitos. Los astrocitos tienen procesos ramificados largos. Su función es la de soporte estructural y quizá nutricional, alrededor de los vasos sanguíneos y los axones nerviosos (47, 62).

En el disco óptico, los axones se recubren de mielina, y pasan a través del área cribosa de la esclera formando el nervio óptico. El disco óptico se localiza ventrolateral al polo posterior del globo ocular y mide de 1 a 2 mm de diámetro. Su forma puede variar, en los perros es de redondo a oval, o triangular a cuadrangular, con un color rosado a blanco, aunque puede contener pigmento (17, 43, 53). En los gatos, la mayoría de las veces es pequeño y redondo con un color gris a beige. En ambas especies, un anillo de pigmentación o hiperreflectividad puede rodear al disco. El disco óptico puede tener una apariencia grande o rasgada, ya que la mielina puede extenderse a lo largo de las fibras nerviosas hacia la retina en una distancia variable (17, 53, 64, 77). En el centro del disco óptico existe, por lo general, una depresión central llamada excavación del disco, aunque en algunos perros el disco está al nivel de la retina que lo rodea o un poco elevada sobre ésta (53). En el gato, el disco se encuentra dentro de la base del *tapetum* mientras que en el perro, descansa sobre y en algunas ocasiones bajo la base de éste (74). Por la ausencia de fotorreceptores sobre el disco óptico, éste representa un punto ciego en el ojo (19, 53, 63).

10. Estrato limitante interno.

Este estrato es una membrana basal formada por las terminaciones interiores, o vitreales, fusionadas de las células gliales radiales. Los procesos de las células gliales radiales, orientados de forma vertical, surgen y terminan con los procesos adyacentes (62, 70).

Resumen de las estructuras retinales (70).

Capa	Constituyente
1. Estrato pigmentado.	Células epiteliales pigmentadas.
2. Estrato neuroepitelial (fotosensorial).	Segmentos internos y externos de los fotorreceptores, procesos de las células gliales radiales.
3. Estrato limitante externo.	Uniones terminales que articulan a los conos, los bastones y las células gliales radiales.
4. Estrato nuclear externo.	Fibras conectoras, núcleos y axones de los bastones y los conos.
5. Estrato plexiforme externo.	Axones de los bastones, conos y células horizontales.

6. Estrato nuclear interno.	Núcleos de células bipolares, gliales radiales, horizontales y amacrinas.
7. Estrato plexiforme interno.	Axones celulares bipolares y amacrinos.
8. Estrato celular ganglionar.	Cuerpos de células ganglionares y sus dendritas.
9. Estrato neurofibroso.	Axones de células ganglionares.
10. Estrato limitante interno.	Membrana basal y procesos podales de las células gliales radiales.

Vasculatura retinal.

Las retinas de los animales se clasifican de acuerdo a la organización de los vasos sanguíneos que las nutren, dividiéndose en cuatro tipos :

1. Holangióticas. Éstas presentan un patrón vascular donde toda la retina sensorial recibe un riego sanguíneo directo, ya sea desde una arteria central o desde las arterias cilioretinales, que emergen como tronco individual o como varias ramas desde o alrededor del disco óptico. Los primates, el ratón, la rata, la cabra, la vaca, la oveja, el perro y el gato poseen este patrón.
2. Merangióticas. Aquí los vasos sanguíneos se encuentran en una región de la retina. Se presenta en los lagomorfos.
3. Paurangióticas. Los vasos sanguíneos son cortos y se extienden a poca distancia desde el disco óptico. Algunos ungulados, como el caballo, presentan este tipo de vasculatura retinal.
4. Anangióticas. Se caracteriza por la ausencia de vasculatura en la retina sensorial. Se presenta en muchas especies no mamíferas como las aves y en algunos mamíferos como las monotremas, marsupiales y murciélagos (1, 62, 66, 70).

En general, las arterias retinales de la mayoría de los mamíferos domésticos, se originan en las arterias ciliares posteriores cortas, donde estas últimas penetran a la esclera en la periferia del área cribosa. Las arterias retinales pasan hacia el globo ocular cerca de la superficie del nervio óptico. Las arterias ciliares posteriores cortas terminan en las arterias cilioretinales (8, 34, 53, 62, 63).

Al contrario de lo que ocurre en los primates no humanos y el humano, en los cuales las arterias ciliares reciben sangre de la arteria oftálmica interna, los perros y los gatos la reciben de la arteria oftálmica externa (8).

Las capas externas de la retina están irrigadas por los vasos de la coroides, mientras que los estratos internos reciben a los vasos retinianos y su plexo capilar asociado (53, 70).

Aunque la retina holangiótica contiene vasos sanguíneos en su mayor parte, existen tres áreas retinales que permanecen sin vasculatura :

- a) Zonas libres de capilares, con 10 μm de ancho, rodeando a las arteriolas y vénulas mayores.
- b) La parte más anterior de la retina, que comprende a las partes ciliar e iridial, y al segmento anterior de la parte óptica de la retina.

c) Las capas externas de la retina, es decir, desde el estrato plexiforme externo hacia el exterior, incluyendo el estrato pigmentado (66).

En el gato, las arterias ciliares posteriores largas envían ramas al nervio óptico laminar y forman un anillo vascular. Desde este plexo anular emergen ramas para la retina y coroides que perforan la esclera adyacente al nervio óptico. Ninguna de las arterias ciliares posteriores cortas individuales rodean la entrada del nervio óptico, así como tampoco se encuentra una arteria central (8). Ya en la retina, se pueden observar en el fondo del ojo, tres pares mayores de arterias y venas ciliarretinales que se originan alrededor de la periferia del disco óptico que está libre de vasos sanguíneos. En muy pocos gatos, una arteria vestigial central puede dar origen a uno o más de los vasos mayores desde el centro del disco óptico. Un par se dirige hacia mediodorsal (que se curva hacia lateral), otro par hacia medioventral y el otro hacia lateroventral (fig. 11-8) (62, 64). El drenaje venoso del ojo del gato, se dirige hacia las venas vorticosas, el plexo intraescleral y un plexo de vasos que rodean al nervio óptico (8).

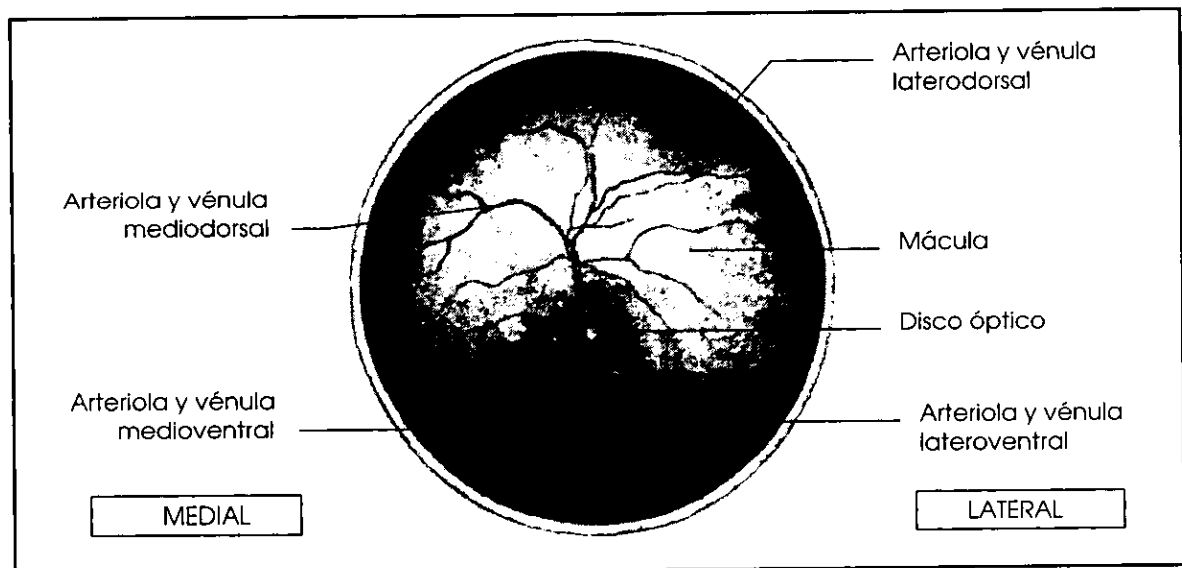


Figura 11-8. Fondo de ojo del gato (17).

En el perro, las arterias ciliares posteriores cortas forman un montaje de pilares rodeando el nervio óptico laminar (8). Estas arterias se ramifican para formar las arteriolas coroidales y retinales. En el fondo del ojo, se pueden observar de 15 a 20 arteriolas ciliarretinales que radian desde el disco óptico (34, 53, 62). Las arterias ciliares posteriores del perro sustentan a los capilares de la retina y nervio óptico y del sistema capilar coroidal no comunicante (8). Al igual que el gato, el perro no presenta una arteria central (8, 34, 62). La mayoría de los perros presentan de tres a cuatro, y en ocasiones 5, venas retinales primarias (34, 53, 62). Las venas laterodorsal, medioventral y lateroventral son constantes en todos los perros, una cuarta, que corre lateroventral, se encuentra en el 80% de los perros (fig. 11-9). Las venas retinales forman varias

anastomosis sobre, o debajo, del disco óptico formando un círculo completo, o una porción de éste (44, 53, 62, 63). Las venas del fondo del ojo son menos tortuosas que las arterias (17). Parece que el drenaje venoso se dirige hacia anterior llegando a las venas vorticosas del perro (8).

Las venas se pueden reconocer vistas al oftalmoscopio, ya que tienen de 2 a 4 veces el diámetro de las arteriolas y con un color rojo más oscuro. Se proyectan un poco de la superficie retinal e indentan el cuerpo vítreo (53). Se pueden observar pulsaciones de las venas, los cuales se relacionan con los cambios de presión en el ojo, causados por el movimiento de éstos u otra presión aplicada del exterior (34).

Los grandes vasos de las retinas holangióticas están dentro de los estratos neurofibroso, de células ganglionares y plexiforme interno. Sin embargo, la mayoría de los capilares se encuentran dentro del estrato nuclear interno y con poca extensión dentro de los estratos de células ganglionares y neurofibroso (62).

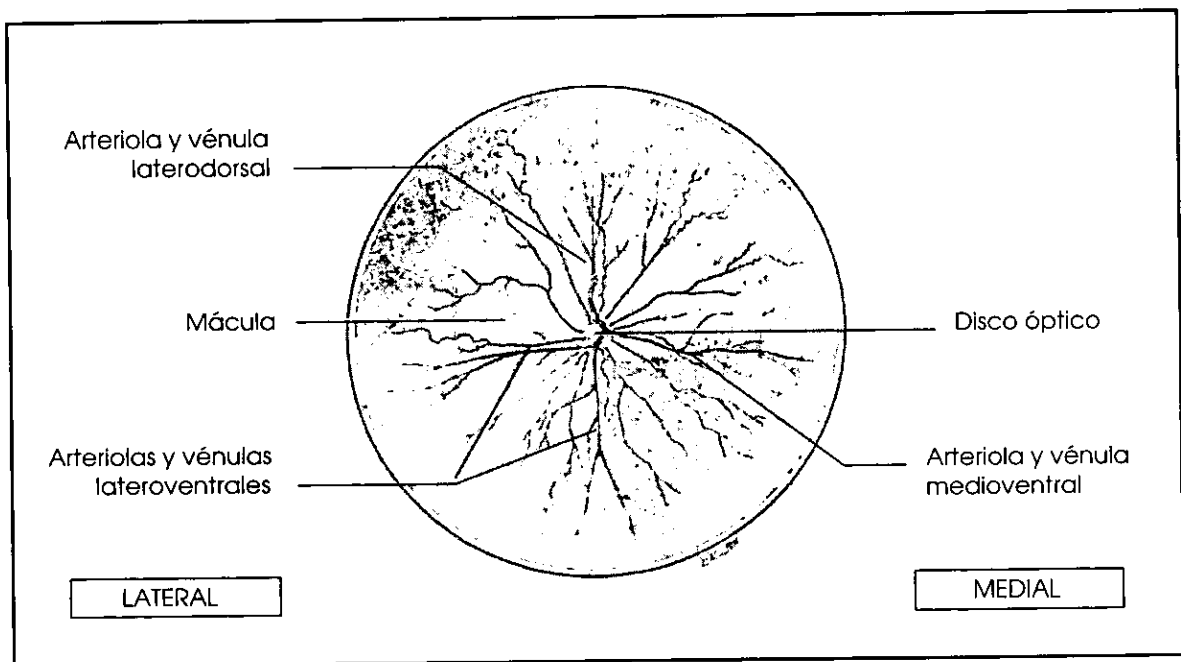


Figura 11-9. Fondo de ojo de perro (53).

Los vasos de la retina del perro y del gato, forman un arco alrededor de la mácula, permitiendo localizar de manera clínica una zona libre de ellos, pero con una red de capilares (53, 62).

Los capilares se encuentran formando redes intercomunicantes en un estrato superficial (neurofibroso) y un estrato profundo (nuclear interno) (34, 62).

NERVIO ÓPTICO.

El nervio óptico está formado por los axones de las células ganglionares, las células gliales y el septo que se origina a partir de la piamadre. La mayoría de las fibras son de la visión, algunas son fibras pupilomotoras y otras transmiten respuestas musculares generales a la luz (64). Los axones visuales sinapsan en el cuerpo geniculado lateral y el colículo rostral, mientras que las fibras pupilomotoras sinapsan en el área pretectal, en el núcleo parasimpático del par craneal III (62, 74). El gato presenta cerca de 193 000 axones en el nervio óptico, mientras que el perro tienen cerca de 150 000 axones (53, 64).

En el nervio óptico de los humanos y de los gatos, se han identificado fibras centrifugas, así como axones celulares ganglionares centripetos. Es probable que las fibras centrifugas también se presenten en el perro. Su función no se comprende en su totalidad (53).

Más que un nervio periférico, el nervio óptico se considera como un tracto de fibras nerviosas del cerebro, ya que tiene propiedades anatómicas similares, como la presencia de las meninges que lo cubren, lo que lo diferencia de los otros nervios craneales. El nervio óptico se extiende desde el globo al quiasma óptico y se divide en tres porciones (fig.11-10):

1. Segmento intraocular. Se subdivide en las porciones retinal, coroidal y escleral. El disco óptico incluye a las porciones retinal y coroidal.
 - a) Porción retinal. Está formada por las fibras nerviosas de la retina que se agrupan en fascículos o haces, los cuales están limitados por elementos gliales, astrocitos fibrosos, y colágeno. Los astrocitos se orientan perpendiculares a la longitud de los haces, separando a las fibras nerviosas de todos los componentes no neuronales, como fibras extracelulares de tejido conectivo, vasos sanguíneos y microglia.
 - b) Porción coroidal. Los astrocitos y tejido conectivo laxo asociado forman capilares sustentados por trabéculas que proveen soporte a los haces que giran 90° hacia el canal escleral desde el estrato neurofibroso.
 - c) Porción escleral. Aquí se presentan extensiones meridionales de la esclera. Estas extensiones consisten de vainas laminares sucesivas con perforaciones alineadas en forma radial. Cada lámina posee un capilar en el centro. La lámina cribosa del perro y el gato está bien desarrollada, presentando prominentes láminas colagenosas.
2. Segmento orbital. Inicia desde la parte posterior de la lámina cribosa y, como su nombre lo indica, está dentro de la órbita del ojo. Es una porción larga y que presenta una leve flexura. Su longitud es necesaria para permitir el movimiento normal del ojo sin ocasionar tensión del nervio en cada movimiento, además de proteger al nervio cuando se presenta una proptosis significativa.
3. Segmento intracraneal. Inicia en el foramen óptico, terminando en el quiasma donde se unen los nervios ópticos de ambos ojos (53, 62, 63, 64, 70, 74).

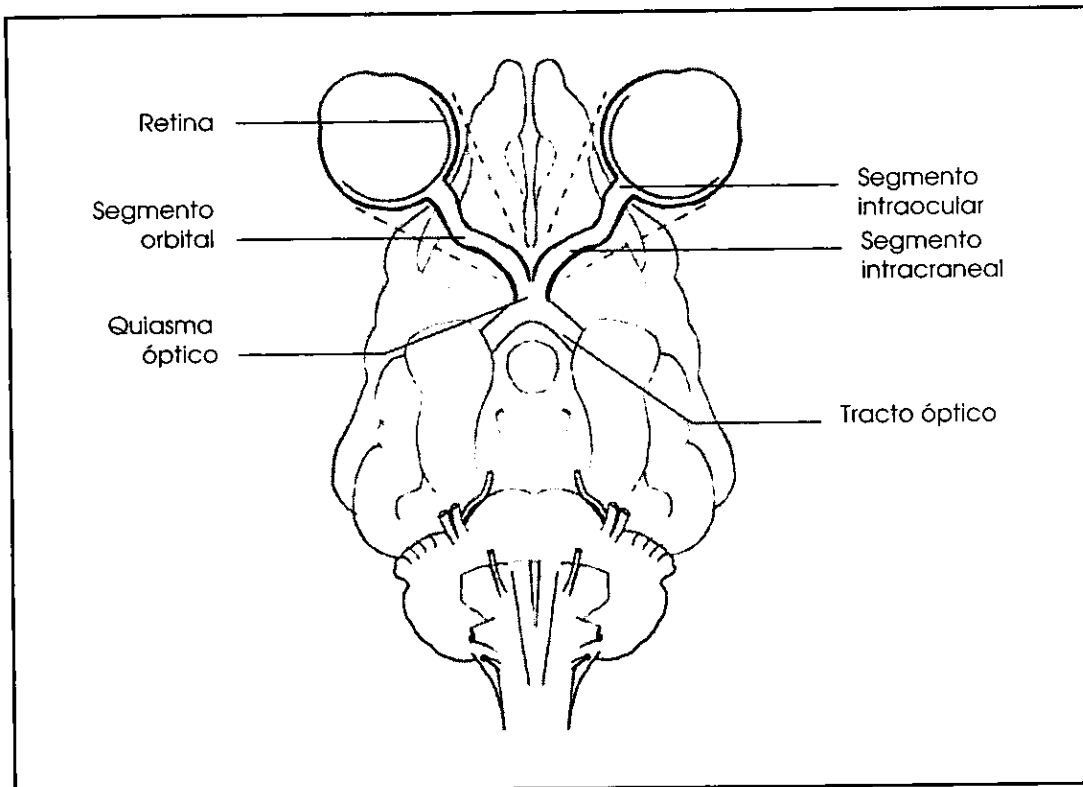


Figura 11-10. Porciones del nervio óptico.

La depresión dentro del disco óptico, excavación del disco, está limitada por una placa de células gliales que actúan como tejido de soporte central. Una exageración de este tejido permanece como el remanente de la arteria hialoidea.

Los axones dentro del nervio óptico se pueden distinguir con facilidad por sus procesos tubulares que contienen neurofilamentos dispersos y neurotúbulos y vesículas y mitocondrias ocasionales. En el perro los axones están mielinizados por oligodendrocitos a través de todo el nervio óptico, incluyendo el disco óptico (62).

La porción orbital del nervio óptico está cubierta por las vainas meningeas del sistema nervioso central. La más externa y gruesa es la vaina externa del nervio óptico, que se fusiona con la esclera hacia anterior. Hacia posterior, en el foramen óptico, se divide en dos capas. La más externa se refleja sobre el periosteó orbital y la interna se continúa con la dura madre de la bóveda craneal. Las fibras colagenosas de la duramadre corren de forma longitudinal sobre la superficie externa y corren de manera circunferencial en la interna. El principal tipo de célula es el fibroblasto. La vaina interna del nervio óptico se continúa con la pía madre del cerebro y esta adosada al nervio, radiando septos hacia su interior, dividiéndolo en columnas (fig. 11-11).

El espacio entre ambas vainas se continúa con el espacio subaracnoideo y contiene fluido cerebroespinal (53, 62).

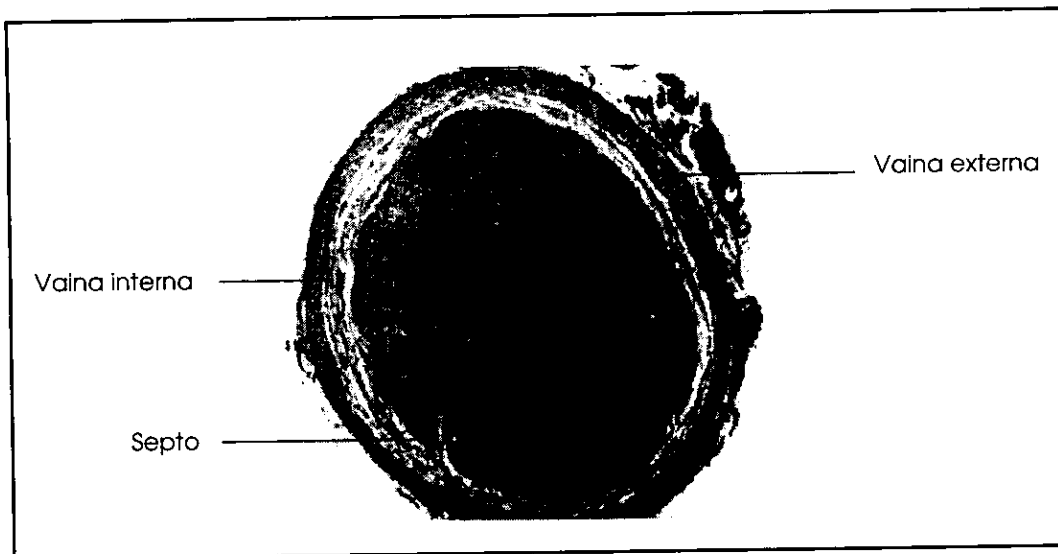


Figura 11-11. Fotografía microscópica de un corte transversal del nervio óptico en su segmento orbital (70).

Posterior a la lámina cribosa, el nervio óptico recibe nutrición de los vasos sanguíneos piales longitudinales. Los vasos ciliares se encuentran en la superficie de la vaina externa del nervio óptico. Radículos de los vasos ciliares y oftálmicos internos aportan nutrición sanguínea a la porción orbital de nervio óptico (8, 53, 62).

Dentro del quiasma óptico, se presenta una decusación de cerca del 65% de las fibras en el gato, y de 75% en el perro. Los axones del nervio óptico de la región nasal de la retina cruzan al lado opuesto y los de la región temporal de la retina, permanecen sin cruzar, entrando así al tracto óptico (53, 64).

FISIOLOGÍA.

La retina es un complejo neurointegrador que transforma la energía luminosa en energía eléctrica para hacerla llegar a la corteza visual del cerebro. Recibe casi toda su nutrición de los capilares retinales y coroidales, pero es probable que una pequeña cantidad se derive del vítreo. La retina tiene una de las más altas tasas de metabolismo entre todos los tejidos del organismo. Si cualquier fuente de nutrición es interrumpida, la isquemia resultante puede ocasionar la pérdida completa de su función (33).

La transmisión del impulso nervioso inicia en los fotorreceptores, conos y bastones, una vez que han recibido el estímulo luminoso. Ambos fotorreceptores establecen una conexión sináptica directa con las células bipolares e interneuronas, las cuales se conectan con las células ganglionares. Los axones de estas últimas, transmiten los potenciales de acción que van al cerebro a través del nervio óptico.

Existen dos tipos de células interneuronales que modifican el flujo de información a nivel de las sinapsis entre los fotorreceptores con las células bipolares y las células ganglionares: las células horizontales y las células amacrinas. Las células horizontales son mediadoras de las interacciones laterales entre los fotorreceptores y las células bipolares. Las células amacrinas son median de las interacciones laterales entre las células bipolares y las células ganglionares (fig. 11-12) (13, 33, 62, 70, 78).

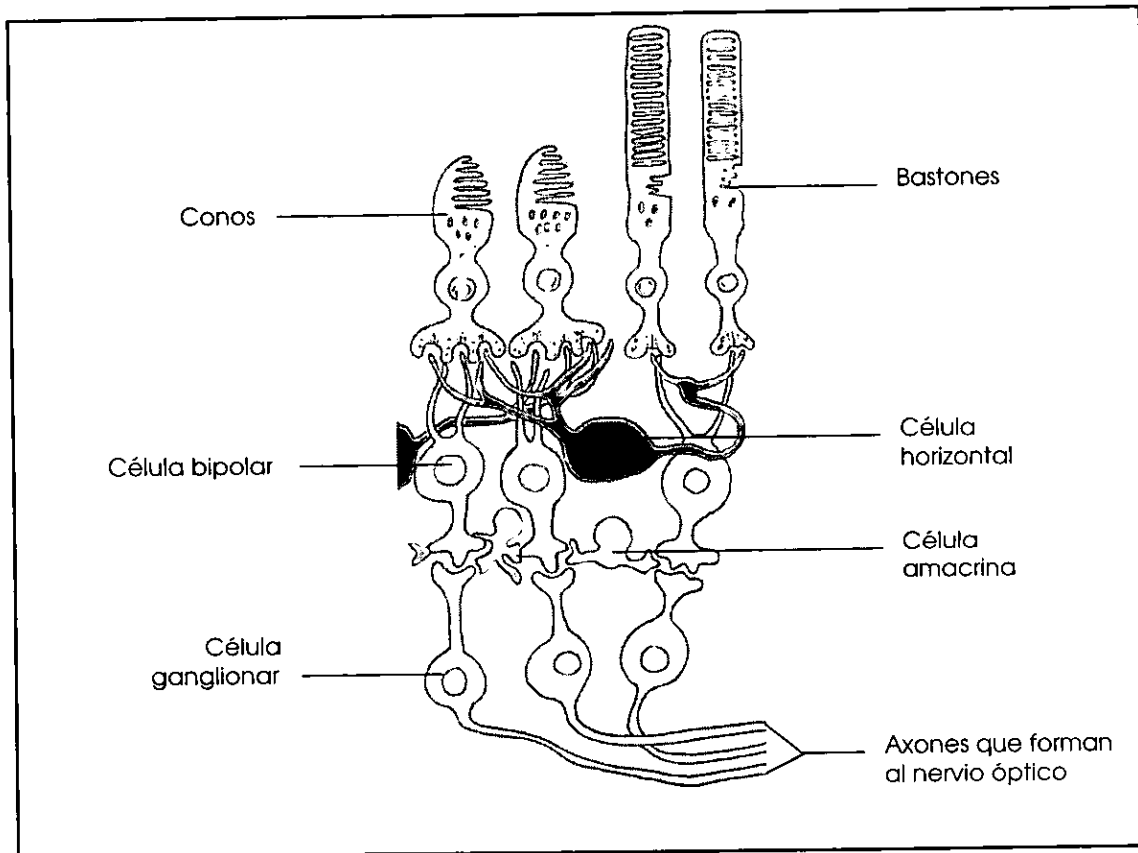


Figura 11-12. Interacciones entre las células neuronales de la retina. En el esquema no se muestran las células gliales radiales (13).

Fotorreceptores.

Las neuronas receptoras de la retina (fotorreceptores) son los conos y los bastones y son activados al recibir energía luminosa.

Los bastones son mucho más sensibles que los conos y actúan con poca iluminación (visión escotópica), lo que los capacita para la visión nocturna, aunque su agudeza visual (nitidez) es reducida, ya que su poder de resolución es bajo (33, 70). La luz brillante constante inactiva a los bastones (33, 34, 78).

Los conos se pueden adaptar de manera rápida a los estímulos repetidos, pero son menos sensibles a la luz, por lo que sólo actúan con elevados niveles de iluminación (visión fotópica). Los conos son capaces de una mayor discriminación visual que los bastones, proporcionando una alta agudeza visual, y en algunas especies contienen pigmentos para la visión del color (10, 24, 33, 34, 70).

Parte de la diferencia en la sensibilidad entre los conos y los bastones se explica por la convergencia que existe entre algunos fotorreceptores con las células ganglionares. Varios bastones, de un área particular, pueden conectarse sobre una sola célula bipolar aislada, y varias células bipolares sobre una célula ganglionar (fig. 11-13). Estas conexiones dan lugar a la amplificación, pero a expensas de la discriminación fina. Cualquier haz de luz tenue que llegue a la retina, tiene la probabilidad de encontrar por lo menos unos cuantos de estos segmentos externos de los bastones y desencadenar la respuesta visual.

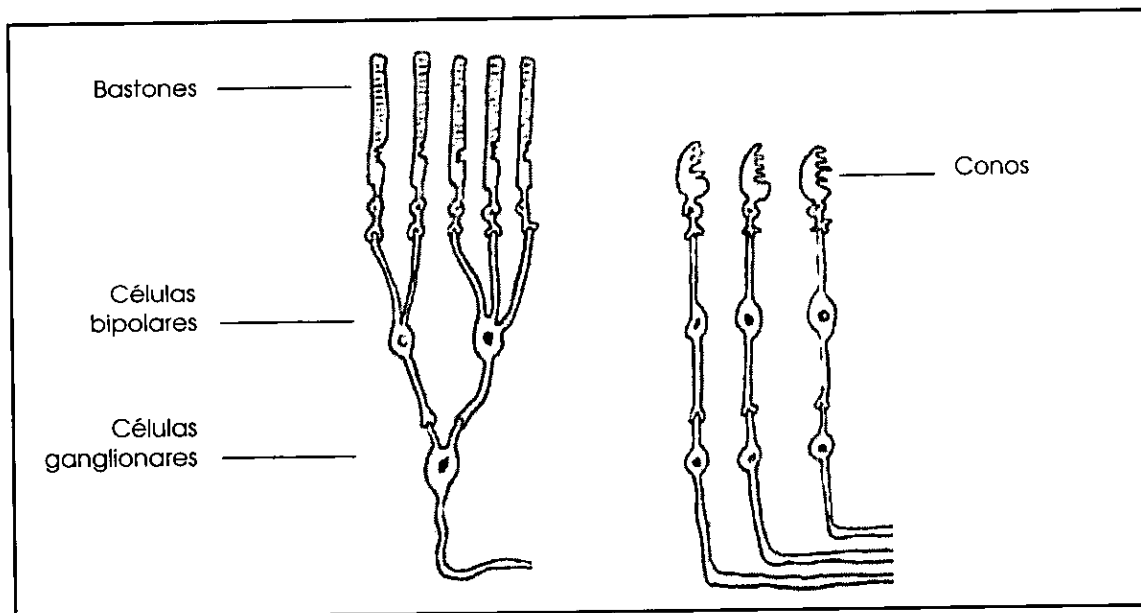


Figura 11-13. Convergencia de los fotorreceptores. Varios bastones se conectan a una célula bipolar y varias células bipolares se unen a una ganglionar (70).

La discriminación visual máxima, y sensibilidad mínima, ocurren cuando un fotorreceptor, en este caso los conos, está conectado a una célula bipolar y luego a una célula ganglionar. Con esto, la estimulación de un solo cono puede desencadenar la actividad de una célula ganglionar (33, 70, 78).

Las células fotorreceptoras presentan cuatro partes funcionales, el segmento externo, el segmento interno, el núcleo y las terminales receptoras. Los bastones son, en su mayoría, más angostos y largos que los conos. El segmento externo del cono, dirigido hacia el estrato pigmentado, es de forma cónica. El segmento interno de los conos tiene un diámetro más grande que su corto segmento externo y es el sitio del metabolismo celular normal (24, 33, 78).

Los segmentos externos de las células fotorreceptoras contienen fotoquímicos sensitivos a la luz (pigmentos visuales) que cambian cuando son iluminados por ella. Al tener funciones diferentes, los conos y los bastones presentan pigmentos distintos cada uno. Los bastones contienen rodopsina y los conos pueden contener otros pigmentos, como la yodopsina. Los pigmentos visuales son sintetizados en los segmentos internos para después ser transportados o difundidos a los segmentos

externos. La membrana plegada del segmentos externos de los bastones es cambiada en la terminación distal. Estos discos son fagocitados por el estrato pigmentado (33, 70).

Los bastones pierden sus discos membranosos cuando llegan los haces de luz, mientras que los conos pierden y regeneran sus discos poco después de la llegada de la oscuridad. Puede haber excepciones en estas reglas generales. Los fotoquímicos pueden esparcirse a través de los segmentos externos, y es probable que se presente la reparación local de la membrana celular del cono. Parece que estos procesos de eliminación y regeneración de los discos membranosos son una parte importante del mantenimiento propio de las concentraciones fotoquímicas (33).

La taurina, un aminoácido azufrado, es el principal aminoácido libre en la retina, se encuentra en altas concentraciones en los segmentos externos e internos de los fotorreceptores. Parece que su función está involucrada con el flujo de los iones de calcio y de potasio a través de la barrera de células del estrato pigmentado de la retina. Su deficiencia en la dieta de los gatos puede originar una degeneración retinal central, la que antes se creía debida a un defecto hereditario. Si se alimenta a los gatitos o a los gatos adultos con dietas bajas en aminoácidos azufrados, se presenta la degeneración de los conos y los bastones. La degeneración nutricional de los fotorreceptores puede ser reversible de forma parcial, siendo los bastones los fotorreceptores que presentan un mayor poder de regeneración (33).

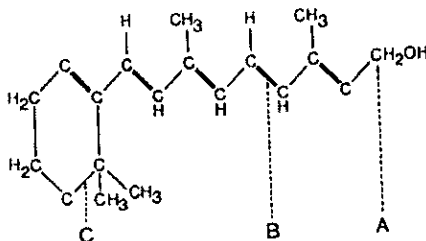
Pigmentos visuales.

Los pigmentos visuales de los fotorreceptores absorben partes del espectro luminoso visible. Su color se debe a las longitudes de onda que reflejan y no a las que absorben. Los pigmentos absorben un rango de longitudes de onda, cada pigmento tiene un pico de absorción a una longitud de onda particular, éste se conoce como pico de absorción máxima (λ), o lambda máxima (70).

Las moléculas de los pigmentos presentan una porción carotenoide (derivada de la vitamina A) combinada con una proteína, la opsina. Existen cuatro pigmentos visuales encargados de la absorción de la luz en los animales: rodopsina, yodopsina, porfiropsina y cianopsina, todos son combinaciones de las opsinas de los bastones y conos con los carotenoides retinal₁ y retinal₂, el primero es el que se encuentra en los fotopigmentos de los fotorreceptores del perro y el gato (70, 78).

La rodopsina ("púrpura visual") es el pigmento visual más conocido, se cree que los otros pigmentos tienen propiedades similares (79).

La vitamina A está compuesta por un sistema cromofórico de enlaces dobles y sencillos alternados. Su estructura es la siguiente:



La presencia de estos dobles enlaces conjugados permite la posibilidad de varios isómeros *cis* y *trans*. Si el grupo terminal en A es un alcohol, se forma un retinol, si es un aldehído se crea un retinal. Si la cadena lateral del retinol o retinal es recta, el compuesto se denomina *todo-trans* (refiriéndose a la variación espacial de la orientación molecular conocida como isomerismo *cis-trans*). Si la cadena lateral está retorcida en B (átomo de carbono número 11 de la cadena principal), el compuesto que se forma es un 11-*cis* retinal u 11-*cis* retinol. Si la unión C-C en C está saturada, el compuesto se designa retinal₂ o retinol₂. La mayoría de las retinas de los vertebrados contienen 11-*cis* retinal₁ (70, 78).

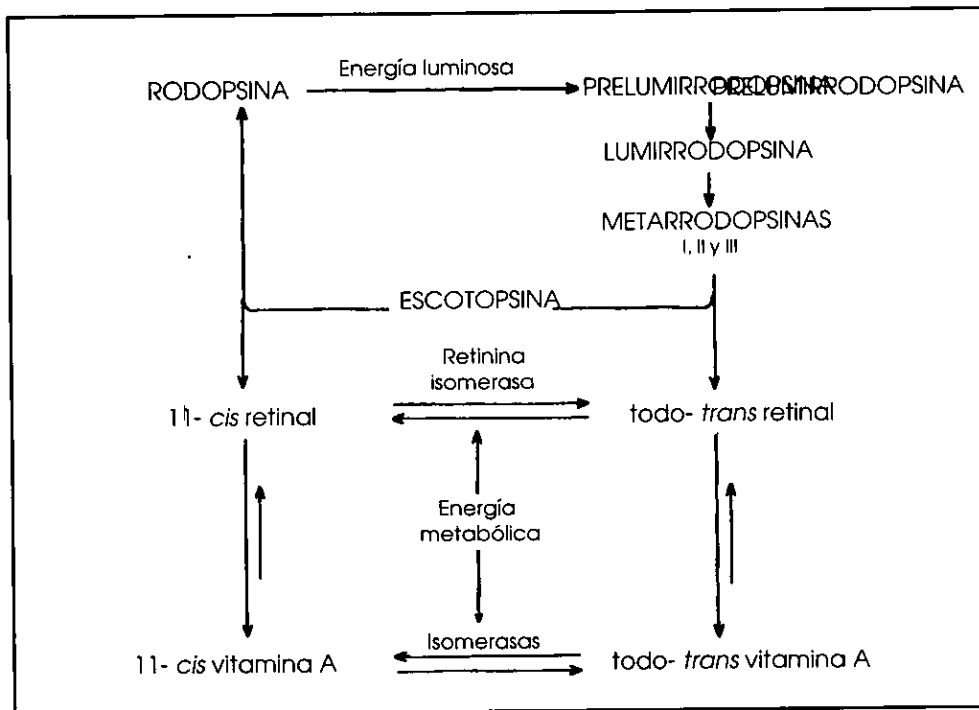


Figura 11-14. Fotoquímica del ciclo visual de la rodopsina-retinal-vitamina A (33).

Cuando un fotón de luz choca contra una molécula de rodopsina que contiene 11-*cis* retinal₁, forma una prelumirodopsina inestable y se fomenta una serie de reacciones que crean *todo-trans* retinal₁, que es más estable, con una opsina. En forma alternativa, una vez que el *todo-trans* retinal₁ se libera de la opsina, se puede volver a isomerizar en 11-*cis* retinal₁, por una enzima que se encuentra en el estrato pigmentado, para regresar a rodopsina, o se puede reducir a *todo-trans* retinol y volverse a esterificar. Los ésteres se almacenan en el estrato pigmentado hasta que se necesiten para la adaptación a la oscuridad (fig. 11-14) (33, 24, 70, 78).

Durante el desdoblamiento de *todo-trans* retinal, desde la opsina, los bastones se hiperpolarizan. Los fotorreceptores potenciales tienen dos fases: una fase de bajo voltaje instantáneo y una fase secundaria de mucho mayor voltaje. Puesto que la retina externa opera con potenciales graduados, la primera fase es proporcional a la cantidad de luz, probable resultado del efecto de la luz sobre la rodopsina. La segunda

fase es proporcional al logaritmo de energía luminosa y parece ser el resultado de los cambios en la conducción de sodio en la membrana (33).

La vitamina A del ojo sufre un recambio muy lento con las otras reservas corporales y sólo una mínima proporción de la vitamina A ingerida alcanza a los ojos. La hipovitaminosis A no afecta al ojo hasta que se agotan los otros depósitos corporales (70).

Transmisión del estímulo luminoso.

La cantidad de luz que llega a la retina es regulada por los párpados y la acción pupilar del iris. La posición de las células receptoras ocasiona que la luz pase a través de todos los demás estratos de la retina, antes de llegar a los fotorreceptores. Cuando la luz llega a la retina, debe pasar a través del estrato neurofibroso, las células sinápticas de la retina y los cuerpos celulares de los conos y los bastones, para alcanzar el estrato fotosensitivo. La luz que pasa a través de los fotorreceptores es absorbida por el pigmento del estrato pigmentado y por la coroides (53, 78).

En el área del *tapetum lucidum*, el estrato pigmentado carece de melanosomas, por lo que la luz puede ser reflejada por el *tapetum*, regresando a través del estrato fotosensitivo, dando dos oportunidades a los fotorreceptores para capturar una cierta cantidad de luz. Esta adaptación proporciona una mejor visión a bajos niveles de iluminación, comparada con la de los animales que no tienen *tapetum lucidum* (33, 53).

El primer evento eléctrico, después de la exposición a la luz, es el potencial receptor temprano, que se puede deber a la isomerización del *todo-trans* retinal. Se desconoce como este potencial es amplificado y propagado hasta el nervio óptico (70).

Cuando se exponen a centelleos de luz, los fotorreceptores, así como algunas células bipolares y horizontales, se hiperpolarizan. Esto no es común, ya que de manera habitual, los nervios excitan a otras células nerviosas por la liberación de neurotransmisores excitatorios cuando sus terminales sinápticas se despolarizan. En la oscuridad, los fotorreceptores responden por despolarización (bajo potencial negativo) con un incremento de la liberación de neurotransmisores, mientras permanezca la ausencia de luz. En presencia de luz, se suprimen los neurotransmisores liberados cuando los receptores se hiperpolarizan. La excitación entonces, disminuye la conducción de los iones de sodio por la membrana del segmento externo. En un estado no excitado, presente en la oscuridad, el sodio se filtra en el segmento externo. Al regresar el sodio al fotorreceptor no excitado, la electronegatividad es baja. Cuando la luz es absorbida por un fotopigmento, el filtrado de sodio disminuye y la electronegatividad aumenta (hiperpolarización), causando que una fracción de los canales de sodio se cierre y permitiendo la remoción activa continua del sodio desde el segmento interno (fig. 11-15) (24, 33).

Los cuerpos de las células de los fotorreceptores convergen sobre las células bipolares. En el área central de la retina, el rango de células receptoras a células bipolares decrece y se aproxima 1 :1. Los fotorreceptores también hacen conexiones sinápticas con las células horizontales (33).

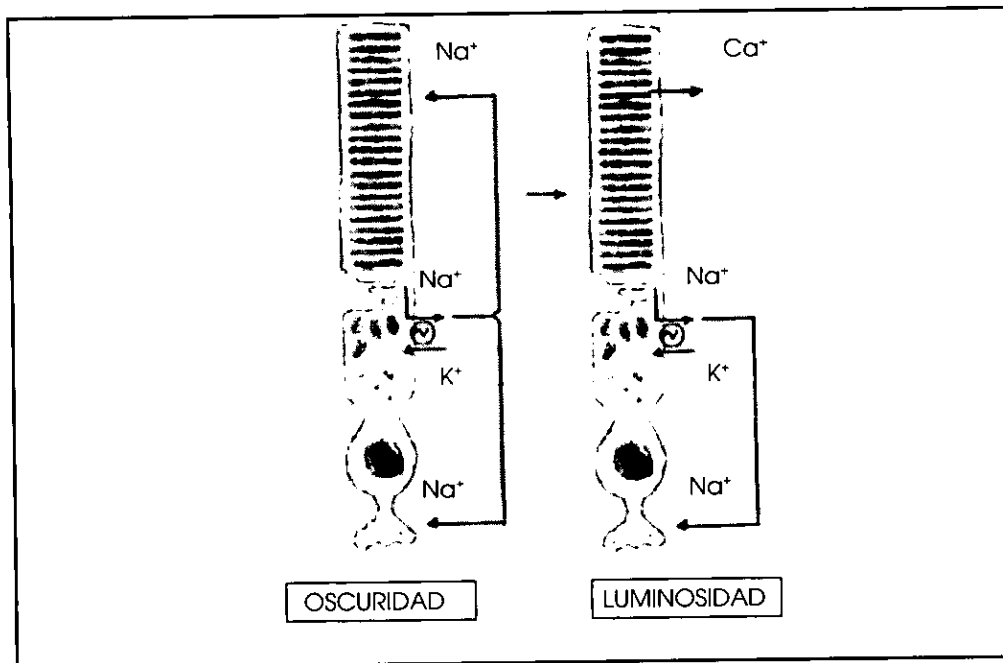


Figura 11-15. Corriente eléctrica en los bastones. En la oscuridad, la permeabilidad Na^+ en el segmento externo es alta. Al presentarse el estímulo luminoso la permeabilidad al Na^+ se reduce y hay una salida simultánea de Ca^{++} (24).

La capa plexiforme externa es donde toman lugar las interacciones sinápticas, desde los fotorreceptores a las células bipolares y las células horizontales. Los fotorreceptores tienen vesículas sinápticas, pero no se han identificado los neurotransmisores.

Las células bipolares reciben energía de los fotorreceptores, la energía que eliminan estas células puede ser modificada por las células horizontales. Las células bipolares son el principal eslabón entre los fotorreceptores y células ganglionares.

Las células bipolares que están unidas a los conos se dividen en dos tipos :

1. El tipo "encendido en el centro", que responde a un punto de luz sobre el sitio marcado con despolarización.
2. El tipo "apagado en el centro", que responde al mismo estímulo con hiperpolarización (24, 33).

Además de ser afectadas por los fotorreceptores, las células bipolares pueden estimularse por la iluminación en áreas alrededor de la retina, a través de las células horizontales, por lo que la sensibilidad de ciertos puntos de la retina se afecta por lo que ocurre en áreas adyacentes. Por el arreglo de las células retinales, la dirección del movimiento de luz causa una diferencia en la transmisión de las sinapsis (sensibilidad de la retina).

Las células horizontales transmiten impulsos lateralmente. Existen dos tipos de células horizontales:

1. Las que responden a la luz con hiperpolarización independiente de la longitud de onda.
2. Las que responden con una polaridad dependiente de la longitud de onda.

Las células amacrinas son estimuladas por las células bipolares, aunque también los conos y los bastones las pueden excitar. Las células amacrinas también tienen un efecto inhibitorio sobre las células ganglionares. Esta inhibición es causada por una despolarización eléctrica simple transitoria o un cambio sostenido en la polaridad, resultado de un bajo potencial de acción.

Los transmisores inhibitorios aislados de las células amacrinas son el ácido gama-aminobutírico (GABA) y la glicina. También se han encontrado varios péptidos (como colecistoquinina, encefalinas, glucagón, neurotensina y sustancia P) en una subpoblación de células amacrinas. Las funciones fisiológicas de estas sustancias no han sido determinadas. En un pequeño número de células amacrinas del estrato nuclear interno se ha detectado dopamina.

Las células gliales pueden tener funciones fagocíticas en estados patológicos. Sus potenciales cambian con la actividad retinal, pero no se conoce como ocurren estos cambios. Parece que, los cambios de potencial, son el resultado de la absorción del potasio perdido de las neuronas activas por las células gliales y su redistribución en la retina. Las células gliales no forman una barrera efectiva en la retina.

La capa sináptica interna es el área de interacciones sinápticas entre las neuronas bipolares, células amacrinas y células ganglionares. En varias especies se han aislado fibras centrifugas (las cuales son eferentes que viajan del cerebro a la retina). El neurotransmisor sináptico dominante de las células ganglionares parece ser la acetilcolina, ya que esta capa contiene un alto nivel de acetilcolinesterasa.

Los axones de las células ganglionares transmiten continuos potenciales de acción a través del nervio óptico, éstos varían en frecuencia en correlación con la actividad retinal. Algunas células ganglionares producen señales sostenidas, que son recibidas desde las células bipolares. Otras células ganglionares responden a súbitos cambios (intensidades de luz fluctuantes) en las señales de las células bipolares. Las relaciones de los diferentes patrones de descarga en las diferentes funciones de las células ganglionares han permitido la clasificación funcional de las células ganglionares. Se agrupan en células sostenidas o tipo X, células transitorias, o tipo Y, y células tipo W. Las células tipo W tienen un amplio campo receptivo, y su respuesta es tardía con una lenta velocidad de conducción.

La sensibilidad de la retina depende del movimiento del estímulo visual, por lo que el movimiento del globo ocular (saccades) es necesario para la función retinal. En el ojo, no solo varía la cantidad de luz (pupilas), pero la sensibilidad de la retina en sí misma, puede variar por una respuesta óptica. Las células ganglionares se pueden clasificar como "encendido al centro", "apagado al centro" y "encendido-apagado" (33, 67).

Las células ganglionares son análogas a una neurona aferente secundaria que se encuentra de manera usual dentro del sistema nervioso central. Las células ganglionares envían sus axones a través del nervio óptico al tálamo, donde sinapsan en el cuerpo geniculado lateral. Los cuerpos de las células del cuerpo geniculado lateral envían sus axones a los centros corticales altos, donde se procesan las señales eléctricas que contienen una descripción codificada de las características espaciales, temporales y espectrales del estímulo luminoso. Muchos de los síndromes oculares están asociados con la pérdida de la función de una o más de estas vías

visuales (33, 70). Cerca del 20% de las fibras del nervio óptico atraviesan los cuerpos geniculados laterales para llegar al mesencéfalo, donde participan en el control reflejo de los movimientos del ojo y del diámetro de la pupila (78). Se sabe que, en los animales domésticos, ocurre cierta interpretación en los niveles subcorticales, porque la extracción de la corteza no ocasiona ceguera completa (70).

En los perros y los gatos, ambos ojos están orientados para la visión binocular, la cual se logra por la posición de los ojos en el frente de la cabeza y el entrecruzamiento de los axones derivados de las células ganglionares de las porciones nasales retinales en el quiasma óptico. Los axones provenientes de las áreas temporales no se decusan. De esta manera, los impulsos surgidos desde un objeto visto sobre la izquierda (en el campo visual izquierdo), aunque advertidos por ambos ojos, finalizan en la cintilla óptica derecha y pasan hasta la corteza visual derecha (fig. 11-16) (33, 64, 70).

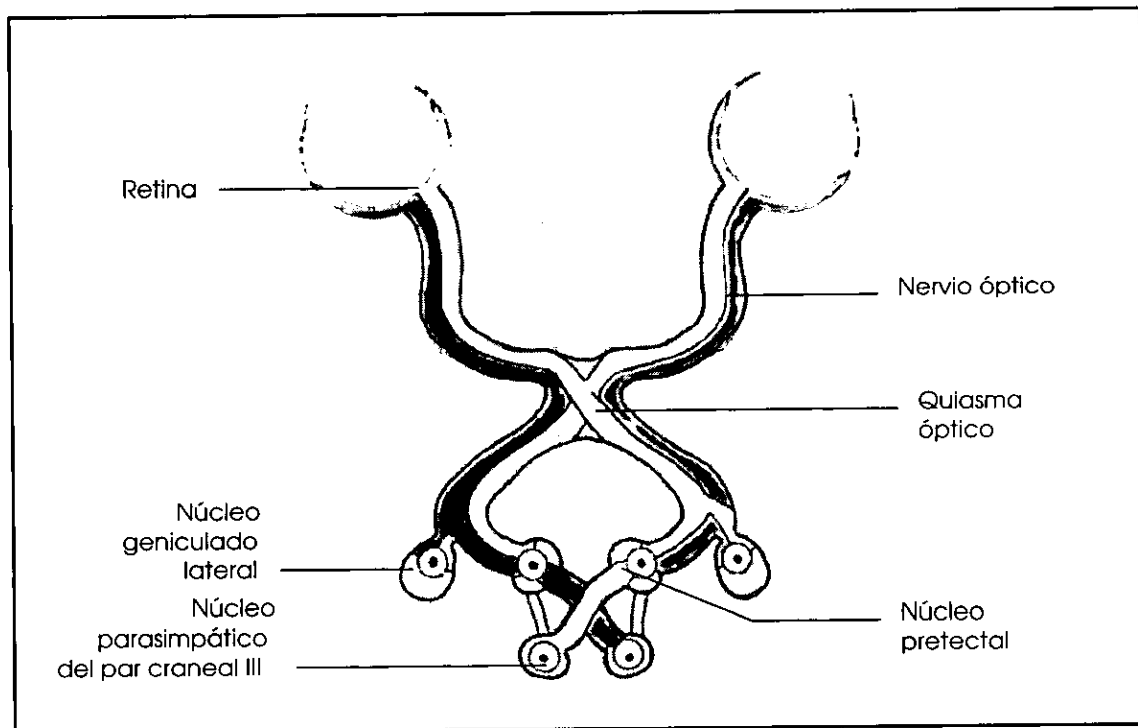


Figura 11-16. Entrecruzamiento de los axones de la región medial de la retina en el quiasma óptico (64).

Estrato pigmentado retinal.

Junto con la lámina coroidocapilar y el complejo basal, el estrato pigmentado retinal está involucrado en varios procesos vitales para el funcionamiento de las células fotorreceptoras y para la visión misma. Las funciones del estrato pigmentado retinal incluyen:

1. El transporte de los materiales a y desde los fotorreceptores.
2. La estabilización arquitectónica y orientación efectiva de los segmentos externos de los fotorreceptores.

3. La adhesión interna de la retina neurosensorial.
4. El almacenamiento y modificación de los precursores de la vitamina A de los pigmentos visuales.
5. La fagocitosis y degradación lisosomal de los discos eliminados por los segmentos externos de los fotorreceptores (6, 33, 53, 70).

La ausencia de pigmento en el área no tapetal permite a la luz pasar a través del estrato pigmentado para llegar al *tapetum lucidum*, reflejándose de nuevo a las células fotorreceptoras, amplificando el estímulo luminoso. Esta parece ser una adaptación para la visión durante la luz crepuscular (33, 63, 70).

Los discos de los bastones son sintetizados en forma continua y se mueven desde la base celular hacia el estrato pigmentado, donde son absorbidos por este. El estrato pigmentado esta asociado con los eventos bioquímicos que ocurren en los fotorreceptores durante la respuesta a la luz (33, 70).

El proceso fagocítico de los segmentos externos de los fotorreceptores puede ser iniciado por un residuo de azúcar (manosa 6-fosfato) sobre la superficie celular glicoconjugada del estrato pigmentado retinal o los segmentos externos de los fotorreceptores. Los receptores manosa 6-fosfato pueden funcionar como enzima lisosomal mediata en la interacción fagocítica.

Para la función normal de la retina se requiere de un continuo aporte de vitamina A (retinol), ya que la deficiencia provoca la pérdida de los fotorreceptores. Este componente no puede ser sintetizado pero se pueden formar a partir de los carotenoides, como el β -caroteno. La mayor parte de la vitamina A se almacena en el estrato pigmentado de la retina. Después de que los discos de los bastones son fagocitados por las células del estrato pigmentado, se metaboliza el retinaldehído liberado por la rodopsina por una reductasa retinal que se encuentra en este estrato.

La vitamina E, o α -tocoferol, parece ser un antioxidante que protege al estrato pigmentado retinal de la acumulación de lipofuscina, un metabolito compuesto de lípidos complejos de la digestión liposomal (33).

Adaptación a la oscuridad.

La adaptación a la oscuridad es la transición de la retina desde el estado fotópico (adaptado a la luz), y donde la agudeza visual es máxima, al estado escotópico (adaptado a la oscuridad), donde lo que aumenta es la sensibilidad, haciéndolo cerca de 1000 000 veces.

El perro y el gato, como todas las especies que tienen más bastones que conos, la sensibilidad máxima es alcanzada después de 30 a 40 minutos dependiendo del nivel de luminosidad antes de comenzar la adaptación. Si el nivel de luz preexistente, antes de cambiar de la luz a la oscuridad, es muy alto, el ojo se tarda más en alcanzar la sensibilidad máxima, esto debido a que las reservas de rodopsina son menores después de la exposición a la luz brillante y deben ser reconstituidas a partir de los depósitos en el estrato pigmentado (33, 70).

En el estado fotópico, la concentración de los fotopigmentos disminuye, y las concentraciones de retinaldehído y vitamina A aumentan, disminuyendo la cantidad de rodopsina. En el estado escotópico, la mayor parte del retinaldehído se convierte en

rodopsina, aumentando su concentración, y la concentración de vitamina A disminuye, lo que produce la adaptación a la oscuridad (33).

Visión de los colores.

No se sabe todavía si los animales tienen o no visión de los colores. Aunque todas las especies domésticas comunes poseen conos y bastones, esto sólo puede significar la adaptación para la visión con altos y bajos niveles de luz. Con base en experimentos objetivos y subjetivos, es probable que los perros y los gatos tengan cierta visión del color, aunque no se sabe si esto modifica su comportamiento (70).

El ojo adaptado a la luz, con conos sensibilizados, se afectan más con luz de larga longitud de onda (como la luz roja), mientras que los ojos adaptados a la oscuridad, con sus bastones sensitivos, se afectan más con luz de corta longitud de onda (como la luz azul) (33).

Cuando la luz es brillante, es posible que la mayoría de los animales tengan visión del color, pero esta percepción puede disminuir al incrementarse la oscuridad.

Se ha encontrado que, diferentes conos en la retina varían en sensibilidad a la luz de diferente longitud de onda (colores). Los rangos de estimulación de los diferentes tipos de conos, permiten al cerebro interpretar el color. Además las señales de los bastones pueden cancelarse por aquellos conos en el nivel de las células ganglionares, y las señales de los conos pueden ser cancelados por las señales de los bastones (33, 67).

Sobre un amplio conjunto de cambios de cualidades espectrales, el cerebro es capaz de extraer el color en un campo visual. Esta puede ser una función de la retina, la corteza visual o una combinación de ambas. El proceso se completa por vías visuales paralelas, cada una de las cuales, es sensitiva a un conjunto limitado de longitudes de onda. Cada vía actúa como un filtro espectral y percibe la relativa brillantez de cada color. Comparando la diferencia de la relativa brillantez entre dos vías, una puede determinar un color verdadero o natural (33).

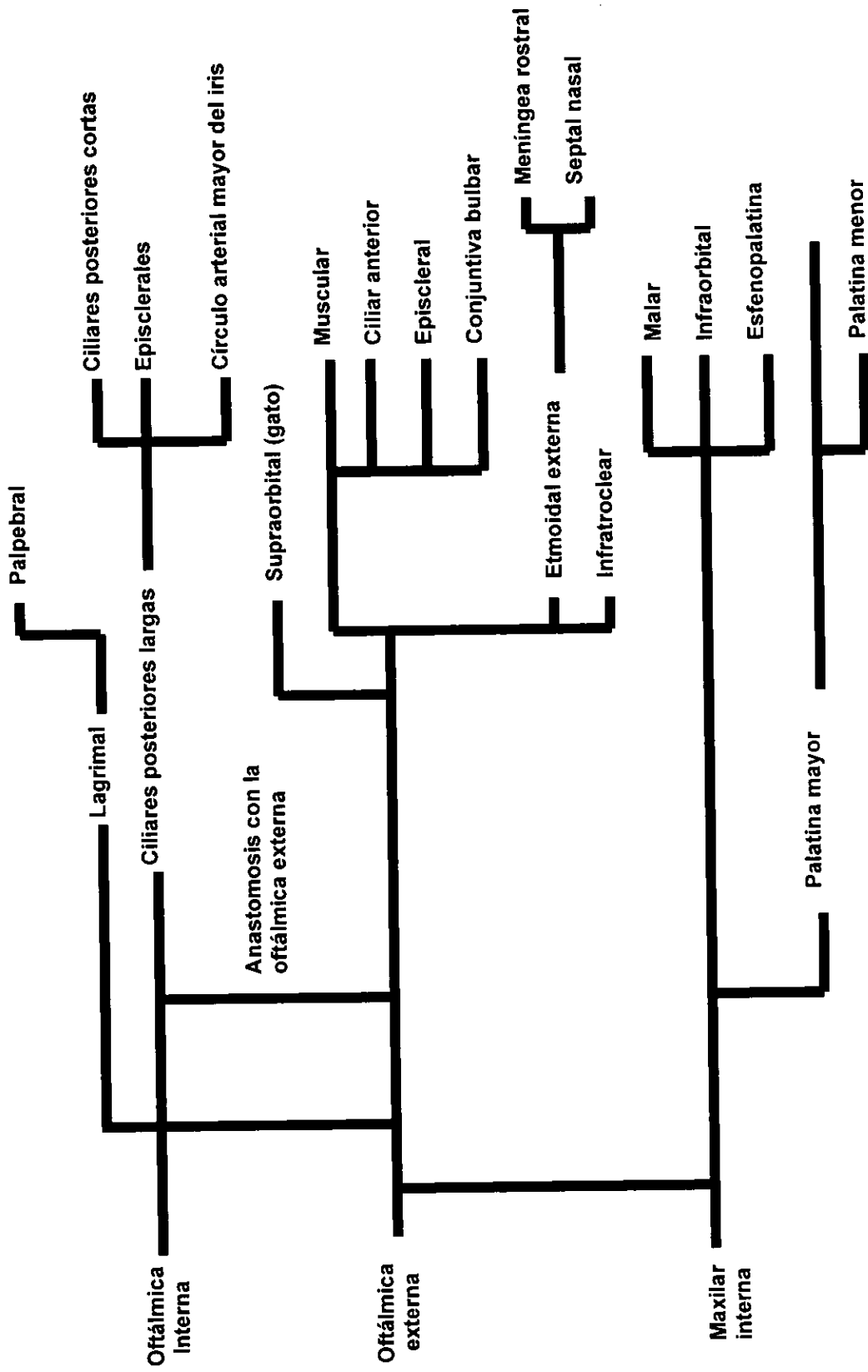
En el perro, se han identificado dos fotopigmentos en los conos, con picos espectrales de 429 nm y 555 nm, lo que indica que el perro tiene un sistema de color dicromático. En el gato la mayoría de las células ganglionares reciben señales de conos verdes, aunque la retina del gato tiene conos de diferentes sensibilidades espectrales (33, 53). Es probable que los gatos presenten una visión dicromática como los perros (33).

La visión dicromática, permite distinguir entre las longitudes de onda cortas y largas (azules de verdes, amarillos y rojos) y puede también distinguir estímulos estrechos de energía espectral de los de amplia energía espectral (discrimina azules, amarillos o cafés de grises o blancos). De cualquier manera, parece que los perros no pueden discriminar sutiles diferencias entre estímulos de mediana y larga longitudes de onda. Las pequeñas diferencias entre los amarillos, los verdes, y los rojos, que son en los animales con visión tricromática (como los humanos y los primates altos) pueden no ser vistas por el perro (53).

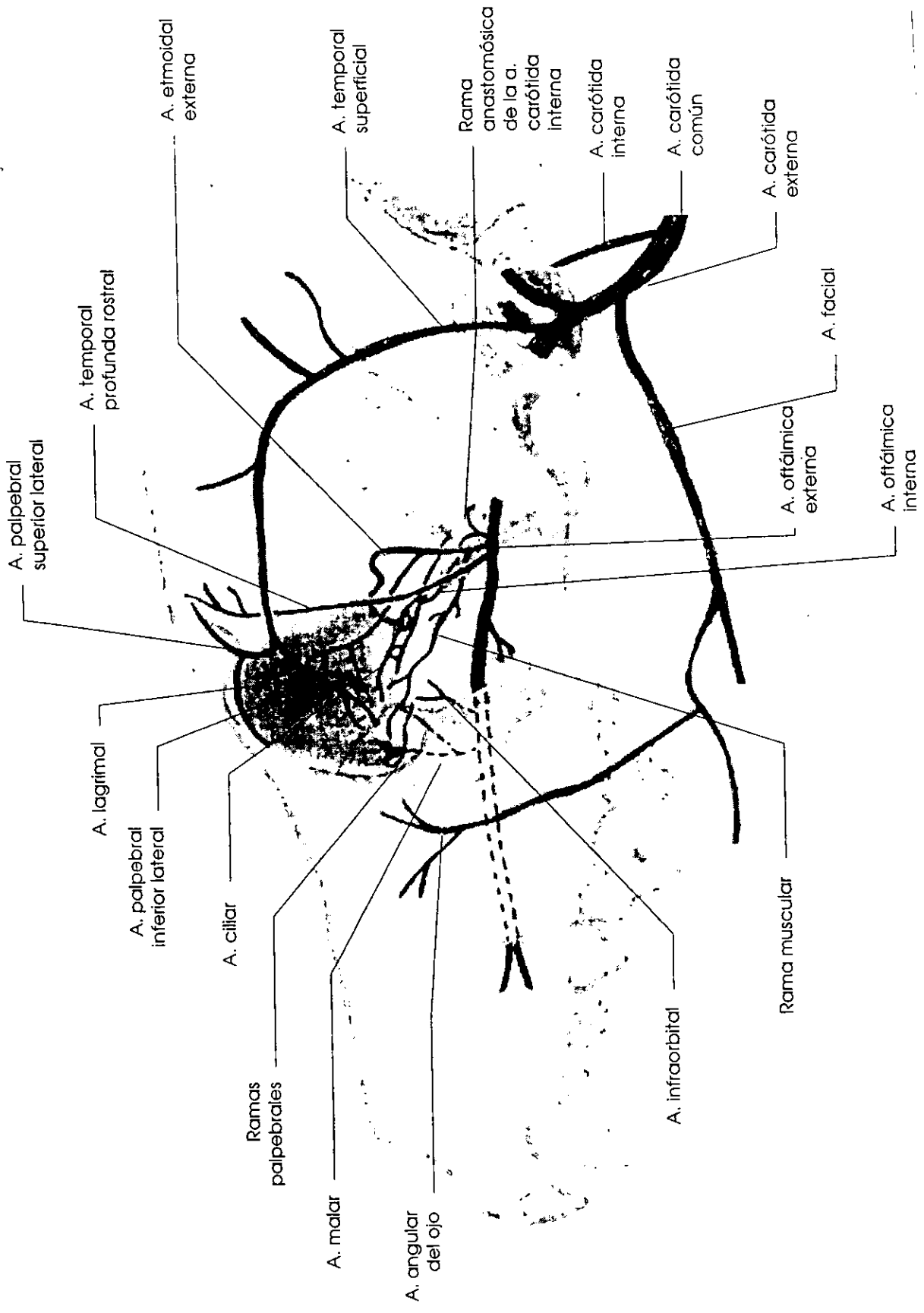
Apéndice

- Sistema arterial ocular.....191
- Arterias relacionadas con el ojo.....192
- Sistema venoso ocular.....193
- Venas relacionadas con el ojo.....194
- Inervación del ojo.....195
- Resumen de anatomía neurooftálmica.....196

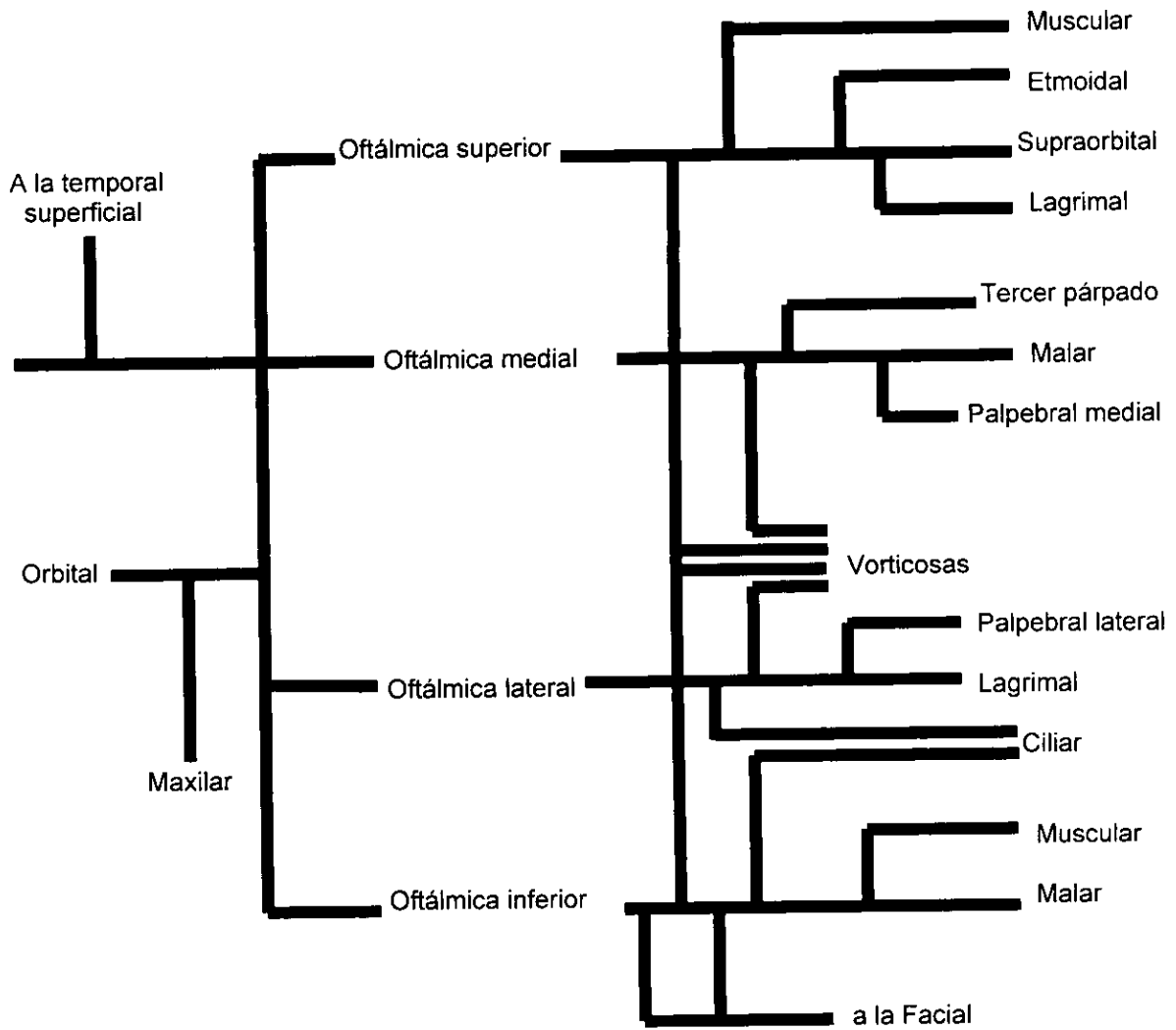
Sistema arterial ocular (47, 62)



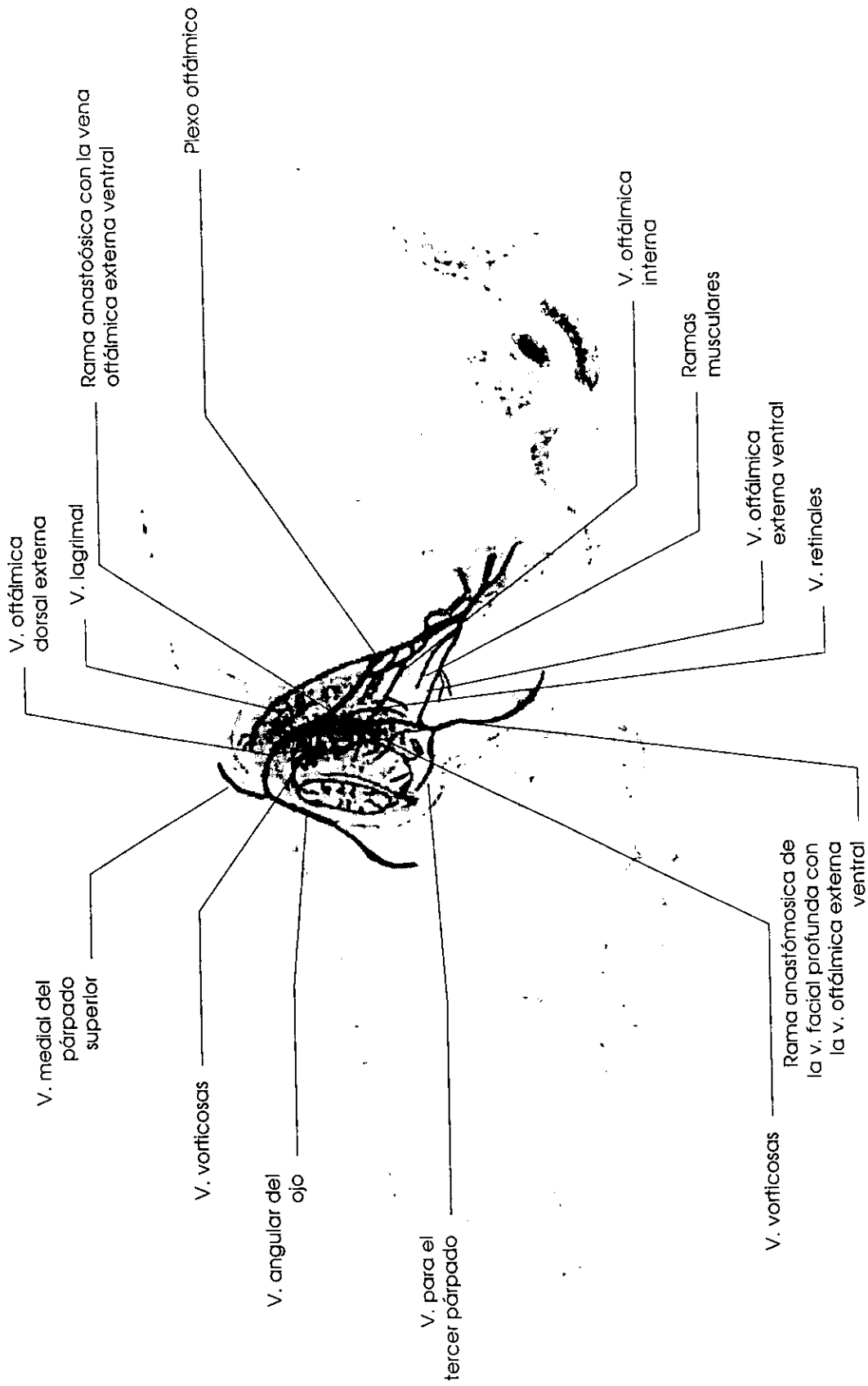
Arterias relacionadas con el ojo (17, 56)



Sistema venoso ocular (62)



Venas relacionadas con el ojo (53)

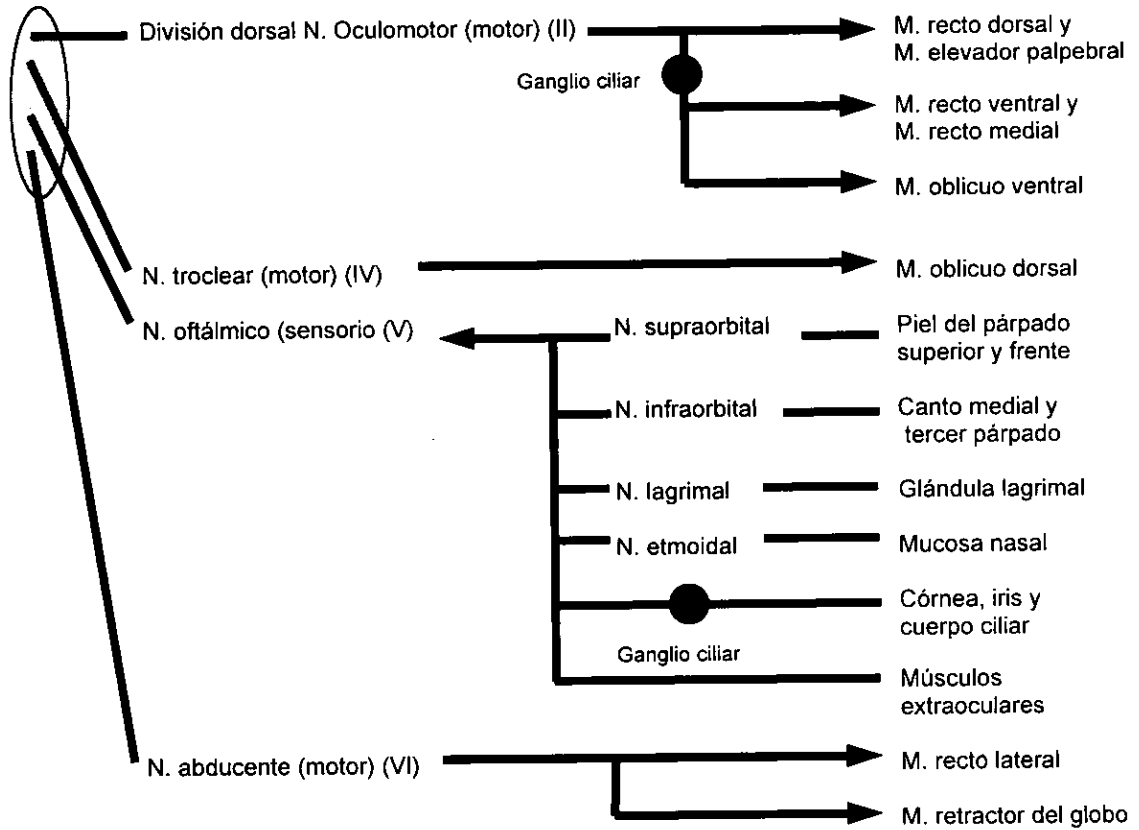


Inervación del ojo (70)

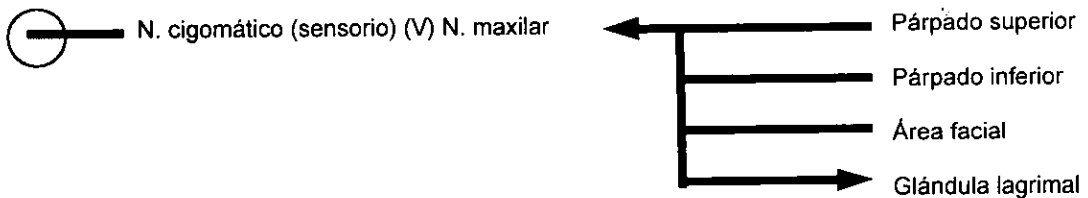
Foramen óptico



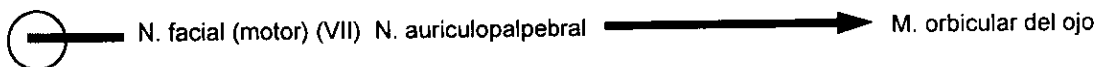
Fisura orbital



Foramen redondo



Foramen estilomastoideo



Resumen de anatomía neurooftálmica (65)

Localización del cuerpo celular del nervio

Nervio	Tipo de nervio	Macroscópica	Microscópica	Ganglios	Distribución	Función
Óptico (par craneal II)	ASE	Retina a diencéfalo ventral	Estrato ganglionar de la retina	---	Cuerpo geniculado lateral Núcleo pretectal	Visión Inerva el núcleo parasimpático del par craneal III
Oculomotor (par craneal III)	SE	Mesencéfalo ventral	Núcleo motor del nervio motor ocular común	---	Músculos rectos medial, ventral, dorsal, oblicuo ventral y elevador del párpado	Movilidad ocular Elevación del párpado superior
	EVG	Mesencéfalo ventral	Núcleo parasimpático del par craneal III	Ganglio ciliar	Músculo del esfínter del iris Músculo ciliar	Miosis Acomodación del lente
TrocLEAR (par craneal IV)	SE	Mesencéfalo dorsal	Núcleo motor del nervio troclear	---	Músculo oblicuo dorsal	Movilidad ocular
Trigémino (par craneal V)	SA	Espacio trigeminal de la duramadre y peñasco del temporal al metencéfalo ventral	Ganglio del trigémino y ganglio semilunar	---	Rama oftálmica, órbita, rama maxilar y párpados	Sensorial de la órbita, el globo y los párpados
Oculomotor externo (par craneal VI)	SE	Metencéfalo ventral	Núcleo motor del nervio abductor	---	Músculo recto lateral Músculo retractor del globo	Motilidad ocular Retracción del globo, elevación del tercer párpado
Facial (par craneal VIII)	EVE	Mielencéfalo ventral	Núcleo motor del nervio facial	---	Orbicular de los párpados Músculos de la cara	Cierre palpebral Expresión facial
	EVG	Mielencéfalo ventral	Núcleo parasimpático del par craneal VII	Ganglio pterigopalatino	Glándula lagrimal	Secreción lagrimal
VestibulococLEAR (par craneal VIII)	EVG	Mielencéfalo	Ganglio vestibular	---	Conductos semicirculares, utrículo y sáculo	Coordina el ojo con el movimiento de la cabeza, equilibrio

Nota:

- SE = somático eferente
- EVG = eferente visceral general
- EVE = eferente visceral especial
- SA = somático aferente
- ASE = aferentes somáticos especiales

Literatura citada

1. Banks, William J.: *Histología Veterinaria Aplicada. El Manual Moderno*, México, 1986.
2. Barlough, Jeffrey E.: *Anatomy of the cat*. In: *The Cornell Book of Cats*. Edited by: Siegal, M. 135-176. **Villard Books**, USA, 1990.
3. Bistner, Stephen I.: *Embryology of canine and bovine eyes*. In *Textbook of Veterinary Ophthalmology*, Edited by: Gelatt, Kirk N., 3-11. **Lea & Febiger**, USA, 1981.
4. Blogg, J. R.: *The Eye in Veterinary Practice. Extraocular Disease, Vol. I.*, **W. B. Saunders**, USA, 1980
5. Brackevelt, C. R.: *Fine structure of the retinal photoreceptors of the domestic cat. Anat. Histol. Embryol.*, **19**: 67-76 (1990).
6. Brackevelt, C. R.: *Retinal epithelial fine structure in the domestic cat. Anat. Histol. Embryol.*, **19**: 58-66 (1990).
7. Brackevelt, C. R.: *Fine structure of feline tapetum lucidum. Anat. Histol. Embryol.*, **19**: 97-105 (1990).
8. Brooks, D. E., Samuelson, D. A., Gelatt, K. N. and Smith, P. J.: *Scanning electron microscopy of corrosion casts of the optic nerve microcirculation in dogs. Am. J. Vet. Res.*, **50**: 908-914 (1989).
9. Brooks, D. E.: *Retina and optic nerve*. En: *Memorias del Curso de Oftalmología*, México, 1994, 163-181, **AMMVEPE.**, México (1994).
10. Bryan, Gary M.: *Introduction to Comparative Ophthalmology. Washington State University Veterinary Hospital*, USA, 1981.
11. Budras, K. D., Fricke, W. y Salazar, I.: *Atlas de Anatomía del Perro. Interamericana McGraw-Hill*, Madrid, 1989.
12. Constantinescu, G. M. and McClure, R. C.: *Anatomy of the orbital fasciae and diagnostic considerations. Am. J. Vet. Res.*, **51**: 260-263 (1990).
13. Cunningham, James G.: *Fisiología Veterinaria. Interamericana McGraw-Hill*, México, 1994.
14. Chaudieu, G., Molon-Noblot, S. and Duprat, P.: *Luxation primaire du cristallin chez l'Épagneul breton; aspects cliniques, étude étiopathogénique, Prat. Méd. Chir. Anim. Comp.*, **28**: 37-47 (1993).

15. Desbrosse, Anne M.: L'examen clinique de l'œil. **Rec. Méd. Vét.**, **165**: 187-198 (1989).
16. Diesem, C.: Órgano de la visión. En: Sisson y Grossman Anatomía de los Animales Domésticos. Tomo I. 5ª. ed. Editado por: Getty, R., 257-277, **Salvat Editores**, México, 1982.
17. Diesem, C.: Órgano de la visión. En: Sisson y Grossman Anatomía de los Animales Domésticos. Tomo II. 5ª. ed. Editado por: Getty, R., 1908-1938. **Salvat Editores**, México, 1982.
18. Dugan, S. J., Roberts, S. M. and Severin, G. A.: Systemic osmotherapy for ophthalmic disease in dogs and cats. **J. Am. Vet. Med. Assoc.**, **194**: 115-118 (1989).
19. Dyce, K. M., Sack, W. O. y Wensing, C. J. G.: Anatomía Veterinaria. **Editorial Médica Panamericana**, Argentina, 1991.
20. Evans, Howard E.: Prenatal development. In: Miller's Anatomy of the Dog. Edited by: Evans, H. E., 32-96, **W. B. Saunders Company**. USA, 1993.
21. Flores Espinosa, M. B.: Glaucoma canino y felino, diagnóstico y tratamiento: Estudio recapitulativo. Tesis de licenciatura. **Fac. de Med. Vet. y Zoot.**, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1985.
22. Fourgi, E. L.: Pathologie de l'appareil lacrymal chez les carnivores domestiques. **Rec. Méd. Vét.**, **165**: 241-246 (1989).
23. Frandson, R. D. y Spurgeon, T. L.: Anatomía y Fisiología de los Animales Domésticos. 5ª. ed. **Interamericana**, México, 1995.
24. Ganong, William F.: Fisiología Médica. 11ª. ed. **El Manual Moderno**, México, 1988.
25. García Sanchez, G. A., Trillo, A. A., Rodriguez, S., Reyes, F. y Santana, G.: Oftalmología, Diplomado en Medicina, Cirugía y Zootecnia en Perros y Gatos, México, 1995, 15-38, **Coordinación del Sistema de Universidad Abierta, UNAM**, México (1995).
26. García, Gustavo A.: Examen del ojo y anexos. En: Memorias del curso de oftalmología, México, 1994, 1-8, **AMMVEPE**, México (1994).
27. Gelatt, K. N. and Gelatt, J. P.: Handbook of Small Animal Ophthalmic Surgery. Extraocular Procedures. **Pergamon**, Great Britain, 1994.
28. Gelatt, K. N. and Gelatt, J. P.: Handbook of Small Animal Ophthalmic Surgery. Corneal and Intraocular Procedures. **Pergamon**, Great Britain, 1995.
29. Gelatt, K. N.: Enfermedades de los párpados. En: Apuntes del Curso de Oftalmología en Pequeñas Especies, México, 1984, **Fac. de Med. Vet. y Zoot. UNAM**, México (1984).

30. Gilger, B. C., Wright, J. C., Whitley, R. D. and McLaughlin, S. A.: Corneal thickness measured by ultrasonic pachymetry in cats. **Am. J. Vet. Res.**, **54**: 228-230 (1993).
31. Glaze, Mary B. y Carter, James D.: Ojo. En: *Pediatría Veterinaria, Perros y Gatos*. Editado por: Hoskins, J. D., 445-492. **Interamericana McGraw-Hill**, México, 1990.
32. Guerrero Goicoechea, J.: Queratitis ulcerativa en perros y gatos, diagnóstico y tratamiento: Estudio recapitulativo. Tesis de licenciatura. **Fac. de Med. Vet. y Zoot.** Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., 1984.
33. Gum, G. G.: Physiology of the eye. In: *Text book of Veterinary Ophthalmology*. 2nd. ed., Edited by: Gelatt, K. N., 124-156, **Lea & Febiger**, USA, 1991.
34. Helper, L. C.: *Magrane's Canine Ophthalmology*. 4th. ed. **Lea & Febiger**, USA, 1989.
35. International Committee on Veterinary Embryological Nomenclature: *Nomina Embryologica Veterinaria*. **World Association of Veterinary Anatomists**, USA, 1994.
36. International Committee on Veterinary Histological Nomenclature: *Nomina Histologica Veterinaria*. 2nd. ed. **World Association of Veterinary Anatomists**. USA, 1994.
37. International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature: *Nomina Anatomica Veterinaria*. 4th. ed. **World Association of Veterinary Anatomists**. USA, 1994.
38. Jegou, J. P.: Les glaucomes. **Rec. Méd. Vét.**, **165**: 263-278 (1989).
39. Kaswan, Renee L., Bounus, D. and Hirsh, S. G.: Diagnosis and management of keratoconjunctivitis sicca. **Vet. Med.**, **90**: 552 (1995).
40. Kaswan, Renee L.: Enfermedades del aparato lagrimal. En: *Manual Clínico de Pequeñas Especies*. Vol. II. Editado por: Bichard, S.J y Sherding, R. G. 1468-1473, **Interamericana McGraw-Hill**, México, 1994.
41. Kent, George C.: *Comparative Anatomy of the Vertebrates*. 7th. ed. **Mosby Year Book**. USA, 1991.
42. Kirschner, Susan E.: Enfermedades de los párpados. En: *Manual Clínico de Pequeñas Especies*. Vol. II. Editado por: Bichard, S. J. y Sherding, R. G., 1412-1417. **Interamericana McGraw-Hill**, México, 1994.
43. Laforge, H.: Anatomie du globe oculaire. **Prat. Méd. Chir. Anim. Comp.**, **26**: 41-48 (1991).
44. Lahunta, A. y Habel, R. E.: *Anatomía Veterinaria*. **Interamericana**, México, 1987.
45. Latshaw, William K.: *Veterinary Developmental Anatomy*. **B. C. Decker Inc.**, USA, 1987.

46. Leon, A.: Diseases of the vitreus in the dog and cat. **J. Small Anim. Pract.**, **29**: 448-461 (1988).
47. Martin, C. L. and Anderson, B. G.: Ocular Anatomy. In: Textbook of Veterinary Ophthalmology. Edited by: Gelatt, K. N. 12-121, **Lea & Febiger, USA**, 1981.
48. Martin, C. L.: El examen oftálmico y la anamnesis. En: *Terapéutica Veterinaria, Práctica Clínica en Pequeñas Especies*. Editado por: Kirk, R. B. **CECSA, México**, 1984.
49. McCalla, T. L. and Moore, C. P.: Exophtalmos in dogs and cats, Part I, Anatomic and diagnostic considerations. **Comp. Contin. Educ. Pract. Vet.**, **11**: 784-792 (1989).
50. Miller, W. W., Albert, R. A., Boosinger, T. R., Holloway, C. L., Simpson, S. T. and Tojvio-Kinnucan, M. A.: Postnatal development of the photoreceptor inner segment of the retina in dogs. **Am. J. Vet. Res.**, **50**: 2089-2092 (1989).
51. Moore, Cecil P.: Conjuntiva. En: *Manual Clínico de Pequeñas Especies. Vol. II*. Editado por: Bichard, S. J. y Sherding, R. G. 1418-1426. **Interamericana McGraw-Hill, México**, 1994.
52. Muñoz, P., Quiroz, H. y Moragrega, E.: Anatomía quirúrgica comparada en ojos de perro, gato, cerdo y conejo. **Rev. Mex. Oftalmol.**, **64**: 177-182 (1990).
53. Murphy, C. J. and Pollock, R. V. S.: The eye. In: *Miller's Anatomy of the Dog*. Edited by: Evans, H. E., 1009-1057, **W. B. Saunders Company, USA**, 1993.
54. Peiffer, R. L., Nasisse, M. P., Cock, C. S. and Harling, D. E.: Surgery of the canine and feline orbit, adnexa and globe. Part 9: Surgery of the vitreus and retina. **Comp. Anim. Pract.**, **2**: 18-22 (1988).
55. Petrick, S. W. and Rensburg, van, I. B.J.: Corneal anatomical differences in the aetiology of chronic superficial keratitis. **J. Small Anim. Pract.**, **30**: 449-453 (1989).
56. Popesko, Peter: *Atlas de Anatomía Topográfica de los Animales Domésticos. Tomo I*. **Salvat, España**, 1990.
57. Rathbone, Juliet: Identifying and treating conjunctivitis in dogs and cats. **Vet. Med.**, **90**: 242-253 (1995).
58. Rathbone, Juliet: Recognizing and managing acute and chronic cases of glaucoma. **Vet. Med.**, **90**: 265-275 (1995).
59. Rathbone, Juliet: The causes, diagnosis and treatment of uveitis. **Vet. Med.**, **90**: 278-284 (1995).
60. Rathbone, Juliet: When red eyes are due to preocular tear film disease. **Vet. Med.**, **90**: 256-264 (1995).

61. Ratubun, W. B.: Biochemistry of the lens and cataractogenesis: Current concepts. **Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.**, **10**: 377-398 (1980).
62. Samuelson, D. A.: Ophthalmic embriology and anatomy. In: Textbook of Veterinary Ophthalmology. 2nd. ed. Edited by: Gelatt, K. N., 3-123, **Lea & Febiger**, USA, 1991.
63. Sauret, J. and Machie, A.: L'œil des carnivores et ses annexes. **Rec. Méd. Vét.**, **165**: 175-186 (1989).
64. Scagliotti, Randall H.: Special sensory organs. In: Atlas of Feline Anatomy for Veterinarians. Edited by: Hudson, L. C. and Hamilton, W. P., 227-254, **W. B. Saunders Company**, USA, 1993.
65. Scagliotti, Randall H.: Neurooftalmología. En: Manual Clínico de Pequeñas Especies. Vol. II. Editado por: Bichard, S. J. y Sherding, R. G., 1482-1490, **Interamericana McGraw-Hill**, México, 1994.
66. Schaepdrijver, de, L., Simoens, P., Lauwers, H. and Geest, de, J. P.: Retinal vascular patterns in domestic animals. **Res. Vet. Sci.**, **47**: 34-42 (1989).
67. Schmidt, G. M. and Coulter, D. B.: Physiology of the eye. In: Textbook of Veterinary Ophthalmology. Edited by: Gelatt, K. N., 129-159. **Lea & Febiger**, USA, 1981.
68. Shively, M. J.: Anatomía Veterinaria. Básica Comparativa y Clínica. **El Manual Moderno**. México, 1993.
69. Simon, M.: Le fond d'œil normal chez les carnivores domestiques. **Rec. Méd. Vét.**, **165**: 297-299 (1989).
70. Slatter, Douglas: Fundamentos de Oftalmología Veterinaria. **Interamericana**, Argentina, 1992.
71. Taha, M., Ibrahim, I. A., Ahmed, A. T. G. and Mansour, A. A.: Some anatomical studies on the orbit in man, cat, goat and horse. **Assiut. Vet. Med. J.**, **27**: 20-41 (1992).
72. Tishman, G. D.: Afecciones de los párpados y la membrana nictitante del perro y el gato: Estudio recapitulativo. Tesis de licenciatura. **Fac. de Med. Vet. y Zoot.** Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., 1986.
73. Villa López, de, E. M.: El cristalino y sus enfermedades: Estudio recapitulativo. Tesis de licenciatura. **Fac. de Med. Vet. y Zoot.** Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., 1986.
74. Walde, I., Schäffer, E. H. and Köstlin, R. G.: Atlas of Ophthalmology in Dogs and Cats. **B. C. Decker Inc.**, Toronto, 1990.
75. Whitley, R. D., Gilger, B. C., Whitley, E. M. and McLaughlin, S. A.: Diseases of the orbit, globe, eyelids, and lacrimal system in the cat. **Vet. Med.**, **88**: 1150-1162 (1993).

76. Whitley, R. D., McLaughlin, S. A., Gigler, B. C. and Lindley, D. M.: The treatments for keratoconjunctivitis sicca. **Vet. Med.**, **86**: 1076-1093 (1991).
77. Wilke, David A.: Diseases and surgery of the eye. In: The Cat Diseases and Clinical Management. Vol. II. Edited by: Sherding, R., **W. B. Saunders Company**. USA, 1994.
78. Wilson, James A.: Fundamentos de Fisiología Animal. **Noriega Editores**. México, 1989.
79. Wyman, Milton: Manual de Oftalmología de los Pequeños Animales. **Salvat**. España, 1988.