

CAPÍTULO

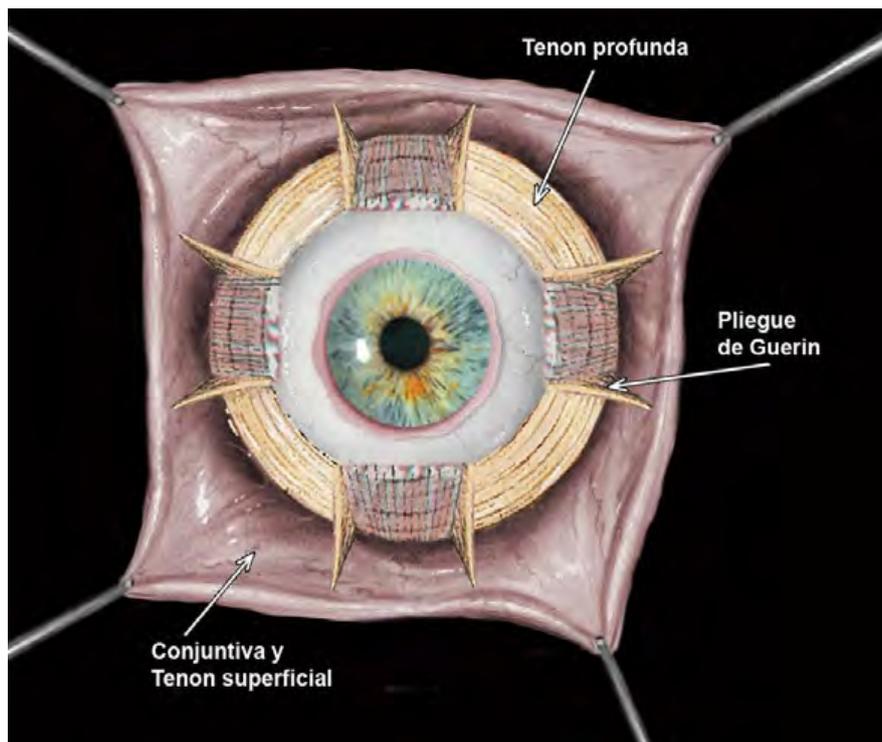
1

ANATOMÍA

José Perea

Lo que haga hoy es importante,
estoy utilizando un día de mi vida para ello.

Sed humildes. Los ríos más profundos
son siempre los más silenciosos.



Ante los hechos
no caben argumentos.

Es mejor encender una vela
que maldecir la obscuridad.

SUMARIO

CAPÍTULO 1.

Anatomía

	Página
1.1. La órbita y sus relaciones	5
Borde orbitario	7
Pared interna o medial de la órbita	7
Pared externa o lateral de la órbita	8
Techo orbitario	8
Suelo orbitario	9
Vértice	9
Orificios de la órbita	9
Periórbita	9
Senos periorbitarios	11
1.2. El globo ocular	12
Córnea	14
Conjuntiva	14
Esclerótica	15
Cámara anterior y ángulo iridocorneal	17
Iris	18
Cuerpo ciliar	19
Coroides	20
Cristalino	21
Humor vítreo	22
Retina	23
1.3. Las estructuras intraorbitarias	29
Músculos rectos	31
Músculo oblicuo superior	37
Músculo oblicuo inferior	39
Músculo elevador del párpado superior	39
Vainas musculares y sus expansiones	41
Capsula de Tenon	41
Ligamentos laterales de contención	44
Sistema de poleas	47
Grasa orbitaria	48
Vascularización de la órbita	48

	Página
Estructura y ultraestructura del aparato muscular	52
(Gentileza del Profesor Miguel Angel Zato)	
Estructura y ultraestructura de los músculos extraoculares	53
Fibras musculares estriadas	55
Inervación de las fibras musculares	58
Unión neuromuscular	59
Mecanismo de contracción	62
Tipos de fibras musculares	63
Inervación sensitiva de las fibras musculares	65
Tejido conjuntivo y tendones	66
Vascularización	68
Electromiografía	68
1.4. Vías del aparato visual	69
Sistema sensorial visual	69
Receptor visual	69
Vía óptica principal	74
Vía óptica extrageniculada o secundaria	79
Centro cerebral	81
Centro mesencefálico	85
Sistema motor visual	85
Organización supranuclear	85
Vía antero-superior (fronto-mesencefálica)	86
Vía postero-superior	88
Vía ascendente vestibular	88
Organización nuclear y de su nervios	89
III par craneal	89
IV par craneal	91
VI par craneal	92
Sistema sensitivo visual	93
Sistema autónomo	94
Función pupilar	94
Función acomodativa	100
Resumen funcional del aparato motor ocular	106
Bibliografía	108

Del maravilloso sentido de la vista parece que no se puede empezar á hablar sin prorrumpir en expresiones de sublime admiración y estático estupor. ¿Qué parte del hombre es la vista? ¿Qué parte es esta mayor que el mismo hombre? ¿Qué partecilla del mundo visible es ella, mayor que el mismo mundo?. La tierra por la visión entra en la vista sin enterrarla ni oprimirla. Entra el agua sin desleirla ni bañarla. Entra el fuego sin quemarla. Y con ella se mezcla el movable aire sin moverla. El cielo entra en la misma, y no la llena. Se abre, y dentro de sí recibe todo el mundo. Se cierra, y hecha de sí todo el mundo que había recibido. Vuela en un momento, llega á los cielos, recorre todos sus espacios, y visita todos sus desmedidos astros. ¿La vista va á estos, ó ellos vienen á la vista?. Y si esta no va, ni aquellos vienen, ¿cómo estando inmóviles se buscan y se encuentran?. ¿Cómo sucede que la vista, siempre que se abre, encuentra en su puerta las imágenes no menos de los cuerpos celestes más lejanos, que de los terrestres más vecinos?. ¿Quién trae estas imágenes, quien las pinta representando grandezas inmensas en un punto de materia frágil?. ¿Cómo en esta, mientras la vista ve objetos inmensos, se conserva inalterablemente su grandeza, el orden y la proporción de sus partes, y la variedad y viveza de sus colores ?. ¿Cómo este punto material, susceptible de las imágenes de todos los objetos visibles, las representa al espíritu; y cómo este en aquel punto las ve ser tales, cuales por el tacto halla ser ellas en sí ?.

Si estas dudas, que con expresión más poética que filosófica he indicado, las reduzco al examen de la física, temo caer en la ilusión si me atrevo a explicarlas. En la visión de los objetos hay mecanismo que se podrá llamar doble: esto es, hay un mecanismo que empieza en la superficie de la vista, y acaba en el cerebro, y en límites que no podemos distinguir, y que sabemos estar infinitamente distantes de los confines de la espiritualidad. Este segundo mecanismo es inexplicable é incomprensible: por lo que de él solamente se atreverá a hablar el que aprenda ó enseñe la ilusión.

Lorenzo Hervás y Panduro
(1735-1809)

1.1.

LA ÓRBITA Y SUS RELACIONES

En la parte superior del macizo óseo de la cara, en situación inmediata por debajo de la fosa cerebral anterior, por encima del seno maxilar, por delante de la región paraselar, por dentro de la fosa temporal y por fuera de las fosas nasales, se abren dos cavidades huesosas, simétricas y profundas, con forma de pirámide cuadrangular irregular, de vértice postero-interno y base anterior, denominadas **órbitas**. Su misión es alojar y proteger los globos oculares y tejidos blandos que los envuelven. (Figura 1).

Refiere el Abate **Lorenzo Hervás y Panduro (1800)**: *"... las partes de que consta el órgano de la vista están defendidas y rodeadas de huesos que forman un cerco fuerte. La vista, siendo sentido tan útil, necesario y delicado, debió ser guarnecido mucho más que los demás sentidos: no es capaz la naturaleza de conocer la mayor necesidad de defensa que tiene el noble sentido de la vista. Este conocimiento solamente le pudo tener el Autor de la misma naturaleza, y por esto proveyó de tanta*

defensa a la vista" ("El hombre físico", pág.86).

Las cuencas orbitarias, abiertas por delante, tienen la característica de que sus ejes principales, extendidos desde los vértices de ambas pirámides a los centros de sus bases virtuales (borde orbitario), forman entre sí ángulo de 42° a 45° (**Emmert, 1880**), que hacia atrás convergen en el centro de la silla turca. El eje orbitario, en sentido postero-anterior, se dirige hacia adelante, afuera, y abajo, configurando con el eje visual del ojo, cuando éste se encuentra en *posición primaria de mirada (PMM)*, un ángulo de 23° (**Duke-Elder, 1961**) (Figura 2).

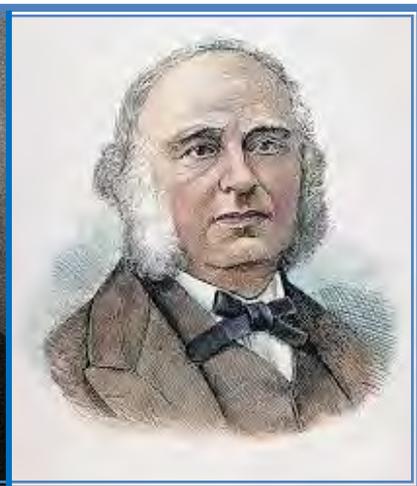
La profundidad de la órbita según **Friedrich Sigmund Merkel (1845-1919)** es 43,0 mm en el hombre y 40,5 mm en la mujer. La medición por ultrasonidos, da valores de 45 a 50 mm. La capacidad de la pirámide orbitaria está en la aproximación de 30 centímetros cúbicos. La separación entre órbitas, entendida como la distancia entre sus dos paredes mediales, es de 25 mm en el adulto (**Paul Pierre Broca, 1875**).



Lorenzo Hervás y Panduro
(1735-1809)



Friedrich Sigmund Merkel
(1845-1919)



Paul Pierre Broca
(1824-1880)

La órbita ósea está formada por 7 huesos individuales, unidos entre ellos por suturas: el frontal (*os frontale*), esfenoides (*os sphenoides*) y etmoides (*os ethmoides*) (por parte del neurocráneo), y el unguis (*os lacrimale*), maxilar superior (*os maxilla*), palatino (*os palatinum*) y malar (*os zygomaticum*) (por parte de esplanocráneo). La delimitación con la cavidad craneal, por arriba, lo constituyen el frontal y el esfenoides. Por dentro, la apófisis ascendente del maxilar superior, el unguis y el hueso

plano o lámina papirácea del etmoides, separan la órbita de las fosas nasales. Por abajo, el maxilar superior y el palatino la limitan del seno maxilar superior. Y por fuera, el malar y el esfenoides constituyen la frontera con la fosa temporal.

La cavidad orbitaria está constituida por cuatro paredes, que se dirigen del borde orbitario hacia el vértice: pared interna o medial (anteroposterior), pared externa o lateral (dirigida hacia atrás y adentro), techo y suelo orbitario.

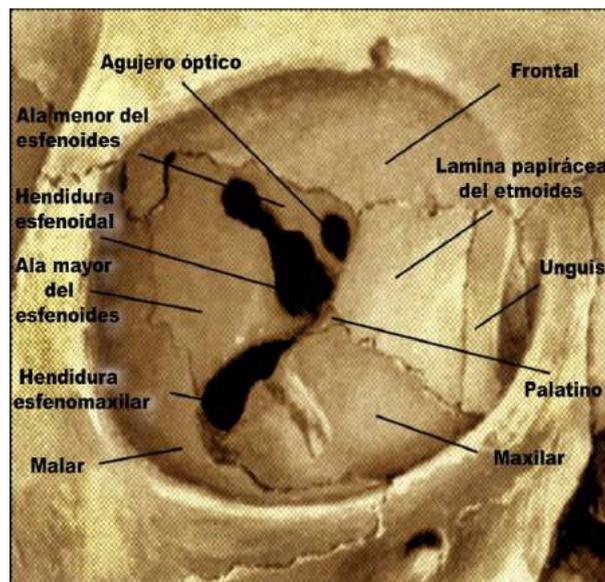


Figura 1. Orbits ósea derecha. Visión frontal.

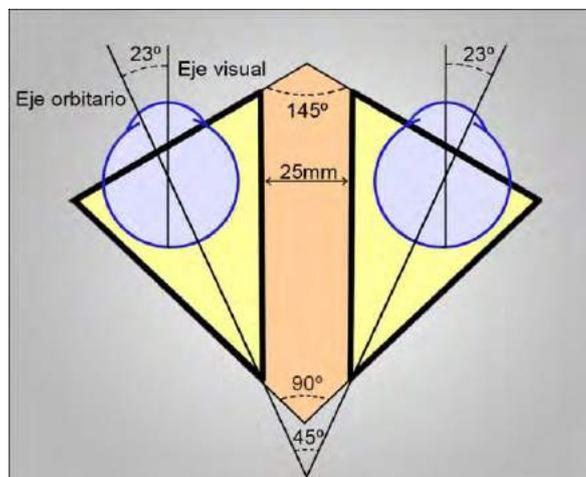


Figura 2. Esquema de los ejes orbitarios y visuales.

Muestra distancias y ángulos de las paredes orbitarias y de los ejes orbitarios y visuales de los ojos en posición primaria de mirada.

Borde orbitario (*margo orbitalis*)

La base (virtual) de la pirámide orbitaria (*aditus orbitae*) se define por el amplio orificio que, por delante, comunica con el exterior. Su límite (contorno) es el *borde orbitario (margo orbitalis)*, cuyo plano mira hacia delante, afuera y ligeramente hacia abajo. Así pues, los planos de las dos bases orbitarias no coinciden, sino que forman entre sí un ángulo obtuso abierto hacia atrás, con valor aproximado de 145° (Figura 2). Esto hace que el borde interno de la órbita sobrepase por delante al externo, lo que vuelve más indefenso al globo ocular por la zona externa dada su mayor accesibilidad a los agentes violentos. Por otra parte, es el lugar más accesible al oftalmólogo en cirugía de catarata, especialmente cuando los ojos están muy hundidos.

El *borde orbitario*, accesible a la palpación, tiene forma cuadrangular de ángulos redondeados. Mide 40 mm de ancho por 35 mm de alto. Algo más ancha en la mujer (0,7 mm), y un poco más alta (1,45 mm) en el hombre (**Seggel, 1890**).

El borde superior, cóncavo hacia abajo, es el que más sobresale por lo que ante una contusión es el más vulnerable. Lo forma el borde supraorbitario del hueso frontal. En la unión de su tercio interno con el tercio medio presenta la *escotadura supraorbitaria*, a veces (25% de los casos) cerrada por un frágil puente óseo, que la transforma en *agujero supraorbitario (foramen supra-orbitalis)* por donde discurren la arteria y el nervio supraorbitario. Este punto es importante a recordar en clínica por ser uno de los neurálgicos de la cara.

Por fuera, de borde más grueso y resistente, se encuentra constituido por la apófisis orbitaria del frontal y el hueso malar unidos por la sutura fronto-malar. Como dato importante a considerar es la existencia, a un centímetro por debajo de esta sutura e inmediatamente por detrás del borde, del *tubérculo de Withnall* o *tubérculo orbitario lateral*, lugar donde se inserta el ligamento palpebral externo, expansiones fibro-ligamentosas del músculo recto lateral

(ligamento de Withnall), y el músculo elevador del párpado superior.

Por abajo, el *borde orbitario* está formado por el hueso malar por fuera, y por la apófisis piramidal del maxilar superior por dentro, unidos en el entorno de la parte media por la sutura cigomático-maxilar. A este nivel, inmediatamente por debajo del borde, a 5 ó 6 mm, se abre el *agujero infraorbitario* por donde emergen los vasos y el nervio suborbitario.

Por dentro, la base de la órbita no es tan definida. Aquí, el borde inferior de la órbita se continúa con la *cresta lagrimal anterior (crista lacrimalis anterior)*, en tanto que el borde orbitario superior lo hace hacia abajo con la *cresta lagrimal posterior (crista lacrimalis posterior)*. De este modo, el borde orbitario interno queda mal delimitado, y determinado por ambas crestas, entre las que se sitúa la *fosa lagrimal*, que es el lugar donde se aloja el saco lagrimal. Como después veremos, sobre ambas crestas lagrimales anterior y posterior se insertan, respectivamente, el *tendón directo* y *reflejo del ligamento palpebral interno*.

Pared interna o medial de la órbita (*paries medialis o nasalis*)

Es cuadrilátera y dispuesta sagitalmente. La más pequeña de las cuatro paredes orbitarias, y paralela a la del otro lado. Está constituida de delante atrás por cuatro huesos: *cara lateral de la apófisis montante del maxilar superior, unguis (os lacrimale)*, *hueso plano del etmoides (lamina papyracea)* y la porción más anterior de la *cara lateral del cuerpo del esfenoides*.

Pared muy fina, que se relaciona por delante con la cavidad nasal y posteriormente con los senos etmoidales y esfenoidal. Su delgadez propicia la propagación fácil en la órbita de tumores e infecciones de los senos con los que se relaciona. Por su fragilidad son frecuentes las roturas traumáticas, aunque menos que las que se ven en el suelo orbitario. En el aspecto positivo esta tenuidad permite perforar con

facilidad el unguis en las obstrucciones del conducto nasal.

En el borde superior de esta cara, a nivel de la sutura etmoido-frontal, hay que destacar la existencia de dos orificios, que dan entrada a los canales etmoidales anterior y posterior. El *canal etmoidal anterior (foramen ethmoidale anterius)*, se talla a 20 mm del borde orbitario (base de la órbita), transcurriendo por él los vasos etmoidales anteriores y el nervio nasal interno. Por detrás de este canal, a 10 mm del mismo, lo hace el *canal etmoidal posterior (foramen ethmoidale posterius)*, que da entrada a los vasos etmoidales posteriores y a un filete nervioso muy delgado (inconstante), que es el nervio esfeno-etmoidal de **Hubert Luschka (1820-1875)**.

La *cresta lagrimal anterior (crista lacrimalis anterior)* se encuentra en la apófisis montante del maxilar superior, en tanto que la *cresta lagrimal posterior (crista lacrimalis posterior)* se halla en plena cara interna del unguis separando en dos partes este hueso. Entre ambas crestas existe una concavidad o fosa alargada, llamada *fosa lagrimal (fossa sacci lacrimalis)*, donde se ubica el saco lagrimal. Esta formación acanalada se continúa hacia abajo con el *conducto lácrimo-nasal*, de 13 ó 14 mm de longitud, que desemboca en el meato inferior de la fosa nasal, a 3 cm de la entrada (bajo el cornete inferior).

En la *cresta lagrimal anterior* se inserta el tendón directo del ligamento palpebral interno, y en la cresta lagrimal posterior lo hacen el tendón reflejo del mismo ligamento y el músculo de Horner, que, destacándose de la cara posterior del tendón directo, abraza por detrás al saco lagrimal. A este mismo nivel, se fijan el septum orbitario, el músculo de Horner y el ligamento de contención del recto medio.

Pared externa o lateral de la órbita (paries lateralis o temporalis)

De forma triangular con base anterior y ligeramente excavada, esta pared orbitaria,

la más gruesa y resistente de todas, se dirige desde el vértice orbitario hacia adelante y afuera determinando ángulo de 45° con el plano sagital. Corresponde externamente a la fosa temporal, que engloba el músculo temporal.

Está formada por tres huesos: por delante, la *cara orbitaria del malar (facies orbitalis os zygomaticum)* y la *apófisis orbitaria externa del frontal*, unidos por la sutura fronto-malar; por detrás la *cara orbitaria del ala mayor del esfenoides (facies orbitalis ala magna)*, que queda separada del techo orbitario por la *hendidura esfenoidal (fissura orbitalis superior o fissura orbitalis cerebralis)*, y del suelo de la órbita por la *hendidura esfeno-maxilar (fissura orbitalis inferior o fisura sphenomaxillaris)*.

En esta pared lateral de la órbita, citado antes, se encuentra el *tubérculo de Withnall o tubérculo orbitario lateral*, donde se inserta el ligamento palpebral externo y una formación ligamentosa destacada del recto lateral, que corresponde al ligamento de contención del músculo recto lateral.

Próximo al suelo orbitario e inmediatamente por delante del extremo anterior de la *hendidura esfeno-maxilar (fissura orbitalis inferior)* se aprecia una depresión pequeña y alargada, que es la fosa cigomática, horadada por los vasos y nervios cigomáticos.

Techo orbitario, Pared craneana o Pared superior (facies superior)

La pared superior o techo de la órbita es bastante delgada, sobre todo en su zona media, lo que explica la facilidad de su lesión y hundimiento en los traumatismos.

Constituye el suelo de la fosa cerebral anterior, que aloja el lóbulo frontal del cerebro. Tiene forma triangular. Lisa y con superficie cóncava suave, está formada mayormente y por delante por la *lámina orbitaria del hueso frontal* y, en menor proporción y posteriormente, por el *ala menor del esfenoides*, unidas ambas formaciones óseas por la sutura fronto-

esfenoidal.

En su porción más anterior y externa, el techo orbitario se encuentra socavado por la *fosa de la glándula lagrimal (fosa glandulae lagrimalis)*, en donde queda alojada. En el ángulo antero-interno, inmediatamente por detrás del borde orbitario (a 4 ó 5 mm), se talla una depresión rugosa, la *fosa troclear (fovea trochlearis)*, donde se inserta un anillo fibrocartilaginoso, que es la *tróclea* o polea del músculo oblicuo superior, punto anatómico importante por ser el lugar en el que se refleja el tendón de este músculo para, cambiando de dirección, dirigirse al globo ocular y hacer su inserción anatómica en la esclera. La *tróclea*, en lo que se refiere a efecto fisiológico y comprensión de la acción, es el verdadero origen del músculo oblicuo superior.

Suelo orbitario, Pared maxilar o Pared inferior (paries inferior)

De configuración igualmente triangular está constituido en su mayor parte por la *apófisis piramidal del maxilar superior (facies orbitalis maxillae)*, completada hacia fuera por la cara interna de la *apófisis orbitaria del malar (facies orbitalis os zygomaticum)*, y por detrás por la cara superior de la *apófisis orbitaria del hueso palatino (processus orbitalis ossis palatini)*. Esta fina pared separa la órbita del seno maxilar, relación a tener en cuenta por la influencia que los procesos inflamatorios del seno pueden tener sobre las estructuras intraorbitarias. Así mismo, es zona especialmente vulnerable en las fracturas.

En la parte más anterior e interna del suelo orbitario, en una pequeña fosa que deprime la cara orbitaria del maxilar superior, situada en el borde externo del orificio superior del canal lácrimo-nasal, tiene su origen tendinoso el músculo oblicuo inferior.

Otro detalle anatómico que merece la pena resaltar es el *surco suborbitario (sulcus infraorbitalis)*. Arranca del borde anterior de la *hendidura esfeno-maxilar (fissura orbitalis inferior o sphenomaxillaris)* dirigiéndose hacia

adelante, para transformarse en el *conducto suborbitario (canalis infraorbitalis)* en su porción adelantada. Emerge al exterior en la cara geniana del maxilar superior, a 5 ó 6 mm por debajo del borde orbitario, en el *agujero suborbitario (foramen infraorbitale)*. Por él transcurren los vasos infraorbitarios y el nervio suborbitario, rama terminal del nervio maxilar.

Vértice orbitario (ápex)

Se corresponde topográficamente con el extremo interno de la *hendidura esfenoidal*, a nivel del *tubérculo infraóptico*, situado inmediatamente por debajo del *agujero óptico*, el cual se encuentra tallado entre las dos raíces del ala menor del esfenoides. En el *tubérculo infraóptico* se inserta el tendón que describió **Johan Gottfried Zinn** en **1755 (tendón de Zinn)**, que es el lugar donde tiene su origen los cuatro músculos rectos, el oblicuo superior y el elevador del párpado.



Johann Gottfried Zinn (1727-1759)

Orificios de la órbita

Hendidura esfenoidal (fissura orbitalis cerebralis)

Grieta o abertura alargada, con forma de vírgula, que desde el vértice orbitario se dirige hacia arriba, afuera y adelante,

separando las alas menor y mayor del esfenoides o, si se quiere, desune el techo de la pared lateral de la órbita en su porción posterior (Figura 1). Esta hendidura, más ancha por detrás a nivel del ápex, pone en comunicación la órbita con el piso medio de la base del endocráneo, donde se encuentra el seno cavernoso paraselar extradural, estructura singular de la que constituye su límite anterior.

Según **Henri Rouvière (1926)**, en la parte adyacente interna de la hendidura esfenoidal, inmediatamente por debajo del agujero óptico, se encuentra el *tubérculo infraóptico*, donde se inserta una formación fibrosa de color blanco nacarado, denominada *tendón de Zinn*. Este se divide en 4 bandas tendinosas divergentes (supero-externa, supero-interna, infero-externa e infero-interna), de las que nacerán, en el espacio existente entre cada dos bandas, los cuatro músculos rectos.

La banda fibrosa supero-externa del *tendón de Zinn* está perforada por un orificio ovalado de unos 5 mm, que es el *anillo de Zinn*, atravesado por el VI par, las ramas superior e inferior del III, la vena oftálmica media, el nervio nasal o naso-ciliar, y la raíz simpática del ganglio oftálmico.

Por fuera del anillo de Zinn, por la parte más estrecha de la hendidura esfenoidal, entran en la órbita los nervios lagrimal y frontal, el IV par craneal, las venas oftálmicas superior e inferior y, ramas de la arteria meníngea media.

Canal óptico (canalis fasciculi optici)

El agujero óptico está situado, prácticamente, a nivel del ápex orbitario, inmediatamente por encima del tubérculo infraóptico y del extremo interno de la hendidura esfenoidal. Redondo u ovalado, de 5 mm de diámetro, constituye el orificio de entrada del canal óptico. Queda tallado entre las *dos raíces, superior e inferior del ala menor del esfenoides*.

El canal óptico comunica la órbita con

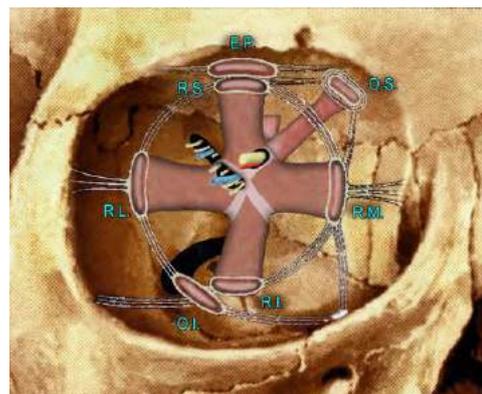
el piso medio de la base del cráneo.

La banda supero-interna del *tendón de Zinn* cubre el agujero óptico, aunque perforada a su nivel para permitir el paso a la órbita del nervio óptico y de la arteria oftálmica. Esta última queda por fuera y debajo del nervio.

Hendidura esfenomaxilar (fissura orbitalis sphenomasillaris)

De longitud aproximada a 20 mm, y oblicua hacia adelante y afuera, su extremidad anterior se sitúa a 15 mm del reborde orbitario. Se corresponde con el límite entre el suelo y la pared orbitaria lateral en su porción posterior (Figura 1). En su formación intervienen: el *borde inferior del ala mayor del esfenoides* por arriba, la *apófisis piramidal del maxilar superior* por abajo y la *apófisis orbitaria del palatino* por detrás. Más ancha por delante (aunque muy variable, puede alcanzar hasta 1cm), se encuentra recubierta por la periórbita. A su nivel, la órbita mantiene relación con la fosa pterigomaxilar por delante, y con la fosa cigomática por detrás.

Por la hendidura esfenomaxilar pasa a la órbita, desde la fosa pterigomaxilar, el nervio maxilar superior. También, la atraviesan los plexos venosos pterigoideos, filetes nerviosos periósticos del ganglio esfenopalatino, y venas comunicantes (venas de Walter) situadas entre la oftálmica inferior y los plexos venosos pterigoideos.



Tendón de Zinn (Henri Rouvière). Ver Figura 6

Periórbita

La periórbita (**Winckler**), se considera como la prolongación de la duramadre. De color blanco nacarado, se expande desde los agujeros posteriores de la órbita (agujero óptico, hendidura esfenoidal y hendidura esfeno-maxilar) hacia adelante constituyendo una membrana fibrosa delgada, formada por colágeno, que tapiza la cavidad ósea orbitaria. Delgada y transparente en su porción anterior, se hace gruesa y robusta en las inmediaciones del vértice orbitario. Es fácilmente despegable del hueso.

Por su cara interna se continúa con el canal lácrimo-nasal. Por delante termina en el borde orbitario en el que se adhiere y engrosa formando un anillo donde se fija el septum orbitario.

La periórbita manda expansiones de tejido conjuntivo hacia algunos elementos intraorbitarios, en especial al tejido adiposo, separándolos en lóbulos, y a las vainas musculares, constituyendo un componente más del sistema fibroelástico suspensor del globo ocular.

Senos periorbitarios

Cada órbita se encuentra rodeada por los senos periorbitarios (Figura 3): frontales, maxilares, etmoidales y, esfenoidales. La relación de la órbita con ellos es de gran importancia en determinados procesos (inflamaciones, traumatismos y tumores), que van a conformar parte de la patología orbitaria.

El *seno frontal* es una celda etmoido-frontal de dimensión variable. Se sitúa por encima del techo de la órbita, en posición anterior y medial, en el ángulo que forma el frontal y su apófisis orbitaria. Tienen forma de pirámide triangular de, aproximadamente, 2 cm de altura. La cara inferior, con sus dos porciones: lateral u orbitaria y medial o etmoidal, es muy delgada.

El *seno maxilar* (*antro de Highmore*), cavidad aérea que ocupa el cuerpo del maxilar superior, se encuentra por debajo del suelo de la órbita. La frágil pared interna de la órbita, la separa de las *fosas nasales* en su porción anterior. Más posteriormente, de las *células etmoidales* y, aún más detrás, del *seno esfenoidal*.

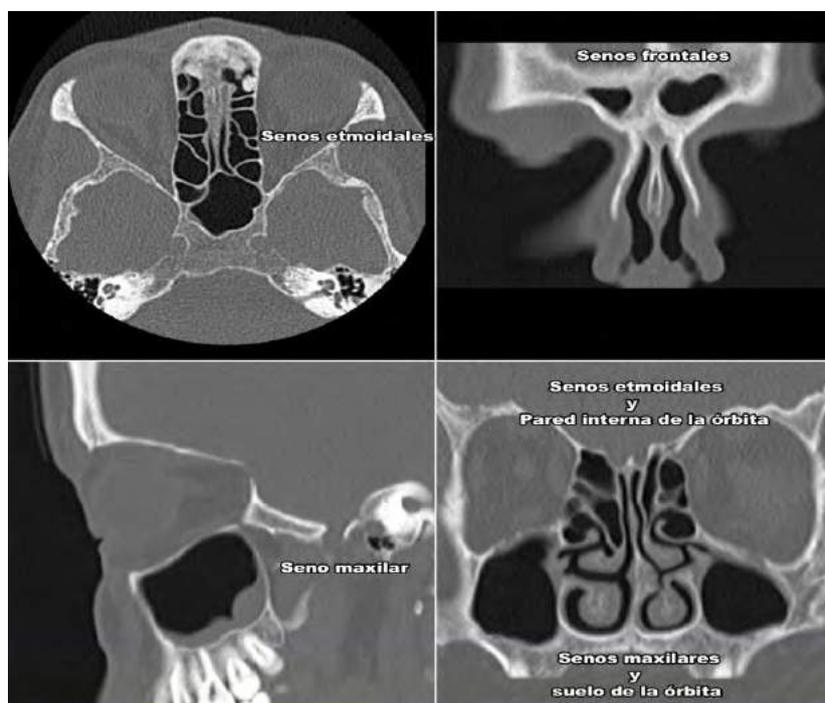


Figura 3. Senos periorbitarios y su relación con las órbitas.

1.2.

EL GLOBO OCULAR

El ojo, pequeño y extraordinario aparato integrado en el sistema de la visión, presenta la capacidad de poder administrar las informaciones que le llegan, diferenciando en su membrana nerviosa las del área central (mácula) con relación a las periféricas.

El globo ocular, protegido por delante por esas dos puertas de ligereza increíble, como dice **Lorenzo Hervás (1800)**, que son los párpados, representa un esferoide bastante regular, algo aplastado en sentido vertical. Según **Mario-Filiberto-Constant Sappey (1854)**, el diámetro medio antero-posterior en el individuo normal adulto es 24,60 mm; más corto el diámetro vertical (23,50 mm), diferencia motivada por el efecto protruyente de la córnea, que es un pequeño segmento de esfera de menor tamaño engastado en el resto a modo de cristal de reloj; el diámetro transversal del ojo es 23,90 mm. En la mujer, todas estas cifras son de cinco a seis décimas de milímetro más pequeñas que en el hombre. Los valores dados por **Sappey** son parecidos a los que aportó **Friedrich Sigmund Merkel (1901)**. Al nacer, el diámetro antero-posterior es de 16 a 18 mm.

Desde un punto de vista práctico, el globo ocular puede considerarse como una esfera de 12 mm de radio.

El peso medio del ojo es 7,14 gramos (**Jean Léo Testut, 1895**). Su volumen aproximado de 6,5 ml.



Jean Léo Testut
1849-1925

Situado el globo ocular en el centro de la parte anterior de la órbita, en posición primaria de mirada (PPM) el eje óptico forma con el eje principal de la pirámide orbitaria un ángulo de 23°. El ojo en PPM está más cerca de la pared externa o temporal (6 mm) que de la interna o nasal (11 mm), y a distancia parecida del techo (9mm) y del suelo orbitario (11mm) (**Testut, 1895**). El espacio que hay entre las paredes de la órbita y el ojo está ocupado por un tejido conectivo laxo con grasa, estrechándose este ambiente conforme nos acercamos al reborde orbitario, lugar donde queda una estrecha hendidura en la que apenas podemos introducir el dedo sin provocar fosfenos. Tan solo en la parte inferior y externa esta abertura es algo más importante.

El polo anterior (ápex corneal) sobresale discretamente con respecto al plano del borde orbitario, y de ahí su gran vulnerabilidad en traumatismos, especialmente en la zona temporal, donde está más desprotegido (**Merkel, 1901**). Este dato presenta importantes variaciones individuales.

Estudiamos el globo ocular constituido por tres cubiertas: esclero-córnea (*membrana fibrosa*), coroides (*membrana vascular*), retina (*membrana nerviosa*), y un contenido (humor acuoso, cristalino y humor vítreo). (Figura 4). Se compone de dos partes, distintas por el papel que desempeñan: la media esfera anterior encargada de la transmisión, y la media esfera posterior responsable de la receptividad de las sensaciones.

La córnea, junto con el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo, dotados de gran transparencia, constituyen el *sistema óptico o dióptrico* del ojo, que, atravesado por la luz, va a determinar, en función del índice de refracción de cada uno de ellos, su llegada

retiniano.

Las estructuras transparentes del ojo permiten la entrada de una categoría de longitudes de onda extendida entre 310-2500 nm. Sin embargo, la membrana nerviosa retiniana solo es sensible a longitudes de onda entre 400 y 700 nm (luz violeta a luz

roja), si bien esta sensibilidad espectral es distinta según la iluminación ambiental. Este fenómeno se debe a que en condiciones de iluminación importante trabaja el sistema de conos (fotópico), en tanto que en condiciones de baja iluminación trabaja el de bastones (escotópico).

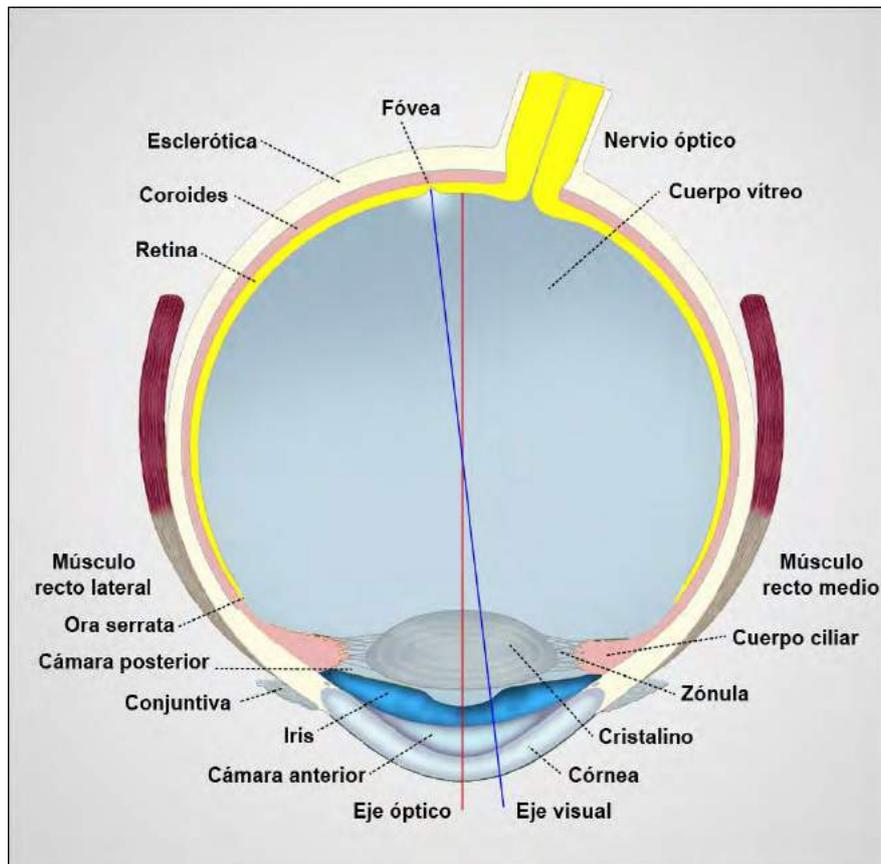


Figura 4. Esquema de un corte del globo ocular con sus componentes.

VALORES MEDIOS DEL GLOBO

Sapey (1854)

Diámetro anteroposterior	24,60 mm
Diámetro vertical	23,50 mm
Diámetro transverso	23,90 mm

Córnea

Su denominación, procedente del latín (*corneus*), viene de que al morir esta estructura toma un aspecto córneo.

Junto con la esclerótica, la córnea representa la envoltura fibrosa del globo ocular. En la unión o transición entre estas dos membranas, en virtud de sus diferentes curvaturas, se aprecia un ligero estrangulamiento, que es el *sillón escleral* o *surco escleral externo*.

En contacto con el espacio exterior, su casi perfecta transparencia garantiza a esta lente convergente la transmisión y refracción de la luz que sobre ella incide. La gran importancia de su poder dióptrico (+43 D), el más importante de todos los contenidos en el ojo, aporta un papel esencial en la llegada de estímulos al receptor visual (retina).

La córnea es avascular (no posee ni vasos sanguíneos ni linfáticos). Su nutrición se realiza por difusión desde la red capilar pericorneana ubicada a nivel del limbo, y, también, desde el humor acuoso de la cámara anterior. Está ricamente inervada por filetes procedentes de los nervios ciliares largos, que le conceden exquisita sensibilidad, en especial táctil y dolorosa (**Boucheron, 1890**).

Tiene forma de casquete de esfera (convexo por delante y cóncavo por detrás), de 7,8 mm de radio de curvatura referido a la cara anterior (**Donders, 1884**). Entre el centro de curvatura de la córnea y el del globo ocular, que como dijimos antes tiene un radio de 12 mm, hay un intervalo de 5 mm.

La periferia corneal está delimitada por una zona translúcida, de 1,5 mm de anchura, llamada *limbo esclero-corneal*, donde confluyen conjuntiva, córnea y esclerótica.

Vista por delante, presenta forma ligeramente elíptica, con el eje horizontal algo mayor (12 mm) que el vertical (11 mm). Su diámetro medio, pues, es de 11,5 mm. Si miramos la córnea por detrás, es prácticamente circular con diámetro de 13 mm. Su espesor varía de 0,48 a 0,67 mm, con un valor medio de 0,55 mm (**von Bahr, 1956**), más importante en la periferia (0,70 mm) que en el centro. El índice de refracción corneal,

según **Matthiessen**, es 1,3771, corroborado por **Yves Le Grand (1945)**.

Sir William Bowmann (1847) describió las cinco capas que, estructuralmente, forman la córnea: *epitelio pavimentoso estratificado*, *membrana de Bowman-Reichert*, *estroma* o *sustancia propia de la córnea*, *membrana de Jean Descemet (1732-1810)* o *membrana de Antoine Pierre Demours (1762-1810)*, y *endotelio* o *epitelio posterior*.



Sir William Bowman (1816-1892)

Por delante, la córnea se pone en contacto con el exterior y con la cara posterior de los párpados a través de la *película lagrimal*. Esta, con sus tres capas (lipídica, acuosa y mucínica), mantiene humidificación constante, cuya regularidad confiere a la córnea un pulido excepcional, esencial para el mantenimiento de su calidad óptica. Por detrás, se relaciona con la cámara anterior, quedando bañada su cara posterior, de modo permanente, por el humor acuoso.

Conjuntiva

Membrana transparente, que se extiende desde el limbo corneal hasta el borde libre de los párpados (inmediatamente por detrás de los orificios de salida de las glándulas de Meibomio). Cubre el globo ocular por delante, para, a continuación, reflejándose, tapizar los fondos de saco y revestir la cara posterior de los párpados. Esta mucosa se relaciona de forma íntima con el

globo ocular, los párpados y el tejido conjuntivo de la órbita, lo que permite el movimiento del ojo sin prolapso de conjuntiva excedente. Esto, junto a las expansiones fibrosas que emiten los músculos a la conjuntiva, es causa de que globo ocular, conjuntiva y fondo de saco formen un todo que se desplace al mismo tiempo.

Su función es proteger la superficie del ojo aislándola del exterior, y proporcionar, mediante las células caliciformes, la capa mucosa del film lagrimal.

Se distinguen tres partes bien diferenciadas: *conjuntiva bulbar*, *conjuntiva del fórnix* y *conjuntiva palpebral* o *tarsal*.

Su transparencia permite ver los tejidos que tapiza. Se encuentra fija a los planos profundos a nivel del limbo y de la conjuntiva tarsal.

La *conjuntiva bulbar* recubre la esclera dejando percibir su color blanco. Se encuentra separada de ella por la *capa externa de la cápsula de Tenon*, quedando entre ambas un espacio cuyo contenido es tejido celular laxo por donde discurren los vasos conjuntivales. A dos-tres milímetros de la córnea este espacio desaparece, y es el lugar donde cápsula de Tenon y conjuntiva se hallan íntimamente unidas formando el *anillo conjuntival*, que está insertado en la esclera perilímbica. En su parte interna la conjuntiva hace un repliegue conocido como *pliegue semilunar* o *repliegue falciforme*, e inmediatamente por dentro del mismo se encuentra un pequeño saliente nodular con aspecto verrucoso: la *carúncula lagrimal*.

La *conjuntiva de los fondos de saco* corresponde a la porción conjuntival más laxa. Los fondos de saco superior e inferior reciben expansiones fibrosas de diferentes músculos. El superior, del recto vertical superior y del elevador del párpado; el inferior, del recto vertical inferior. En el ámbito de los fondos de saco se ubican las *glándulas de Krause*, y más próximas al tarso las *glándulas de Wolfring*. Ambas glándulas, junto a la *glándula lagrimal*, originan la capa acuosa de la película lagrimal.

La *conjuntiva tarsal* está íntimamente adherida a la cara interna del párpado, apreciando a través de ella, dada su

transparencia, las *glándulas de Meibomio*. Estas, junto a las glándulas de Zeiss, proporcionan la secreción sebácea que constituye la capa lipídica externa del film lagrimal.

La vascularización de la conjuntiva corre a cargo de las *arterias palpebrales* y las *arterias ciliares anteriores*. Las *arterias palpebrales* que, mediante dos arcadas circulando por la cara anterior del tarso, irrigan la conjuntiva tarsal, la conjuntiva del fórnix, y la conjuntiva bulbar. Las *arterias ciliares anteriores*, antes de penetrar la esclera para conformar junto con las arterias ciliares largas el *círculo arterial del iris*, dan ramas dirigidas a la conjuntiva del limbo, y algunas recurrentes, que van a unirse con las arterias conjuntivales posteriores procedentes de las arterias palpebrales.

El sistema venoso (*venas conjuntivales*) desemboca en las *venas palpebrales*, subsidiarias de las oftálmicas, y en las *venas ciliares anteriores*, que derivarán en las musculares.

La inervación se debe al *frontal*, *suborbitario*, *nasal* y *lagrimal*.

Esclerótica

Membrana externa del globo ocular, es opaca, poco diáfana, y de color blanco en el adulto. Visible a través de la conjuntiva, representa la cubierta fibrosa resistente e inextensible que le da solidez, lo recubre y preserva como si se tratara de una cápsula protectora. Exceptuamos su continuidad en: su área más anterior, correspondiendo a una sexta parte de la misma, en cuyo borde circular (*bisel escleral*) queda anclada la córnea, y la interrupción posterior de 1,5 mm a nivel de su cara interna y de 3,0 mm en la externa, por donde se une a la vaina dural del nervio óptico. Este cono truncado compete al canal escleral, que contiene la *lámina cribosa* (trabéculas entrecruzadas en correspondencia a la parte más profunda de la esclera), por donde entran las fibras del nervio óptico. En el niño, la esclerótica presenta matiz azulado, en tanto que amarillea en el anciano.

Su grosor más importante se encuentra en el polo posterior (1 mm). Más fino en el espacio comprendido entre el limbo y las inserciones musculares (0,6 mm) y más aun bajo los músculos (0,3 mm) y a nivel del ecuador (**Philibert-Constant Sapey, 1854**). Esto es importante desde el punto de vista quirúrgico. Particularmente en cirugía de la motilidad extrínseca y del desprendimiento de retina. No obstante, son valores individuales. La esclerótica es más delgada en el niño, y, también, es ligeramente menos gruesa en la mujer que en el hombre. Por lo común muy débil en las personas miopes.

En el aspecto histológico la esclerótica está constituida por una sustancia intersticial de naturaleza muco-polisacarídica, en la que se disponen un complejo entrecruzado de láminas colágenas entremezcladas con láminas elásticas. Entre los fascículos laminares se aprecian algunas células fusiformes.

La cara interna de la esclerótica se relaciona con la coroides a través del *espacio supracoroideo de Schwalbe*. Este espacio virtual es atravesado de atrás adelante por las dos *arterias ciliares largas posteriores*, procedentes de la oftálmica, que caminan por el mismo para formar, junto con las ciliares anteriores, el círculo arterial mayor del iris. Se acompañan de los dos nervios ciliares largos, nacidos del nasal, que, tras penetrar por el polo posterior del globo, discurren, también, en el mismo sentido hasta llegar al cuerpo ciliar. En su parte más anterior, la esclerótica se funde a la coroides en la zona que da inserción al músculo ciliar, donde se relacionan.

La cara externa está en contacto con la cápsula de Tenon a través de la epiesclera (lámina epiescleral), que es un tejido conjuntivo fasciculado laxo, muy vascularizado por ramos procedentes de las arterias ciliares posteriores y anteriores. La esclera, por sí misma, tiene escasa vascularización.

Los datos anatómicos más importantes que reseñar de su cara externa son las inserciones musculares, que, sobre esta membrana dotada de gran resistencia,

realizan los músculos rectos formando la *espiral de Tillaux*, y, de igual modo, los músculos oblicuos superior e inferior, cuya inserción anatómica se hacen en los cuadrantes temporales posteriores, superior e inferior respectivamente.

Otro dato a señalar son los orificios que alrededor del nervio óptico, y en número variable (15 a 20), marcan el paso de las arterias y nervios ciliares cortos posteriores. Por fuera de este círculo, la esclerótica es perforada por las arterias y nervios ciliares largos. Estos vasos ciliares largos (arteria ciliar larga interna y externa) caminan de atrás adelante por la supracoroides, a las III y IX horas, acompañados de los filetes nerviosos correspondientes. Son vasos visibles por oftalmoscopia.

Elemento de interés es la salida de las venas vorticosas, que en número de cuatro emergen a nivel de los meridianos de 45°, ligeramente por detrás del ecuador. De especial relieve es la de la vortica temporal superior, que lo hace a 2 mm de la inserción del oblicuo superior y la de la vortica temporal inferior, que se encuentra debajo de la porción terminal del oblicuo inferior, a 8 mm de su inserción escleral y a 1 mm por delante de su borde posterior.

Por último, referir que las *arterias ciliares anteriores*, procedentes de las arterias musculares, perforan la esclera a la altura de la inserción de los músculos rectos, que, en comunión con las *arterias ciliares largas posteriores*, que, como sabemos, vienen caminando por el *espacio supracoroideo de Schwalbe*, van a formar el círculo arterial mayor del iris. Es interesante detallar, asimismo, que la rama externa de la arteria muscular infero-interna, derivada del recto inferior, formando un pedículo con la vena y el nervio, entra en el oblicuo menor por su borde posterior en el lugar en que atraviesa el borde externo de la cara inferior del recto inferior, a unos 12 mm del extremo temporal de la inserción escleral de este músculo.

La vascularización de la esclerótica es muy pobre. La nutrición corre a cargo de ramos que proceden de una red arterial de amplias mallas, que recubre su cara externa.

Procede de las arterias ciliares cortas posteriores y de las arterias ciliares anteriores.

El sistema venoso drena en las venas ciliares anteriores y en las vorticosas.

La inervación procede de los nervios ciliares.

Cámara anterior y ángulo iridocorneal

La cámara anterior es el espacio que existe entre la cara posterior de la córnea (por delante), y la cara anterior del iris en su porción media y periférica y la lente cristalina a nivel de la pupila en su zona central (por detrás).

La profundidad de esta cámara es de 3 a 4 mm en individuos normales. **Marius Hans Erik Tscherning (1898)** en su "Optique Physiologique" (pág. 26) da como cifra 3,54 mm. Más profunda en ojos miopes y menor en hipermétropes.

La cámara anterior está ocupada por el humor acuoso. Es un líquido incoloro (0,4 c.c.), con índice de refracción 1,3342, transparente, fluido como el agua, en continua circulación (su renovación total se hace entre 1-2 horas). Segregado por el epitelio ciliar, recubre los procesos ciliares a nivel de la cámara posterior. Pasa por el orificio pupilar a la cámara anterior, para escapar del ojo a nivel del ángulo de ésta (seno iridocorneal) por dos salidas: la *malla trabecular* (canal de Schlemm, canales colectores, venas acuosas y circulación venosa episcleral) y la *vía uveo-escleral* (raíz del iris, malla uveal y espacio supracoroideo).

El humor acuoso es elemento esencial para la aportación nutricional de la córnea y del cristalino, y el mantenimiento de la tensión del globo. Constituye, con su índice de refracción y su gran transparencia, uno de los componentes del sistema óptico del ojo.

El ángulo iridocorneal (*seno iridocorneal de Archimede Busacca*) es la porción más periférica de la cámara anterior y el lugar de unión o continuidad entre la cara posterior de la córnea y la anterior del iris. Su

exploración se realiza mediante gonioscopia con la lente de Goldmann. La entrada a este ángulo puede ser más o menos ancha, siendo, por lo común, amplia en los ojos miopes y angosta en los hipermétropes. A su nivel, son apreciables dos bandas concéntricas, una oscura y posterior, que es la *banda del cuerpo ciliar*, y otra clara y anterior, que es la *banda escleral*

La *banda escleral* se encuentra delimitada por delante por una línea de color blanquecino, estrecha, no fácil de identificar a veces, que es el *anillo de Schwalbe*, que coincide con el lugar donde el endotelio trabecular se une al corneano y a cuyo nivel termina la membrana de Descemet. Por detrás está limitada por una línea brillante, prominente y blanquecina, que compete al *espolón escleral*. La superficie de la *banda escleral*, conocida como *trabeculado* o *sistema trabecular* (Rochon-Duvigneaud), *ligamento cribiforme* (Henderson) o *retículo escleral* (Virchow), se extiende entre las *líneas de Schwalbe* y la del *espolón escleral*; es lisa, brillante, avascular y de color grisáceo, tiñéndose de color castaño conforme el paciente aumenta en edad. En el fondo del *trabeculado* se ubica el *canal de Schlemm* (*círculo venoso de Leber* o *seno escleral de Rochon Duvigneaud*), descubierto por el anatomista alemán **Friedrich Schlemm (1830)**, que no es visible normalmente por gonioscopia, salvo cuando se llena de sangre. Cuando se percibe de modo espontáneo en el vivo, se manifiesta a modo de una línea ligeramente oscura (**Ernst Fuchs, 1900**).

La *banda del cuerpo ciliar* se encuentra entre la banda escleral y la raíz del iris. Es la parte visible del cuerpo ciliar desde la cámara anterior. Su superficie, extendida entre la raíz del iris y la línea del *espolón escleral*, más o menos ancha según sea la inserción del iris en el cuerpo ciliar, es de color castaño oscuro. A veces, se observan a este nivel ciertas bandas que cruzan a modo de puente desde el iris al cuerpo ciliar, y que se pueden extender hasta la línea del *espolón escleral* (*trabéculas irídicas de Salzmann*).

Uvea

La úvea (del latín *uvea*, uva), compuesta por el iris, cuerpo ciliar y coroides, constituye la membrana vascular del ojo.

Iris

Del griego *iris*, arco iris, corresponde al segmento más anterior del tractus uveal. Es una membrana elástica de 12 a 13 mm de diámetro y de 0,5 mm de espesor, bañada por el humor acuoso, que, situada frontalmente, separa la cámara anterior de la posterior del ojo.

Presenta en el centro una abertura circular, la pupila o “niña”, cuyo diámetro varía de 2 a 8 mm de acuerdo al nivel de iluminación. Permite y limita la luz que entra en el globo, consiguiendo que su paso sea por el lugar más adecuado del aparato dióptrico ocular. Al regular la cantidad que penetra, participa en el ojo con el mismo papel que el diafragma en los aparatos de fotografía. También articula la profundidad de campo. Así mismo, el diámetro pupilar varía de acuerdo a otros factores: visión de objetos próximos, emociones y fármacos, sin olvidar la disminución de su tamaño con la edad.

Con frecuencia, la pupila ocupa una posición ligeramente excéntrica, desplazada 0,2 mm hacia adentro y 0,5 mm hacia arriba (**Baslini, 1905**).

Su periferia se inserta sobre el cuerpo ciliar, formando con la membrana externa corneo-escleral un surco circular que **Druault (1912)** llamó “*surco peri-iridiano*” (“Anatomie du globe de l’oeil” pág. 415). Corresponde al seno iridocorneano o ángulo camerular, a nivel del que se encuentran las estructuras de drenaje del humor acuoso. El borde circular central, que constituye la pupila, se apoya en la cara anterior del cristalino sobre el que resbala en los movimientos reflejos fotomotores controlando la entrada de luz al ojo.

La cara anterior, anfractuosa, irregular y socavada por depresiones (*criptas de Fuchs*), en la unión de su tercio interno con los dos

externos presenta el *collarete del iris*, elevación circular e irregular que la divide en dos porciones: la interna, delgada, de aproximadamente 2 mm de ancho o *zona pupilar*, y la externa, más ancha (de unos 4 mm) y más espesa, con una serie de pliegues circulares concéntricos o *zona ciliar*. Esta cara del iris presenta coloración, que va desde los tonos azules claros a marrones oscuros, debido a la mayor o menor pigmentación del estroma y del espesor del epitelio pigmentado. **Martínus Martínez (1728)** escribe: “... solo el hombre y el caballo tienen los ojos de varios colores: es á saber, garzos, negros, pardos, verdes, ó manchados; y por noticia singular no puedo menos de decir, que **Tomás Bonet**, conoció una muger Genovesa con un ojo garzo, y otro pardo” (“Anatomía completa del hombre”, pág. 422).

La cara posterior del iris, de color negro, es uniforme y ligeramente cóncava.

Histológicamente, está formado por el estroma iridiano por delante y el epitelio del iris por detrás.

a) *El estroma del iris* está constituido por tejido conjuntivo vascularizado, en el que se encuentran un conjunto de células. Contiene en su parte más posterior y más central, cerca del borde pupilar, un músculo anular de fibras lisas: el *esfínter del iris*.

b) *El epitelio iridiano*, integrado por dos capas estructurales, tapiza por detrás al estroma. La capa anterior está formada por el *músculo dilatador del iris*, que se extiende desde la periferia hasta cerca del borde pupilar. En la porción interna del iris, entre el músculo dilatador que queda por detrás y el esfínter del iris, existe una delgadísima capa de tejido conjuntivo fibrilar. La capa posterior queda constituida por una lámina de células pigmentadas (*epitelio pigmentado posterior*), que tapiza totalmente la cara anterior del epitelio iridiano (*músculo dilatador del iris*), llegando incluso a sobrepasar ligeramente el borde de la pupila para formar el *ribete pigmentario* de la pupila.

La vascularización del iris corre a

cargo de las arterias iridianas. Se originan en el *círculo arterial mayor del iris*, contenido en el cuerpo ciliar y formado por la anastomosis de las arterias ciliares anteriores con las arterias ciliares largas posteriores. Estas últimas proceden de la arteria oftálmica y llegan allí por el espacio supracoroideo de Schwalbe. Las arterias del iris se dirigen radialmente hacia el orificio pupilar, anastomosándose entre sí para formar a nivel del collarete el *círculo arterial menor del iris*.

El drenaje venoso toma el camino inverso hacia el cuerpo ciliar. Por la supracoroides acaba desembocando en las venas vorticosas.

Cuerpo ciliar

“Uno de los caracteres anatómicos que diferencian el ojo del hombre del de los cuadrúpedos (exceptuando a los primates superiores) es el desarrollo del músculo ciliar, órgano activo de la acomodación. El perfeccionamiento del músculo ciliar constituye con el desarrollo de la amplitud de la convergencia y la aparición de la mácula, el trípode anatómico que es la condición de la visión binocular próxima y una de las mayores perfecciones orgánicas puesta al servicio de la mano y de la inteligencia humana”. (Rochon-Duvigneaud, 1895 “D’anatomie normale de l’oeil”, pág. 10).

Entre el iris por delante y la coroides por detrás, se sitúa este segmento medio de la úvea. Cuenta con importantes funciones: producción de humor acuoso y, al prestar inserción a las fibras zonulares, participa en la función de la acomodación a través de la contracción del músculo ciliar.

Tiene forma triangular, que, a modo de espesamiento anterior de la coroides, sobresale hacia el interior del ojo.

Para su estudio desglosamos las caras antero-externa, y postero-interna, la base y el vértice.

La cara antero-externa se relaciona con la esclerótica, de la que queda separada por la capa supraciliar, continuación del espacio supracoroideo de Schwalbe, que es por donde discurren las arterias ciliares largas

posteriores. En la parte más anterior la capa supraciliar llega a desaparecer, fundiéndose la cara antero-externa con la esclerótica a nivel del espolón escleral.

La cara postero-interna presenta dos zonas: la anterior, protruyendo en el interior del ojo, se llama *corona ciliar* o zona de los procesos ciliares, que es donde se insertan las fibras zonulares que se dirigirán al ecuador del cristalino formando su ligamento suspensor; y la zona posterior lisa, relacionada con el humor vítreo, conocida como *pars plana* u *orbículo ciliaris de Henle*.

Por la inserción del iris, la base del cuerpo ciliar queda dividida en dos partes. La más externa contribuye a formar el ángulo camerular, que será tanto más estrecho cuanto más cerca de la terminación del músculo ciliar se haga esta inserción iridiana.

El vértice del cuerpo ciliar se encuentra a nivel de la ora serrata.

Histológicamente, el cuerpo ciliar está formado por:

a) La capa conjuntiva, tejido fundamental en que se encuentra inmerso el músculo ciliar y un conjunto vascular importante.

El músculo ciliar está formado por dos tipos de fibras: En su zona más externa son fibras longitudinales (*músculo de Brucke*), que desde atrás se dirigen hasta el espolón escleral donde se insertan, comportándose como músculo tensor. Por dentro se encuentran las fibras circulares (*músculo de Müller* o *de Rouget*), que actúan como si fuera un esfínter, estando mucho más desarrolladas en los hipermétropes que en los miopes. El músculo ciliar recibe su inervación de los nervios ciliares cortos, dependientes del parasimpático, después de hacer estación en el ganglio ciliar.

El elemento vascular procede de las arterias ciliares largas posteriores y de las ciliares anteriores, que, anastomosándose a este nivel, forma el mal llamado *círculo arterial mayor del iris*, que asegura la irrigación del propio cuerpo ciliar (estroma, músculos y procesos ciliares), del iris, y de la

parte anterior de la coroides a expensas de algunas arterias recurrentes.

b) El epitelio ciliar. Es la capa interna constituida por dos estratos celulares: uno externo pigmentado, que es prolongación del epitelio pigmentario de la retina, y otro interno no pigmentado, que representa a este nivel el resto de las capas retinianas, carentes aquí de función sensorial alguna.

Coroides

Es la parte más posterior de la úvea y la más importante en cuanto a extensión. Equivale a 2/3 de la misma. Constituida por tejido vascular pigmentado, es considerada la membrana nutricia del ojo. Su importante vascularización la asemeja al corion fetal.

Formando la capa media del globo ocular, se sitúa entre la retina por dentro y la esclerótica por fuera, separada de ésta por un espacio virtual, que es el *espacio supracoroideo de Schwalbe*, fácilmente despegable, por donde discurren los nervios ciliares y las arterias ciliares posteriores.

La coroides, por delante, se continúa con el cuerpo ciliar, en tanto que por detrás termina en los márgenes de la papila óptica.

Por oftalmoscopia no es posible visualizarla. Lo impide la capa retiniana. Solo es posible apreciarla en ojos muy poco pigmentados o en ojos patológicos en los que falta la retina en ciertos tramos. Lo que sí es frecuente ver son las *arterias ciliares largas* a nivel de las III y IX horas, así como la emergencia de las cuatro *venas vorticosas* en los meridianos oblicuos, encargadas del drenaje venoso del sistema coroideo.

Desde el punto de vista estructural, la coroides se halla constituida por 3 capas, que de fuera adentro son:

a) *Supracoroides* o *lámina fusca*: Compuesta por tejido conjuntivo laxo, melanocitos, células no pigmentadas y fibras musculares lisas, que son el final del fascículo longitudinal del músculo ciliar.

b) *Estroma y vasos coroideos*. El estroma coroideo es un tejido conjuntivo laxo, donde podemos ver algunas fibras colágenas y elásticas, así como algunos grupos celulares. Su mayor importancia radica en ser, fundamentalmente, una capa vascular, de la que depende la irrigación de la mitad externa de la retina. En ella encontramos:

* La capa de los grandes vasos (*capa de Haller*). Proceden de las arterias ciliares cortas posteriores, a su vez nacidas de las arterias ciliares largas posteriores y, a veces, directamente de la arteria oftálmica. En número variable (15-20), penetran en la esclera alrededor del nervio óptico y distribuyéndose en esta capa se dirigen adelante donde se anastomosan con arterias recurrentes, que vienen del círculo arterial mayor del iris.

* La capa de vasos de calibre medio (*capa de Sattler*). Es la de transición entre las arterias ciliares de la capa anterior y la coriocalilar.

* La coriocalilar (*capa de Ruysch*). Intimamente unida a la membrana de Bruch, está formada por una capa de capilares muy gruesos, que se disponen en forma de lóbulos poligonales centrados por un vaso. Son más pequeños en el polo posterior, donde se yuxtaponen. Estos capilares presentan numerosos *poros* dirigidos hacia adentro. La importancia radica en que la vascularización de la mitad externa de la retina corre a cargo de esta capa.

c) *Lámina vítrea de Arnold, membrana de Bruch* o *membrana elástica de Kölliker*. Es una capa acelular, de naturaleza elástica. Se encuentra fuertemente adherida al epitelio pigmentario de la retina.

La vascularización de la coroides procede fundamentalmente de las arterias ciliares cortas posteriores, salvo la parte más anterior de la membrana que viene de ramas recurrentes derivadas de las arterias ciliares largas y de las ciliares anteriores.

El drenaje venoso aboca en las venas vorticosas (**Sappey, 1854**).

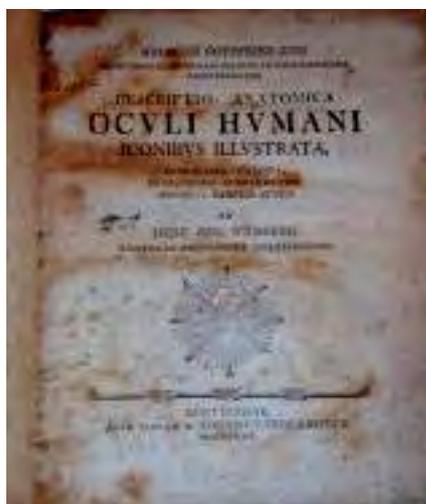
En la membrana vascular no hay linfáticos.

La inervación es dependiente de los nervios ciliares cortos posteriores, aunque los ciliares largos pueden aportar alguna ramificación.

Cristalino

Es una lente biológica incolora (en la juventud) de forma redonda, biconvexa (radio anterior de curvatura 10 mm y radio posterior de 6 mm, según **Gullstrand** y **Le Grand**), transparente, carente de vascularización (sanguínea y linfática) e inervación, y envuelta por una fina cápsula. Está situada entre el iris por delante y el humor vítreo por detrás. Conforme el individuo se va haciendo mayor el color de la lente torna a amarillento.

Se mantiene suspendido en la mitad anterior del ojo, en posición vertical centrada detrás de la abertura pupilar, gracias a unas microfibrillas radiadas, que, procedentes del cuerpo ciliar, se insertan en su ecuador. Es la *zónula* (*zónula* ciliaris), descrita magistralmente por el anatomista y botánico alemán **Johann Gottfried Zinn (1727-1759)** en "Descriptio anatomica oculi humani" (1755).



Con diámetro frontal aproximado en el adulto de 9,0 mm y anteroposterior de 4,5 mm (algo superior después de los 50 años), representa, junto con la córnea, un dioptrio

de primera magnitud. El índice de refracción del cristalino varía de la periferia al centro, estimándose como valor medio 1,42 (**Yves Le Grand, 1945**). Su potencia sin acomodación, es según el Premio Nobel de Medicina (1911), **Allvar Gullstrand**, de 19,11D. **Ives Le Grand** en su ojo teórico desacomodado aporta la potencia de 21,78 D.



Allvar Gullstrand
(1862-1930)

El papel fisiológico más importante lo acomete gracias a su poder dióptrico, su transparencia y la misión que cumple en la función acomodativa. Permite que los rayos luminosos procedentes del exterior puedan llegar enfocados a la retina a través de determinados ajustes, modificando su forma mediante relajación o estiramiento de las fibras que lo sujetan a nivel del ecuador.

Por delante se relaciona con la cara posterior del iris, que se desliza sobre la cara anterior del cristalino en el movimiento reflejo fotomotor. En la porción más periférica la lente cristalina, debido a su forma convexa, se va separando del iris quedando un espacio relleno de humor acuoso, que es la *cámara posterior*. En su área más central, a través del orificio pupilar, queda separada de la córnea. Este espacio, ocupado por humor acuoso, es la *cámara anterior*, de dimensión anteroposterior aproximada a 3,5 mm.

Por detrás el cristalino descansa mediante un área circular de su polo posterior, de unos 5 mm de diámetro (*área de Vogt*), sobre una pequeña depresión situada sobre la cara anterior del vítreo, llamada *fosa patelar* o *fosa hialoidea*. Alrededor de esta fosa el vítreo se encuentra adherido al cristalino a través de lo que en anatomía se conoce como *ligamento de Berger-Wieger*. Esta adherencia, muy fuerte en la juventud, se vuelve frágil en el adulto y sobre todo en el anciano. Por lo demás, el humor vítreo a través de su relación posterior con el cristalino se encuentra recubierto por la *hialoides anterior*.

Desde el punto de vista histológico, el cristalino está constituido por cápsula, epitelio y lo que se conoce como sustancia cristaliniiana.

La cápsula, delgada y muy elástica, es su membrana envolvente. Más espesa en la cara anterior, es necesaria para mantener la integridad fisiológica de la lente. A través de ella, por su permeabilidad selectiva, se establece el metabolismo de este órgano.

Detrás de la cápsula se asienta el *epitelio del cristalino* (*epitelium lentis*), solo situado en la cara frontal y, también, a nivel del ecuador (*aequator lentis*). Está formado por una capa de células cuboideas, que se van haciendo tanto más altas cuanto más periféricamente se encuentran, en lo que se conoce como *zona germinativa*, situada en la proximidad del borde ecuatorial. Según nos separamos del ecuador, las células se van aplanando hasta desaparecer como tales para transformarse en *fibras cristaliniianas* (*fibrae lentis*). Estas se disponen en capas, que se van superponiendo conforme pasa el tiempo, quedando más periféricas las más jóvenes, en tanto las más viejas se sitúan en posición más central, constituyendo el *núcleo del cristalino*. Este núcleo ocupa la casi totalidad del cristalino en la vejez. Este proceso de crecimiento a partir de la *zona germinativa*, muy intenso en el primer año de existencia, se prolonga durante toda la vida aunque de modo mucho más lento a partir de los 10 años. Así pues, el cristalino no es un elemento

estático sino que se transforma de modo permanente, aumentando su diámetro frontal y anteroposterior, peso y volumen.

El *ligamento suspensor del cristalino* o *zónula de Zinn* está formado por fibras radiadas que, adoptando forma triangular, se insertan en la cápsula cristaliniiana a nivel del ecuador de la lente, en sus caras anterior (*fibras preecuatoriales*) y posterior (*fibras postecuatoriales*), y a partir de allí se dirigen convergiendo al cuerpo ciliar (procesos ciliares y orbículo ciliar). Por delante se relaciona con la cámara posterior. Por detrás toma contacto con el humor vítreo a través de la *hialoides posterior*. Entre las fibras zonulares que emergen de la cara anterior y las procedentes de la cara posterior de la lente cristaliniiana, queda un espacio de sección triangular, más visible en las zónulas de las personas mayores, que se llama *conducto de Petit* o *conducto abollonado de Petit*. Entre la zónula de Zinn y el cuerpo vítreo, se demostró un espacio inyectable conocido con el nombre de *espacio de Hannover*.

Humor vítreo

Hidrogel transparente, con componente acuoso muy importante (99% de agua), e índice de refracción medio de 1,3340. Ocupa el globo ocular por detrás del cristalino, adaptándose a todas las estructuras con las que se relaciona. Presenta, en su mayor parte, forma convexa tomando contacto con la retina y cuerpo ciliar. Por delante, con forma cóncava, se acopla a la zónula y a la cara posterior del cristalino, presentando a este nivel una ligera depresión: la *fosa patelar* (*fossa patellaris*).

La estructura del humor vítreo, condensada en su periferia, forma por detrás la *hialoides posterior*, que mantiene íntima relación con la membrana limitante interna de la retina, en tanto que por delante, en contacto con el cuerpo ciliar y la lente cristaliniiana, configura la *hialoides anterior*.

Entre la *hialoides* y las estructuras vecinas existen ciertas adherencias

perfectamente definidas: En su parte posterior está fijada al contorno de la papila (*adherencias peripapilares o anillo de Weiss*). En la periferia retiniana presenta fuertes adherencias en un área anteroposterior de 5-6 mm, a nivel de la ora serrata (*adherencias de la base del vítreo*). Por delante se fija a la cápsula posterior del cristalino en una línea circular situada a 1 mm por detrás del ecuador, conocida como *ligamento de Wieger*. Esta adherencia se mantiene firme hasta los 40 años, y disminuye conforme el individuo madura.

El envejecimiento del humor vítreo conduce a la desintegración progresiva de su homogeneidad estructural, dando lugar a lo que se ha venido en llamar licuefacción o sínquisis vítrea. La degeneración fisiológica del mismo es causa del desprendimiento posterior del vítreo.

El cuerpo vítreo, por su transparencia, tiene la función primordial de transmitir la luz colaborando en la función óptico-refractiva. Por su volumen, tiene la función fundamental de relleno del globo ocular y hacer de soporte de la membrana retiniana. No obstante, esta transparencia, en parte debida a la carencia de vascularización, le vuelve muy vulnerable ante cualquier agresión o sustancia en él depositada, haciendo muy lenta la diapédesis y reabsorción de elementos patológicos.

Retina

Expansión del cerebro, separada del mismo al comienzo del desarrollo, aunque mantiene su vinculación a través del *tallo óptico*. Es una membrana transparente, completamente lisa y fina (0,25 mm), que tapiza la superficie interna del globo ocular (*túnica interna bulbi*). A través de la ventana pupilar se muestra al exterior su parénquima, su vascularización y la influencia que ejercen sobre el organismo un sinfín de enfermedades, que podemos estudiar como si tuviéramos ante nosotros una preparación histológica. Es, como diría el profesor **Francisco Orts Llorca**, "*... un trozo de cerebro asomado a la luz*". Aunque con la

singularidad, a diferencia de aquél, de poderse "*mover*" al tiempo que lo hacen los globos oculares.



Francisco Orts Llorca
(1905-1993)

Se relaciona internamente con el humor vítreo, y por su cara externa con la membrana de Bruch. Esta estructura nerviosa, altamente especializada y primera estación de llegada, recibe las impresiones lumínicas del exterior, desde donde son transmitidas en forma de señales nerviosas al centro terminal situado en el cerebro. Como dijo **Félix Giraud Teulon (1861)** en su libro "*Vision binoculaire*", pág 2: "*... en la naturaleza animada, solo la retina es capaz de sentir la luz y mostrar al espíritu su existencia. Luz y retina son dos ideas inseparables*". Aunque la visión comienza a procesarse en la retina, desde nuestros clásicos sabemos que "*la verdadera interpretación del teatro de la vida es cosa del intelecto*". Ya **Walls** lo expresó cuando dijo: "*Nuestros ojos no ven, pero vemos a través de ellos*".

La membrana retiniana se caracteriza por su carencia de homogeneidad. Está constituida por dos áreas totalmente desemejantes: una posterior con capacidad sensitiva (*pars opticae retinae*) y otra anterior carente de diferenciación sensorial y neurológica (*pars caeca retinae*), delimitadas ambas por la ora serrata, estructura que se encuentra en correspondencia extraocular con la *espiral de Tillaux*.

Pars opticae retinae

Es lo que puede llamarse superficie fotosensible retiniana u “*órgano del sentimiento*”, que diría **Giraud-Teulon**. Se extiende desde la *ora serrata* hacia atrás recubriendo todo el polo posterior del globo ocular. Está constituida por dos áreas bien diferenciadas funcionalmente:

* *Area óptica central o polo posterior.*

Partiendo de la papila, llega en dirección temporal hasta una distancia de 4 ó 5 diámetros papilares. Su extensión, aproximada, es un círculo de 6 mm de diámetro alrededor de la fóvea, en el espacio comprendido entre las dos arcadas vasculares temporales, superior e inferior. El centro del “*área óptica central*” queda a 4,5 mm temporal y a 0,8 mm por debajo del centro de la papila. Corresponde campimétricamente a los 15° centrales.

Histológicamente presenta varias capas de células ganglionares. Siempre con un mínimo, al menos, de dos.

* *Area óptica anterior o periferia retiniana.*

Abarca el resto de la retina óptica extendiéndose por delante hasta la *ora serrata*. A este nivel, la capa de células ganglionares es de una sola hilera. Sobre la zona más anterior y extrema de la periferia retiniana, el vítreo se adhiere a la retina en una extensión de 2 a 6 mm (base del vítreo). El borde anterior de la base del vítreo se corresponde topográficamente con la medida de 5 mm contado a partir del limbo.

Pars caeca retinae

La podemos llamar “*retina insensible*”, puesto que en ella se pierden los receptores sensoriales. Se extiende por delante de la *ora serrata*, recubriendo el cuerpo ciliar y el iris en su cara posterior, lo que rebasa ligeramente, apareciendo en la cámara anterior con la denominación de *collarete pigmentario*.

En el “*área central*” o “*polo posterior*” podemos considerar:

a) La papila óptica (*papilla fasciculi optici*).

Es el lugar al que llegan los axones procedentes de las células ganglionares de la retina. Oftalmoscópicamente es un disco redondeado que vemos en el polo posterior, de 1,5 mm de diámetro (subtendiendo un ángulo de 5,5°), y situado a 3,5 mm nasal a la fóvea (15° a 18° considerado campimétricamente). Se corresponde con la mancha ciega del campo visual (*mancha de Mariotte*).

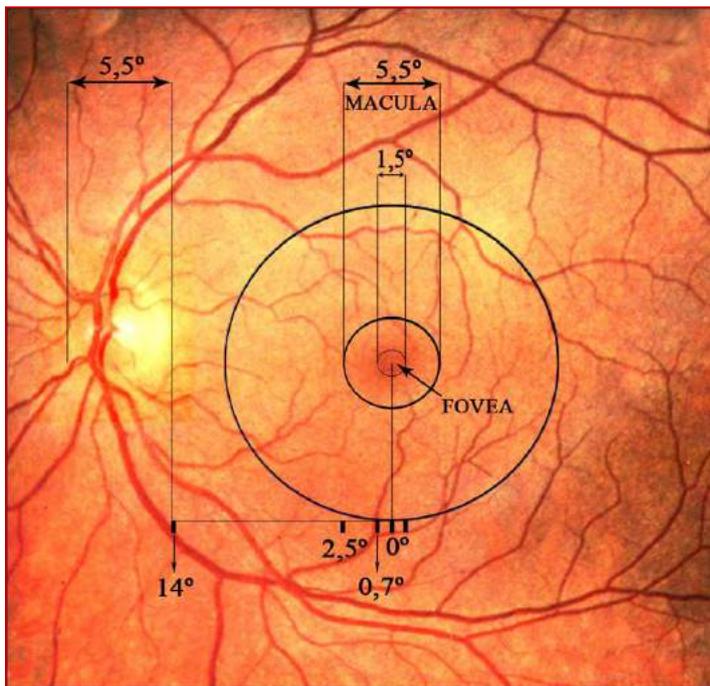
b) La mácula lútea (*macula lutea*) o fóvea anatómica.

Fue descrita por vez primera por el italiano **Francesco Buzzi** en **1782**, quien manifestó que en el fondo ocular existía un área de color amarillo con una depresión central.

Es una zona de forma elíptica de 2,0 x 1,5 mm, de aspecto más oscuro que su entorno, situada a partir de 4 mm del borde temporal de la papila, de color algo amarillento por el pigmento carotenoide xantófilo. Campimétricamente son los 5,5° centrales. Está delimitada por un reflejo brillante (*reflejo en valla*), especialmente visible en personas jóvenes, que señala el límite a partir del cual la retina comienza a deprimirse para constituir una pequeña fosa.

c) La fóvea (*fovea centralis*) o foveola anatómica.

El médico anatomista y antropólogo **Samuel Thomas Sömmering (1795)**, describió, a través de dibujos magníficamente detallados, el centro de la mácula (fóvea), aunque erróneamente creyó que era un pequeño agujero, idea que fue mantenida hasta mediados del siglo XVIII.



Samuel Thomas Sommering
1755-1830



Figura 5-a. Datos anatómicos del área central.

Se trata de una minúscula depresión situada en el centro de la misma. Con extensión de 0,3 mm de diámetro, y en equivalencia con 1,5° centrales (Figura 5-a) o 2,5 dioptrías prismáticas. Esta depresión que espejea sobre todo en la juventud, es fenómeno conocido con el nombre de *reflejo foveolar*.

Dentro de las variaciones individuales existentes la línea horizontal trazada desde la fóvea, corta a la papila por su tercio inferior. Dato importante a retener en el estudio de las torsiones (Figura 5-a).

Es la parte más delgada de la mácula porque ahí no existen las capas internas de la retina (nuclear interna, plexiforme interna, células ganglionares y capa de las fibras ópticas). En el ámbito de la fóvea "sólo existen conos", cuyos núcleos, formando cinco o seis capas, constituyen la capa granulosa externa, dirigiendo sus expansiones laterales o terminaciones sinápticas hacia afuera, mediante una orientación radial, para conectar en el margen foveolar o *clivus*, con células bipolares monosinápticas. A este nivel, se realizan las primeras sinapsis entre células bipolares y células ganglionares. Se tratan de conexiones monocelulares verticales que

aportan agudeza visual de alta definición. Esta pequeñísima área se sitúa en la cúspide de la *curva de Wertheim (1894)*, lugar donde la agudeza visual es máxima (Figura 36). A partir de 0,3 mm de diámetro, tomando como centro la fóvea, empiezan a aparecer los primeros bastones, siendo, en derredor de 0,8-0,9 mm, en el límite de los 3° centrales, donde se igualan en cantidad conos y bastones. A partir de aquí, la organización neuronal comienza a ser vertical y horizontal. Pues bien, citando el aspecto organizativo vertical, a diferencia del área foveal donde un único fotorreceptor sinapsa con una sola célula bipolar y ésta con una célula ganglionar, a nivel de la retina no central, tanto más cuanto más nos alejemos a periferia, varios fotorreceptores convergen en una bipolar, y varias bipolares en una célula ganglionar.

Con referencia a la organización horizontal, vemos como a nivel retiniano las células horizontales y las células amacrinas de Cajal transmiten transversalmente la información, que indica que la membrana retiniana no solo se limita a transmitir información al cerebro, que lo haría mediante su organización vertical (fotorreceptor-

bipolar-ganglionar con su axon), sino que en ella también existe una organización horizontal, que interviene en el procesamiento *in situ* de la información recibida.

La fovea es avascular. Los capilares retinianos forman un círculo anastomótico en torno a la misma de 0,5 mm de diámetro (*zona avascular central*). Metabólicamente, esta pequeña área depende de la coriocapilar.

A partir del *clivus* encontramos por vez primera las 10 capas retinianas con sus seis tipos neuronales (fotorreceptores, células horizontales, células bipolares, células amacrinas, células interplexiformes y células ganglionares).

Describimos la clasificación de **Stephen Lucian Polyak (1941)**, que modifica ligeramente la de **Santiago Ramón y Cajal (1893)**:



Santiago Ramón y Cajal
(1852-1934)

1. *Membrana limitante interna.*

Es membrana muy fina (1 a 2 micrómetros), que separa la capa de fibras nerviosas del humor vítreo en toda su extensión, solo interrumpida a nivel de la papila óptica. Está formada por los pies terminales de las células de Müller. De

carácter anhisto, su superficie es lisa y no presenta adherencias con el vítreo.

2. *Capa de fibras nerviosas (lamina fascicularis).*

Queda determinada por los axones de las células ganglionares, los cuales son proyectados hacia el humor vítreo para, a continuación, cambiar su dirección noventa grados y formar una capa de fibras carentes de mielina con destino al disco óptico. Su espesor aumenta de la periferia al centro según se van incorporando nuevos cilindroejes.

Los axones que vienen del área macular se dirigen nasalmente de forma directa a la papila formando el *haz maculopapilar*, que concentra el 65% de las fibras nerviosas procedentes de la retina. Por otro lado, los axones de las células ganglionares de los dos cuadrantes temporales bordean la mácula por arriba y por abajo, en forma de arco con relación al rafe medio, para alcanzar el disco. Los axones de la hemirretina nasal se dirigen del mismo modo directamente hacia la papila.

3. *Capa de las células ganglionares (ganglion opticum de Möllendorf).*

Se ha calculado la existencia de un millón de células ganglionares. Es la primera neurona de la vía visual, cuyos axones, no mielinizados a nivel de la retina, van a converger en la papila para constituir las fibras del nervio óptico.

4. *Capa plexiforme interna (lamina plexiformis interna).*

En ella se realiza la conexión sináptica de las células bipolares y ganglionares por intermedio de las células amacrinas de Cajal. No existe a nivel de la mácula.

5. *Capa nuclear o granulosa interna (lamina granularis interna).*

Presenta cuatro tipos de células: bipolares, horizontales, amacrinas de Cajal y células gliales de Müller.

Las células bipolares perciben información de los receptores, remitiéndola a las células ganglionares. Existen tres tipos de células bipolares, que son interneuronas uniendo los fotorreceptores a las células ganglionares: **a)** Células bipolares enanas, que a través de varias dendritas se relacionan con un solo cono y cuyo axón va a realizar sinapsis con una sola célula ganglionar; **b)** células bipolares de ramificación plana, que conectan varios conos con células ganglionares; **c)** células bipolares de los bastones, que transmiten solo a partir de bastones.

Las células horizontales mantienen relación entre los fotorreceptores y las células bipolares, estableciendo su conexión en sentido paralelo a la retina en lugar de hacerlo en dirección normal como lo hacen las bipolares. En este mismo sentido de relación lo procesan las células amacrinas, aunque más adelantadas, efectuándolo entre las células bipolares y las ganglionares.

A nivel de la mácula la capa nuclear o granulosa interna queda interrumpida.

6. Capa plexiforme externa (lamina plexiformis externa).

En ella se realizan las sinapsis entre fotorreceptores y células bipolares, a través de las células horizontales, por intermedio de conexiones que median de forma paralela a la retina. Esta capa adquiere su mayor espesor en el área central (*capa de las fibras de Henle*), donde tiene un espesor de 50 micrómetros. Se va estrechando cuanto más nos vamos a periferia.

7. Capa nuclear o granulosa externa (lamina granularis externa).

Está formada por 7 a 9 capas de pequeños y oscuros se unen a los bastones, y otros, más claros y mayores se vinculan a los conos.

Esta capa, a nivel de la fovea presenta su mayor grosor (50 micrómetros), con número aproximado a 10 capas, todas ellas ocupadas por núcleos de conos.

De los núcleos de la capa granulosa externa parten prolongaciones dendríticas,

que llegan a la capa plexiforme externa para conectar con las células bipolares.

8. Membrana limitante externa.

Extendida desde la ora serrata hasta el borde de la papila, es una zona fina densa formada por expansiones de las células gliales de Müller, y horadada por agujeros a través de los cuales penetran las fibras de los bastones y de los conos. Es la zona donde contactan los fotorreceptores y las células de Müller.

9. Capa de los fotorreceptores.

Está constituida por los segmentos externos e internos de los conos (en número de 5 millones), encargados de la percepción de detalles finos y del cromatismo en ambiente diurno (sistema fotópico), y de los bastones (en número de 100 millones), responsables de la visión en baja luminosidad (sistema escotópico). Ambos tipos de células conectan con las bipolares.

La densidad de los conos es máxima (200.000 /mm²) en el ámbito de la fovea (1,5° centrales), situada en el centro de la mácula (5,5° centrales). En la fovea no existen bastones. Empiezan a aparecer a partir del límite de la fosa foveal (a ese nivel el número de conos desciende a 80.000/mm²). Alrededor de los 3° centrales se van igualando el número de conos y bastones. La densidad de los bastones adquiere su máximo a 4,5 mm de la fovea, en coincidencia con la excentricidad foveal de 20°.

10. Epitelio pigmentario.

Es la capa más externa de la retina. Dispuesto como pavimento regular y constituido por una capa monocelular de células hexagonales (aproximado de 5 millones), separa los segmentos externos de los fotorreceptores de la membrana de Bruch de la coroides.

Por delante de la ora serrata se continúa con el epitelio de la pars plana.

El citoplasma de las células del EP se halla ocupado por pigmento de una melanina

especial llamada *fucsina*, particularmente abundante en la región macular. Forma una pantalla más o menos opaca, que permite transformar el ojo en cámara oscura. Los gránulos de pigmento, al absorber la luz que ha atravesado la retina, impide su reflexión y hace que no se difunda en el interior del ojo.

Las células del epitelio pigmentario se encuentran unidas íntimamente unas a otras, de tal manera que crean una barrera semipermeable. Por eso permite el paso de material nutritivo desde la coroides a la retina y la renovación continua de material fagocitado, residuos y elementos extraños de la retina. De la integridad del epitelio pigmentario depende la vida de los fotorreceptores.

Las cinco capas más externas (desde el epitelio pigmentario hasta la plexiforme externa) constituyen la *retina sensorial* encargada de la foto-recepción. Es avascular, nutriéndose por difusión de los capilares de la coriocapilar. La atención y el cuidado metabólico de los fotorreceptores corren a cargo del complejo constituido por el epitelio pigmentario, la membrana de Bruch y la

coriocapilar.

Las cinco capas más internas (desde la capa granulosa interna hasta la membrana limitante interna) conforman la *retina cerebral*. En ella se codifica la transmisión de los impulsos mediante una interneurona (célula bipolar) y la primera neurona del sistema visual (célula ganglionar). La *retina cerebral* se nutre de los capilares retinianos procedentes de las cuatro arteriolas, temporales y nasales, que emanan de la arteria central de la retina, que a su vez se origina en unos casos de la arteria oftálmica y en otros de la arteria ciliar larga, con más frecuencia de la ciliar larga interna. La red capilar se encuentra distribuida en dos planos: el profundo, entre las capas nuclear interna y plexiforme externa; y el superficial, ubicado en la capa de fibras ópticas. Así pues, la capa plexiforme externa representa el límite de las estructuras irrigadas por la red coroidea y la retiniana.

El drenaje venoso de la retina corre a cargo de la vena central de la retina, a la que llegan los cuatro troncos, nasales y temporales superiores e inferiores.

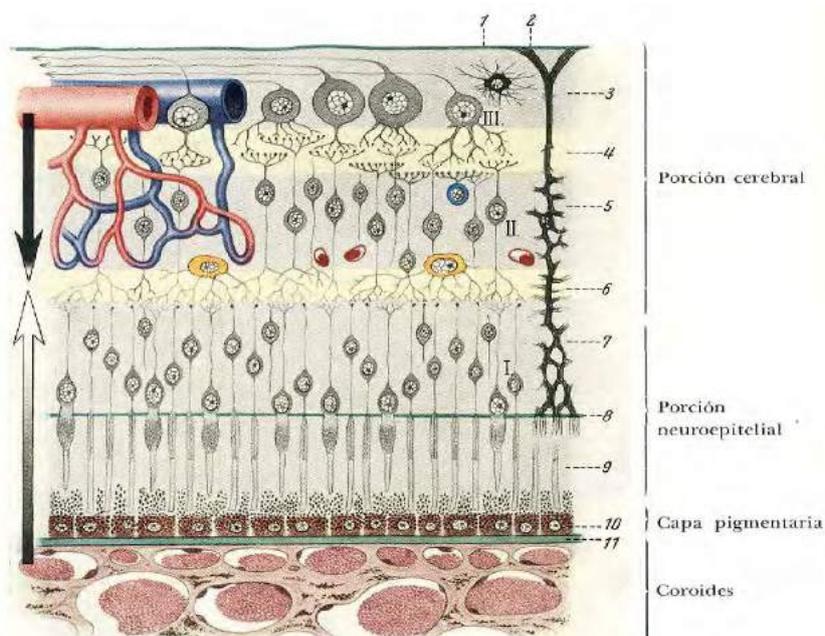


Figura 5-b. Corte transversal de la retina. Representación esquemática (Tomada de Rudolf Thiel).

1. Membrana limitante interna. 2. Cono basal de las fibras de Müller. 3. Capa de fibras nerviosas y de células ganglionares. 4. Capa plexiforme interna. 5. Capa granulosa interna. 6. Capa plexiforme externa. 7. Capa granulosa externa. 8. Membrana limitante ext. 9. Capa cono y bastones. 10. Epitelio pigmentario. 11. Láminas vítreas (basal) y elástica corioidea (membrana de Bruch).

1.3.

LAS ESTRUCTURAS INTRAORBITARIAS

En la parte superior de la cabeza, a modo de dos centinelas “*situados en eminente lugar para que como atalaya pudiesen registrar mayor espacio*” (como escribe **Martínus Martínez, 1728**), los globos oculares penden en las órbitas en estado de equilibrio estato-dinámico, sustentados merced a un conjunto de *estructuras anatómicas* intraorbitarias combinadas y conectadas entre sí, como son: músculos extraoculares, cápsula de Tenon con sus expansiones, tejido conjuntivo-ligamentoso orbitario, sistema vásculo-nervioso y grasa orbitaria. También, en virtud de *factores fisiológicos*, tales son la tonicidad de la musculatura extraocular, que permite, por una parte, la sagitalización en *posición primaria de mirada* para vencer la ligera divergencia de la *posición anatómica de reposo absoluto*, aparte de equilibrar la retracción del globo hacia el vértice orbitario debida a los músculos rectos con la oposición protractora de los oblicuos, que actúan hacia adelante en sentido opuesto. En el seno de

este complejo estructural, que les sirven a su vez de protección, los ojos tienen que rotar y realizar con baja fricción los movimientos.

Cuando los efectúan, desplazan con ellos los tejidos que les rodean, los cuales colaboran en su modulación, suavidad, fluidez y precisión.



Martínus Martínez

Seis son los Músculos de cada ojo, quatro rectos y dos oblicuos. El primero de los rectos se llama Soberbio, porque levanta el ojo ázia el Cielo. El segundo se llama Humilde, porque baja el ojo ázia la Tierra. El tercero Adductor ó Bebedor, porque aplica el ojo ázia la nariz para ver lo que bebemos. El quarto Abductor ó Indignatorio, porque le aparta para mirar sobre el hombro, signo de desprecio ó indignación.

De los Músculos obliquos, el primero se llama Troclear ó Mayor porque lo es respecto de su compañero. El segundo músculo obliquo se llama Menor.

*Martínus Martínez (1728)
(Médico de Cámara de su Magestad)*

Los músculos extraoculares están constituidos por fibras estriadas, al igual que los del esqueleto, con la particularidad de su exquisita y rica inervación (diez veces superior a la del músculo esquelético), que les permiten sus específicos movimientos, extraordinariamente rápidos, otros muy lentos y sumamente precisos, para buscar o mantener la bifovealización. Estas contracciones musculares se realizan con escasa fatiga. En el humano, son siete los músculos extrínsecos encargados de animar los movimientos oculares y de los anejos: cuatro músculos rectos, dos músculos oblicuos y el músculo elevador del párpado superior. En los animales existe, además, el retractor del globo o músculo coanoide, cuya finalidad es hundir el globo para evitar sea afectado por un objeto vulnerante. Este músculo se encuentra en gran cantidad de mamíferos, entre ellos en el macaco Rhesus, en el que figura sólo un esbozo ubicado entre el recto superior y el recto lateral. Su máximo desarrollo lo presentan los rumiantes. En el humano no hay vestigio alguno.

Los músculos: rectos, oblicuo superior y elevador del párpado, tienen origen en una formación fibrosa, gruesa y corta, de color blanco nacarado llamada *tendón de Zinn*, situada en el fondo de la órbita e insertada en el borde interno de la hendidura esfenoidal, a nivel del *tubérculo infraóptico*. Esta pequeña eminencia queda inmediatamente por debajo del *agujero óptico*. El oblicuo inferior, sin embargo, nace de forma aislada e independiente del resto en la parte más anterior e interna del suelo de la órbita.

Henri Rouvière (1926) en su libro "Anatomía humana descriptiva y topográfica", pág. 294, describe el *tendón de Zinn* de esta forma: "... desde su origen, se dirige hacia adelante ensanchándose y se divide muy pronto en cuatro cintillas muy delgadas que se irradian y forman cuatro intersecciones tendinosas, que separan en su origen a los cuatro músculos rectos". El Jefe de Anatomía de la Facultad de Medicina de París continúa

la descripción de este modo: "... de estas cuatro bandas tendinosas que se abren divergentes, nacen, en el espacio entre cada dos, los cuatro músculos rectos" (Figura 6):

* Entre la superointerna y superoexterna: el recto superior.

* Entre la superointerna e inferointerna: el recto medio.

* Entre la inferointerna e inferoexterna: el recto inferior.

* Entre la superoexterna e inferoexterna: el recto lateral.

Entre el recto superior y el recto medio, tiene su origen el músculo oblicuo superior. El elevador del párpado, sexto músculo con inicio en el vértice orbitario, arranca del fondo de la órbita inmediatamente por encima del recto superior.

La banda fibrosa superoexterna del *tendón de Zinn*, se encuentra perforada por una abertura de forma oval de unos 5 mm de diámetro, que es el *anillo de Zinn*. Le atraviesan las ramas superior e inferior del III par, el VI, la vena oftálmica media, el nervio nasal o nasociliar y la raíz simpática del ganglio oftálmico.

Por fuera del anillo de Zinn, por la parte más estrecha de la hendidura esfenoidal, entran en la órbita los nervios lagrimal y frontal, el IV par craneal, las venas oftálmicas superior e inferior, y ramas de la arteria meníngea media.

La banda fibrosa superointerna del *tendón de Zinn* está también perforada por un orificio de unos 4 mm de diámetro, el *agujero óptico*, atravesado por el nervio óptico y la arteria oftálmica (Figura 6).

Según **Antonio Vila Coro**, los tendones de los cinco músculos óculo-motores originados en el fondo de la órbita se encuentran a este nivel adosados y no fusionados como describió **Johan Gottfried Zinn** en 1755 ("Estrabismos" **A. Castanera Pueyo, 1952**, pág. 8).

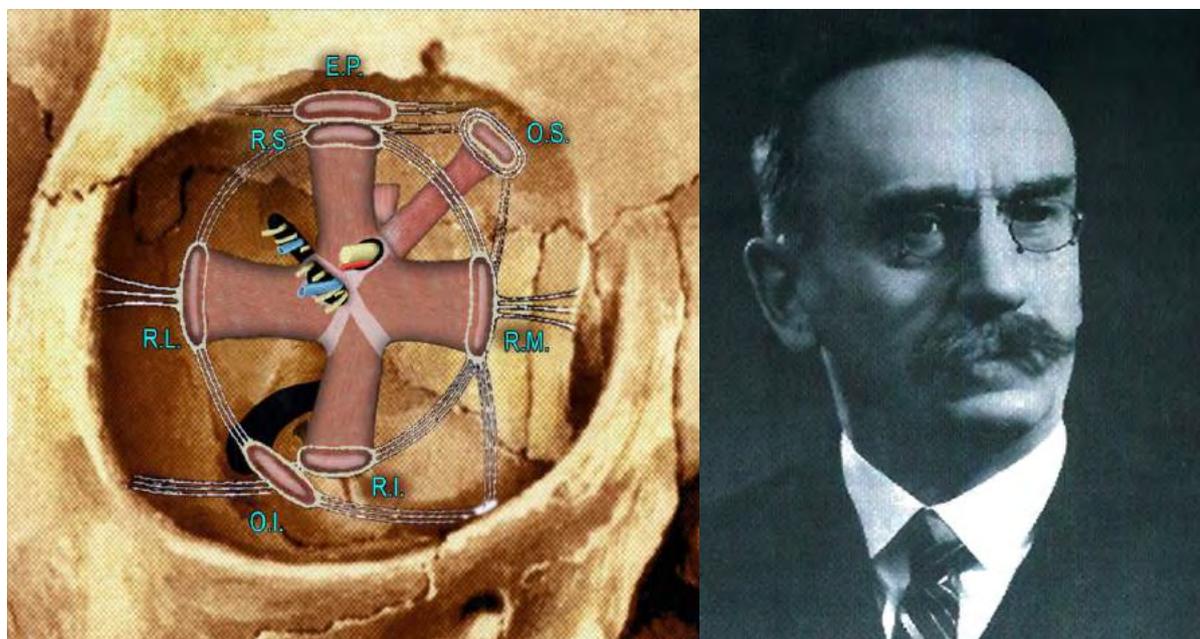


Figura 6. Tendón de Zinn (según concepción de Henri Rouvière, 1926).

En el vértice orbitario se encuentra el agujero óptico y la hendidura esfenoidal. A través de estas aberturas se pone en comunicación la órbita con la cavidad endocraneana. En el dibujo se ven los elementos que lo atraviesan. Por el agujero óptico: el nervio óptico y la arteria oftálmica. Por el anillo de Zinn: la rama superior e inferior del III par, el VI par, la vena oftálmica media, el nervio nasal y la raíz simpática del ganglio oftálmico. En la hendidura esfenoidal, fuera del anillo de Zinn, se observan los nervios lagrimal y frontal, el IV par craneal, las venas oftálmicas superior e inferior y ramas de la arteria meníngea media.

El tendón de Zinn, insertado en el borde interno de la hendidura esfenoidal, se divide en cuatro bandas tendinosas, abiertas en divergencia para alojar, en el espacio existente entre dos bandas, los cuatro músculos rectos. El oblicuo superior se origina en el tendón de Zinn entre el recto superior y el recto medio. En el mismo tendón, e inmediatamente por encima, nace el elevador del párpado.

Músculos rectos

Los cuatro músculos rectos, que con longitud aproximada de 40 mm, y algo más largo el recto superior (también el más débil), que sobrepasa los 41 mm (Winckler, 1939), desde su origen en el vértice orbitario se dirigen adelante abriéndose, formando un cono de base anterior. Siguen la pared correspondiente de la pirámide orbitaria hasta llegar, aproximadamente, al ecuador del

globo ocular. En el lugar inmediato posterior al ecuador, pasan por sus "poleas" (Lucien Boyer, 1844; Photinos Panas, 1873; Miller, 1993), para, a continuación, desviarse hacia el eje de la órbita llegando a contactar y seguidamente abrazar el globo, terminando por insertarse en la esclerótica, alrededor de la córnea, mediante cortos tendones, ligeramente ensanchados en forma de abanico. Por lo común, el músculo recto medio es el más robusto y poderoso. Estos

cuatro músculos, destinados a mover el ojo, se aplican a él como las “riendas a la cabeza del caballo”.

Estructuralmente, los músculos rectos presentan dos capas: *externa o capa orbitaria* vinculada a las “poleas”, e *interna o capa global* que recorre toda la extensión longitudinal del músculo terminando en la esclera en un tendón bien definido.

La *capa orbitaria*, posicionando las “poleas”, coordina los movimientos de éstas, mientras que la *capa global* se encarga de rotar el globo.

Los músculos rectos forman el llamado *embudo muscular*, espacio que contiene, inmersos en grasa orbitaria, el nervio óptico y la arteria oftálmica, que representan simbólicamente el eje del cono.

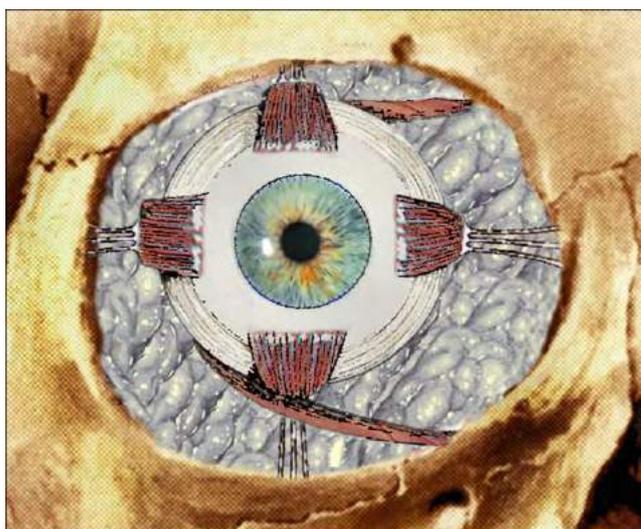


Figura 7. Globo ocular derecho posicionado en la órbita visto por delante.

A partir del lugar en el que los músculos alcanzan el globo, se aprecian ciertas peculiaridades:

* *Recto medio o interno (musculus rectus bulbi nasalis)*. Envuelto por su vaina, dependiente de la cápsula de Tenon, en el momento en el que se incurva por delante para tomar contacto con el globo, envía un ligamento de 15 a 20 mm de largo a la pared interna de la cavidad orbitaria, hacia la cresta lagrimal del unguis (cresta lagrimal posterior), emitiendo, también, algunas fibras a la cara posterior de la carúncula y a la conjuntiva, a nivel del fondo de saco conjuntival interno. De

los cuatro músculos rectos, el recto medio es el único que no presenta conexiones con los músculos oblicuos a través de sus vainas, de tal manera que la pérdida de este músculo en cirugía, al desinsertarlo, puede ser dramática por carecer de los frenos que supone este tipo de relación.

* *Recto lateral o externo (musculus rectus bulbi lacrimalis)*. En su recorrido a la inserción escleral presenta vínculos conjuntivos al músculo oblicuo inferior. Proyecta una formación fibro-ligamentaria más desarrollada que la del recto medio, de 18 a 20 mm de larga, a la cara externa de la

órbita y borde orbitario, y, también, expansiones fibrosas a la cara posterior del ligamento palpebral externo y a la conjuntiva a nivel de su fondo de saco externo.

* *Recto superior (musculus rectus bulbi superior)*. Camina desde su origen bajo el elevador del párpado. Ambos músculos tienen relación estrecha a través de sus vainas, que se funden por fibras conjuntivas a 6-8 mm por detrás de su inserción escleral (ligamento intermuscular superior). Este dato anatómico se ha de tener en consideración por la influencia funcional entre ambos músculos cuando se actúa quirúrgicamente sobre cualquiera de ellos. Así mismo, cerca de su terminación en la esclera, presenta conexiones de tejido conjuntivo con el tendón del oblicuo superior que le cruza por debajo.

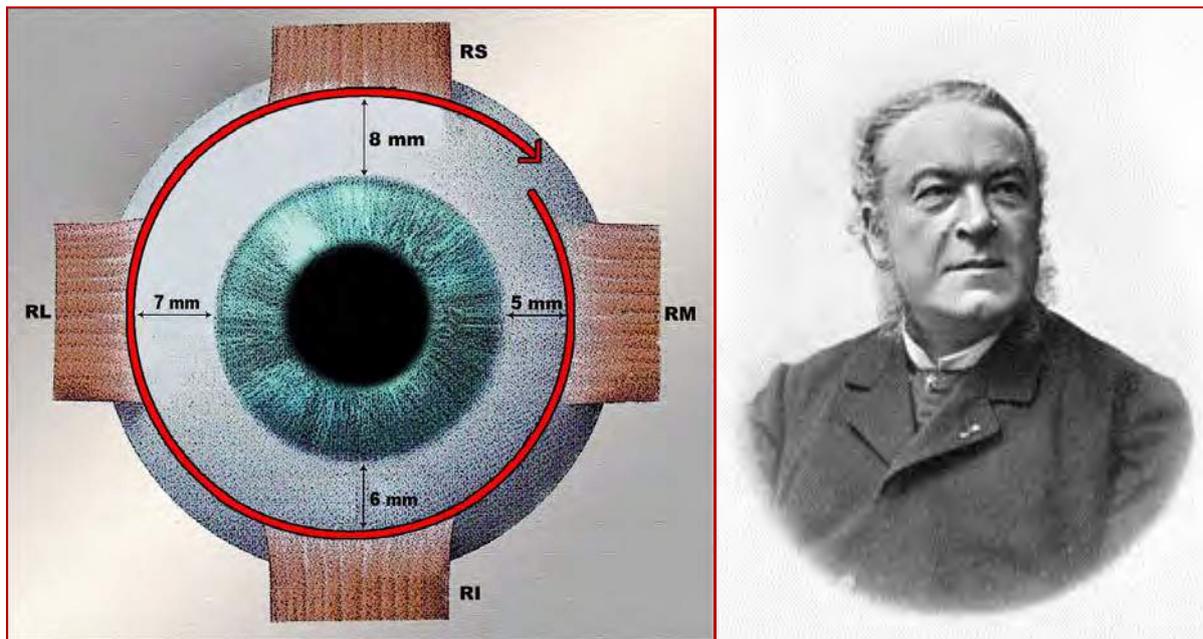
* *Recto inferior (musculus rectus bulbi inferior)*. En el lugar de cruce con el oblicuo inferior presenta una condensación fibrosa, auténtico espesamiento de las vainas de ambos músculos que va a contribuir al desarrollo del "ligamento suspensorio de Lockwood". De esta condensación fibrosa parten expansiones laterales dirigidas a las vainas de los rectos horizontales, recto medio y recto lateral, conformando lo que se ha estimado como *hamaca suspensora*, que sostiene el globo ocular y que se extiende desde la cara orbitaria interna a la externa.

Los cuatro músculos rectos se insertan en la esclera mediante tendones blanquecinos. De 3 mm de longitud el del recto medio, 6-7 mm el del recto lateral y 5-6 mm el de los rectos verticales. En lo que respecta a su anchura, el tendón más estrecho es el del recto lateral (valor aproximado de 9 mm); los de los otros tres rectos tienen anchura aproximada de 10 mm, y algo más extenso el del recto

superior con 10,5 mm.

La terminación anatómica a nivel de la esclerótica de los cuatro músculos rectos se efectúa a cierta distancia del limbo corneal, no igual para cada músculo. Esta distancia aumenta en progresión aritmética del recto medio al recto superior: "... de modo que la línea de inserción de los músculos representa una espiral y no una circunferencia" (**Paul-Jules Tillaux**. "Traité d'anatomie topographique" 1887, pág. 165). Desde su primera descripción en **1879**, esta curva espiral es conocida con el nombre de *espiral de Tillaux*. Aunque la distancia limbo-músculo es variable según los distintos autores, desde el punto de vista práctico, por su fácil recordar, y, sobre todo en honor al anatomista que lo describió, pueden mantenerse las constantes dadas por quien fuera Director de los Trabajos Anatómicos del Anfiteatro de los Hospitales de París, Miembro de la Academia de Medicina, Profesor Agregado de la Facultad de Medicina y Cirujano de L'Hotel Dieu, **Paul-Jules Tillaux**: recto medio: 5 mm, recto inferior: 6 mm, recto lateral: 7 mm y recto superior: 8 mm (Figura 8). Si nos atenemos al sentido práctico, puede decirse que los músculos rectos se insertan en la esclerótica a unos 6 mm del limbo corneal.

Las líneas de inserción de los dos rectos horizontales son prácticamente verticales y paralelas al limbo corneal, en tanto que la de los dos rectos verticales: superior e inferior, no se hace en paralelo al limbo, sino ligeramente oblicua, de tal modo que el borde interno está más próximo a la cornea que el externo. Esta oblicuidad de inserción es consecuencia, como escriben **Félix de Lapersonne y André Louis Cantonnet** ("Manuel de Neurologie oculaire", pág. 21): "... del descentramiento del globo con relación a la órbita".



Paul Jules Tillaux (1834-1904)

Figura 8. Espiral de Tillaux.

Constantes dadas por **Paul-Jules Tillaux (1879)** de las distancias habidas entre las inserciones esclerales de los cuatro músculos rectos y el limbo corneal. La unión de ellas describe la espiral que lleva su nombre.

Si importante es la inserción anatómica, lo es igualmente la fisiológica. Desde el vértice orbitario donde tienen su origen los cuatro músculos rectos, se dirigen adelante formando un embudo, en situación casi paralela con las paredes de la órbita, hasta llegar al globo ocular donde contactan. A partir de esta situación tangencial anatómica, los músculos se enrollan en el ojo abrazándolo hasta su inserción escleral determinando el *arco de contacto* (Figura 9). Pues bien, al lugar donde toma contacto el

músculo con el globo, se le llama *inserción fisiológica*, invariable con respecto al *centro de rotación* del globo. Es el *arco de contacto*, o sea, la distancia que hay entre la inserción fisiológica y la inserción anatómica escleral, lo que va a variar con los movimientos del ojo y las posiciones del globo.

Según **Hans Bredemeyer y Kathleen Bullock (1968)**, el *arco de contacto* de los músculos oculares en posición primaria de mirada es:

Bredemeyer- Bullock (1968) (arco de contacto)

* Recto medio:	6,3 mm	29°
* Recto lateral:	15,0 mm	69°
* Recto superior:	8,4 mm	39°
* Recto inferior:	9,0 mm	42°
* Oblicuo superior:	4,9 mm	23°
* Oblicuo inferior:	16,9 mm	79°

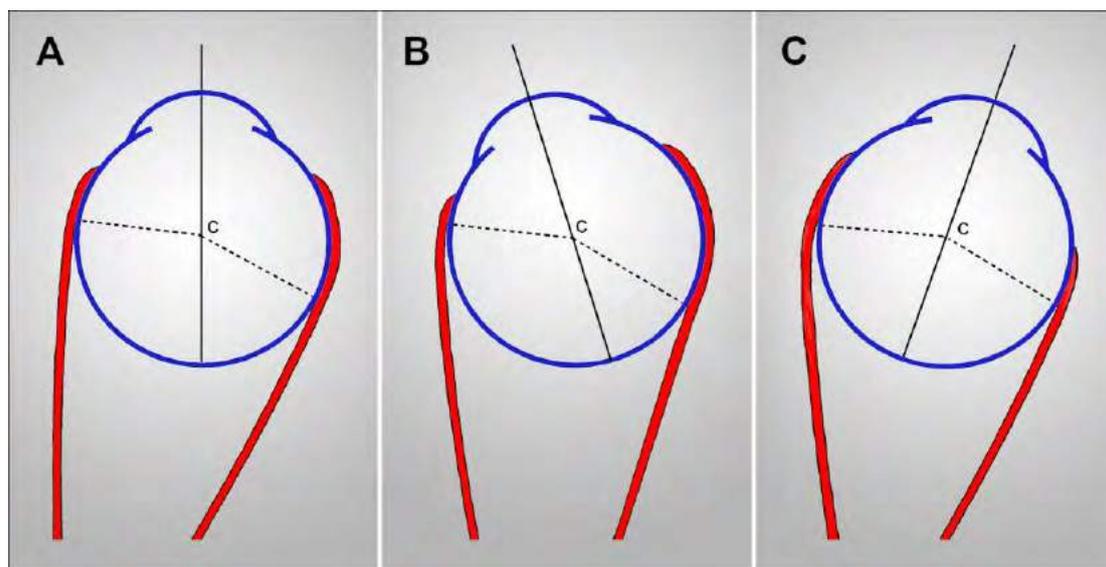


Figura 9. Arco de contacto.

Arco de contacto en posición primaria de mirada **(A)** y después de realizar la aducción **(B)** y la abducción **(C)**. El punto muscular tangencial es constante con relación al centro de rotación del globo, de modo que el brazo de palanca se mantiene siempre igual hasta la desaparición del arco de contacto.

Así pues, al ser invariable el punto de *inserción fisiológica* con relación al *centro de rotación* del ojo, el *brazo de palanca* será el mismo sea cual fuere la posición del globo ocular. Ocurre que a partir del momento en que no existe *arco de contacto* por desenrollamiento del músculo, bien por rotación funcional del mismo o su anulación quirúrgica debido a retroinserción muscular generosa, al no existir tracción tangencial, el músculo no podrá realizar acción rotadora del ojo y solo actuará la función retractora. Por tanto, tiene gran importancia conocer los valores del *arco de contacto*, para que después de la cirugía no quede el ojo desposeído del *brazo de palanca* efector del movimiento.

Normalmente, el recto medio no debe ser retroinsertado más de 5,5 mm, el recto lateral más de 8 mm y los rectos verticales más de 5 mm.

Respecto a la resección, hemos de poner también topes para evitar las

limitaciones pasivas de rotación del globo. Como norma: el recto medio no debe researse más de 8 mm; en el recto lateral ponemos el límite en 9 mm, y en los rectos verticales la resección máxima está en 5 mm.

Ahora bien, si combinamos la retroinserción muscular con la resección proporcionada de su antagonista homolateral, evitamos la pérdida del *arco de contacto* del músculo retroinsertado, porque el retroceso de este músculo lo compensa con su enrollamiento muscular el acortamiento de su antagonista. Lo producido, simplemente, es un cambio de situación del ojo en la cavidad orbitaria, pero manteniendo el *arco de contacto* del músculo debilitado a costa de la disminución del de su antagonista homolateral reseado.

Por último, existe otra situación a valorar cuando realizamos retroinserción muscular. En músculos cortos que padecen estado de hipertonía por determinadas enfermedades, como por ejemplo el recto

medio en endotropía con limitación de la abducción, y el recto superior en DVD, se pueden realizar retroinserciones más importantes porque la amputación del *arco de contacto* no se va a producir. La gran retroinserción va a quedar compensada con el acortamiento existente en estos músculos hipertónicos.

Otro problema distinto sería que el músculo acortado lo fuera por contractura y cambios anatomopatológicos de la fibra muscular. En este caso ocurriría lo contrario. Pequeñas retroinserciones pueden ser responsables de limitación importante en la rotación del globo, como sucede en los síndromes restrictivos.

La descripción realizada es acorde con la concepción clásica. En el capítulo de fisiología motora veremos que **Cüppers** en **1968** determinó los valores de la fuerza

tangencial (fuerza activa de rotación) existentes en el recto medio a partir 30° de rotación realizada, que son los que se precisan para que este músculo pierda su *arco de contacto*. Después de aquí, clásicamente, la fuerza de tracción no tendría posibilidad de rotación. **Cüppers**, en esta zona especial, comprobó matemáticamente que “*el ojo rota con relación a la ley del coseno del ángulo establecido entre la línea de acción muscular (fuerza de tracción) y la línea tangente al globo en el punto de tracción*”. Esto es: el globo ocular tras haber perdido el *arco de contacto*, aún le queda espacio en el que todavía existe posibilidad de acción muscular rotadora. Por supuesto *decreciente*, al ir disminuyendo de forma progresiva el *brazo de palanca*. En ello se basó el autor para proponer en **Madrid**, en el año **1973**, la “*Fadenoperación*”. En español, “*operación del hilo*”.

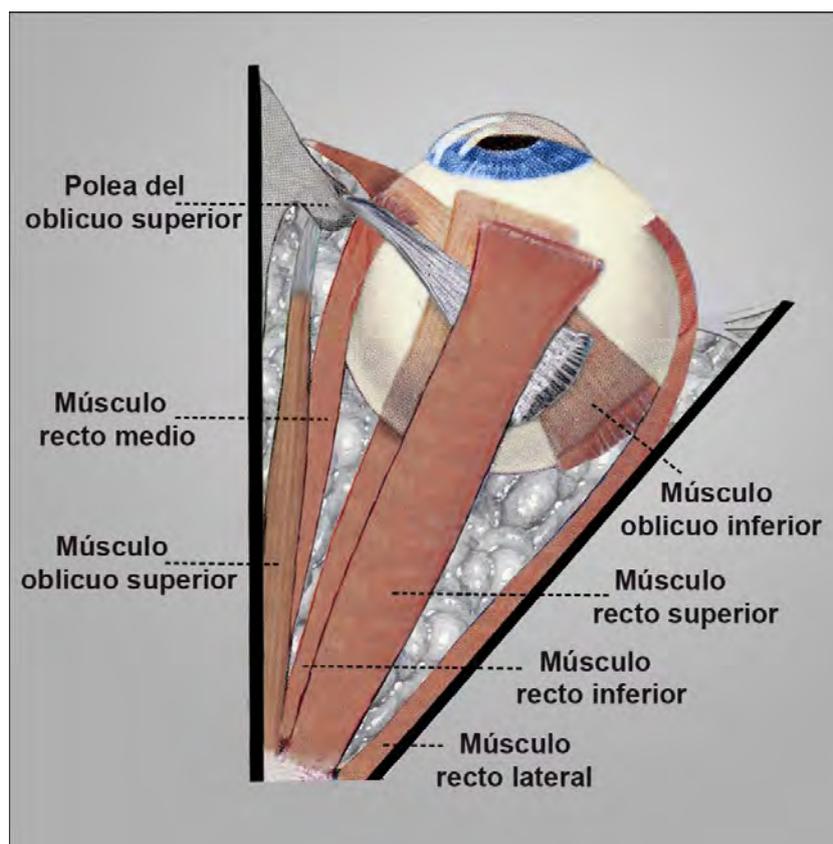


Figura 10. Músculos óculo-motores. Vista superior.

Músculo oblicuo superior (musculus obliquus superior)

El Gran oblicuo y también llamado trocleador, porque pasa por un pequeño anillo cartilaginoso que produce aproximadamente el mismo efecto que una polea "

*Jean Taylor (1738)
(Oculista del Rey de la Gran Bretaña)*

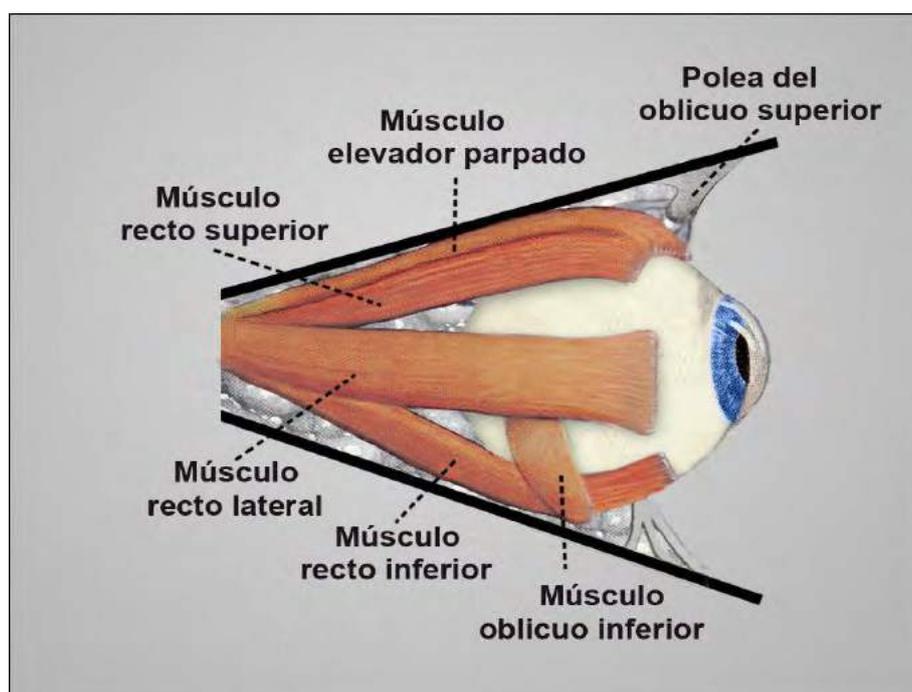


Figura 11. Músculos óculo-motores (vista lateral).

El oblicuo superior u oblicuo mayor, tiene su origen en el fondo de la órbita a nivel del tendón de Zinn, entre el recto superior y el recto medio. Desde ahí, el delgado y redondeado cuerpo carnoso de este músculo, el más largo de los contenidos en la órbita, se dirige hacia adelante a lo largo de la arista superointerna orbitaria, entre el recto superior y el recto medio. A 10 mm del ángulo superointerno del borde orbitario el músculo se adelgaza transformándose en formación tendinosa cilíndrica. A 5 mm de este borde, se encuentra con la *tróclea* o *polea de reflexión*: tubo corto fibro-cartilaginoso de unos 5 mm de largo, a veces osificado, e insertado en una pequeña depresión del hueso frontal, que es la *fosa troclear*. El nombre de *tróclea* se debe a su función u oficio de trócola o garrucha. El tendón atraviesa este anillo fibroso y, cambiando de trayectoria, se dirige hacia atrás, abajo y afuera, formando con el eje visual ángulo agudo de 50° a 55° . Cruza el globo ocular de modo que, después de atravesar la cápsula de Tenon, pasa por debajo del músculo recto superior a 2-3 mm del extremo interno de su inserción escleral, y a 5 mm de su extremo externo, estando el ojo en *posición primaria de mirada*. Se inserta finalmente en la esclera mediante un tendón de 11 mm de ancho, aplastado, muy delgado y abierto en abanico, según una línea curvilínea de convexidad posterior, que mira hacia afuera y atrás. La extremidad anterior

de esta inserción queda a unos 5,5 mm del extremo externo de la inserción escleral del recto superior, y la extremidad posterior de la inserción se sitúa a 6,5-7,0 mm del nervio óptico (Figura 12). Esta *inserción movable* se encuentra situada en el cuadrante postero-superior, en su mayor parte por detrás del ecuador (exceptuamos solo las fibras más anteriores, que son antero-ecuatoriales). Esta disposición terminal del tendón según una línea curva mirando afuera y atrás, con su porción anterior temporal y preecuatorial, y su porción posterior más medial y post-ecuatorial, hace que el carácter funcional sea distinto en ambas áreas: más incliclorrotadora el área anterior y más abductora la posterior.

Importante dato anatómico. El paso del oblicuo superior a 3 mm de la extremidad nasal del recto superior y a 5 mm de la extremidad temporal, habrá de tenerse en cuenta al realizar retroinserciones del recto superior. La porción refleja tendinosa del oblicuo superior, que se extiende desde la tróclea hasta la inserción escleral mide alrededor de 18 mm. Sobre esta parte del músculo es donde se practica la cirugía.

Muy cerca, a 2 mm de la inserción escleral del oblicuo superior se encuentra la salida de la vorticosa temporal superior, referencia a tener en cuenta si se decide hacer el refuerzo de este músculo avanzando su inserción.

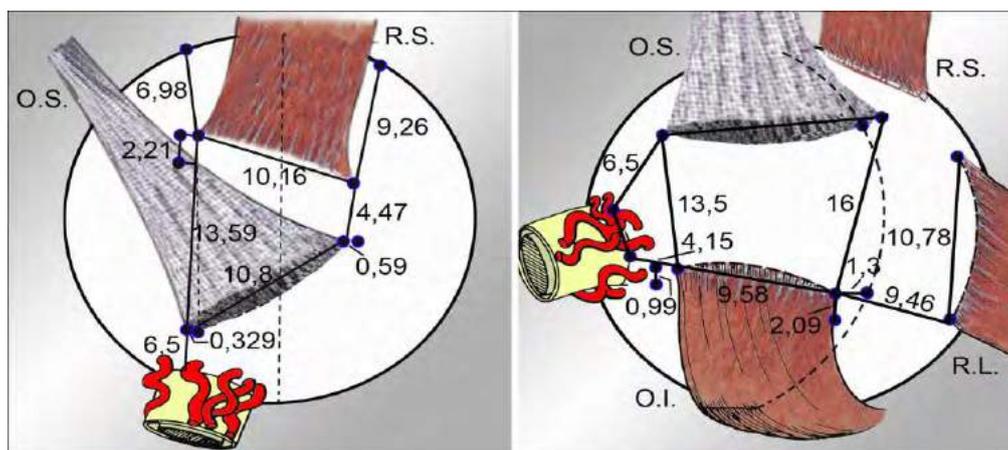


Figura 12. Inserción escleral de los músculos oblicuos (inspirado en el dibujo de Fink).

Músculo oblicuo inferior (musculus obliquus inferior)

El oblicuo inferior o menor, con longitud aproximada de 35 a 38 mm, es el más corto de todos los músculos extraoculares y el único que no procede del fondo de la órbita. Tiene su origen tendinoso en la parte más anterior e interna del suelo orbitario, en una pequeña fosa o depresión rugosa que deprime la cara orbitaria del maxilar superior, en el borde externo del orificio superior del canal lácrimo-nasal. Desde aquí, con cuerpo muscular aplanado y muy carnoso, se dirige hacia afuera, atrás y arriba, formando con el eje visual del ojo, cuando éste se encuentra en *posición primaria de mirada*, ángulo de 50°. La posición y dirección del músculo oblicuo inferior es similar a la de su oponente, representado por la porción refleja del oblicuo superior. Cruza la cara inferior u orbitaria del recto inferior, entre este músculo y la órbita, de la que le separa la grasa orbitaria. Contraen ambos relación muy estrecha al fundirse sus vainas, constituyendo a ese nivel un espesamiento, que es llamado *ligamento suspensorio de Lockwood*. Termina adaptándose al globo ocular mediante un extenso arco de contacto de 15 mm, para hacer su *inserción móvil* en el mismo a 1,5 mm por detrás del ecuador, y a través de un tendón muy corto, de alrededor de 2 mm, de anchura variable (sobre 9,0 mm), justamente bajo el músculo recto lateral, según una línea oblicua de abajo arriba y por debajo del meridiano horizontal con el que forma ángulo de 15°. El extremo anterior de la inserción escleral se encuentra a 9,5-10 mm del extremo inferior de la inserción del recto lateral; el extremo posterior se ubica a 2,0 mm de la fovea y a 4,5-5 mm del nervio óptico (Figura 12). La vaina que envuelve al músculo, tras cruzar al recto inferior, manda una expansión al borde del recto lateral, y por su parte posterior se relaciona con el nervio óptico, a través de sendas expansiones fibrosas, cuya limpieza y desbridamiento es fundamental para practicar retroinserciones del músculo.

Es importante a tener en cuenta la

relación con la vena vorticiosa inferoexterna, que se halla a 8 mm por debajo de la inserción y a 1 mm por delante del borde posterior. Así, el tercio distal del músculo oblicuo inferior se encuentra encima de la vena, cuestión importante en las retroinserciones de este músculo.

Dato de interés anatómico es su vascularización producida por la rama externa de la arteria muscular inferointerna, que entra en él formando un pedículo con la vena y el nervio por su borde posterior en el lugar en el que atraviesa el nivel externo de la cara orbitaria del recto inferior, a unos 12 mm del extremo temporal de la inserción escleral de este músculo.

Músculo elevador del párpado superior

Aun no siendo músculo esencialmente óculo-motor, merece la pena ser citado por su fisiología, su caminar intraorbitario, por las interesantes relaciones que presenta con el recto superior, y por vincularse a otros músculos oculares en su historia patológica.

Inervado por la rama superior del III par, se origina en el vértice orbitario, en el ala menor del esfenoides, por encima del recto superior con el que se fusiona a nivel del *tendón de Zinn*. A partir de aquí, se dirige adelante en situación horizontal entre la pared superior de la órbita por arriba y el recto superior por debajo, estando ambos músculos muy unidos a este nivel por sus vainas. La cara superior del músculo, en su porción más posterior, es cruzada por el patético cuando este nervio se dirige en busca del oblicuo superior. Llegado el momento, su cuerpo muscular cambia de orientación haciéndose vertical y palpebral y termina insertándose mediante un ancho tendón, en forma de abanico, en el borde superior y cara anterior del tarso, mandando algunas fibras a la piel del párpado superior. Lateralmente, este tendón envía expansiones fibrosas hacia el tubérculo de Withnall y al ligamento palpebral externo por fuera. A la cresta lagrimal del unguis y al ligamento palpebral interno por dentro. Son los *haces o frenos orbitarios externo e interno*.

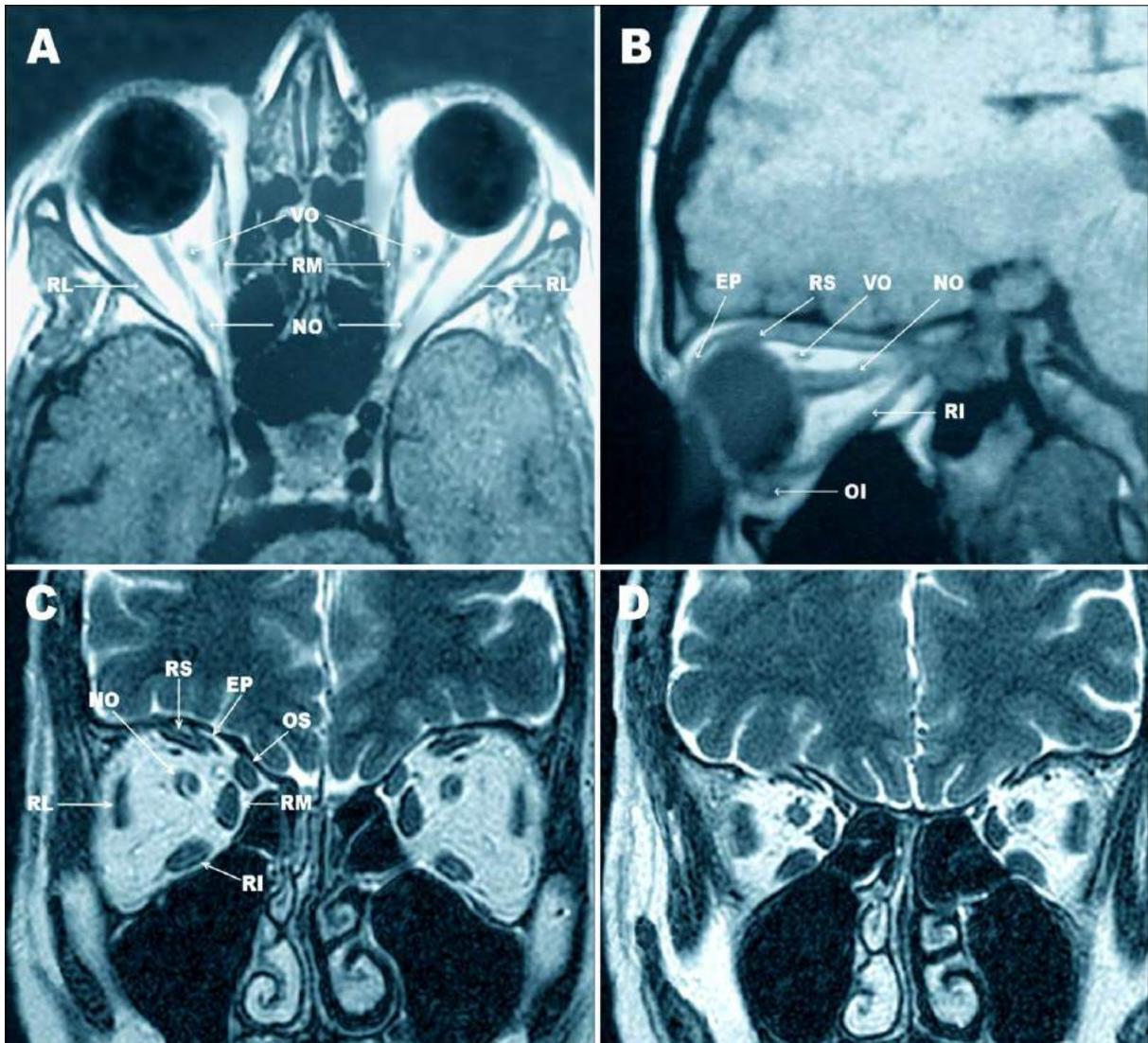


Figura 13. Músculos óculo-motores vistos por RNM (tres proyecciones).

A) Proyección axial: RM (recto medio). RL (recto lateral). NO (nervio óptico). RI (recto inferior). OI (oblicuo inferior).

B) Proyección longitudinal: EP (elevador del párpado). RS (recto superior). VO (vena oftálmica). NO (nervio óptico). RI (recto inferior). OI (oblicuo inferior).

C) Proyección coronal pasando por plano medio: RS (recto superior). EP (elevador del párpado). OS (oblicuo superior). RM (recto medio). RI (recto inferior). RL (recto lateral). NO (nervio óptico).

D) Proyección coronal pasando por plano posterior.

Vainas musculares y sus expansiones

El ojo y los músculos que lo abrazan para movilizarlo, no se encuentran libres y aislados en la cavidad orbitaria, sino en el interior de una membrana fibroelástica especial, cóncava hacia delante, que fracciona la órbita en dos compartimentos: uno anterior (en el que queda alojado el globo ocular) y otro posterior (en el que se disponen el nervio óptico, el ganglio oftálmico, los músculos oculares, los vasos, los nervios sensoriales, motores y sensitivos, y la grasa orbitaria). Esta membrana aponeurótica, acogiendo y envolviendo al globo ocular en su concavidad desde el limbo esclerocorneal, lo separa en su derredor de los tejidos blandos del entorno circundante. Es de interés notable, y se encuentra en todos los animales que poseen ojos dotados de movimiento. Se denomina *cápsula de Tenon*, descrita por vez primera de modo satisfactorio en el humano, en Memoria leída el día 29 del mes Fructidor del año **1806** (calendario republicano francés), por el que fuera profesor del Colegio de Cirugía de París y cirujano de la Salpêtrière, **Jacques-René Tenon** ("Mém. et Obs. sur l'anatomie, la pathologie et la chirurgie", pág. 193), si bien la popularidad de esta aponeurosis orbitaria se alcanzó a partir de las descripciones de **Joseph-François Malgaigne (1838)** en su libro "Traité d'anatomie et de chirurgie experimentale", y, también, del magistral estudio de **Jules Guerin (1842)** en "Gazette Medical de París" de este año. Esta fascia ha recibido posteriormente otros nombres, tales como *vagina bulbi*, *aponeurosis orbitaria* y *cápsula de Bonnet*.

No obstante, haciendo justicia histórica, dejemos señalado aquí que, aunque sin el rigor anatómico con que había sido detallada por **Tenon**, otros autores, como **Galeno de Pérgamo (130-200 d.d.C)**, **San Alberto Magno (1220-1280)**, **Mateo Realdo Colombo (1516-1559)**, **Lulius Cassérius (1552-1616)** y **Johannes Rioloano (1580-1657)**, la habían considerado con anterioridad bajo las denominaciones de "*membrana innominata*" o "*túnica adnata*".

La *cápsula de Tenon*, extendida desde el borde corneal hasta el lugar donde entra el nervio óptico en el globo, ha sido definida y descrita de muy diferentes maneras desde su comienzo hasta nuestros días.

Presenta dos capas perfectamente definidas: interna y externa.

Capa interna de la cápsula de Tenon

Envuelve al globo ocular desde la línea que une la inserción anatómica de los músculos rectos (*espiral de Tillaux*), hasta el lugar de entrada del nervio óptico en la esclera.

Distinguimos en esta capa dos sectores bien diferenciados: anterior o muscular y posterior o escleral.

- Sector anterior o muscular.

Queda constituido por la *vaina muscular* que envuelve a los cuatro músculos rectos, tanto por su cara externa (orbitaria) como interna (escleral), y por la *membrana intermuscular* que los une. Esta *membrana intermuscular* es resultante de la fusión, a nivel de los bordes musculares, de ambas caras (externa e interna). Dicho de otro modo, la *membrana intermuscular* desdoblándose en los bordes musculares aporta a cada músculo la *vaina muscular* con sus dos caras: interna o escleral y externa u orbitaria. *Vaina muscular* y *membrana intermuscular* forman una banda o cinturón circular peribulbar, que abraza y rodea al globo ocular, extendiéndose desde la *espiral de Tillaux* (por delante), hasta el lugar ubicado a nivel del ecuador (por detrás), por el que emergen los cuatro músculos rectos procedentes y nacidos en el fondo de la órbita. Todo ocurre como si desde este origen orbitario, en su caminar postero-anterior, los músculos oculares en su trayecto para llegar a la inserción escleral atravesaran la *capa interna de la cápsula de Tenon*, no por una simple abertura sino reflejándola en forma de "dedo de guante". Esta capa interna de la cápsula de Tenon, por su cara profunda, se encuentra en relación directa con la

esclerótica, de la que queda separada por tejido celular muy fino y laxo (**Adrien Charpy, 1907**), a modo de “bolsa serosa rudimentaria”, como dice **Photinos Panas (1873)**, que facilita los movimientos del globo. A nivel del músculo, en la cara profunda de su vaina muscular se encuentran algunas condensaciones fibrosas, no difíciles de despegar, que aúna esta vaina a la esclera.

La **capa interna de la cápsula de Tenon** que estamos describiendo, con su componente añadido, la *membrana intermuscular*, mantiene unidos los siete músculos intraorbitarios. Esta aponeurosis común que vincula cada elemento muscular con su vecino lateral, resulta de gran trascendencia porque “... *sirve para que los músculos, al realizar los movimientos oculares, no pierdan su plano de acción*”.

A nivel del límite posterior de la **capa interna de la cápsula de Tenon**, situado como se ha dicho en el ecuador del globo, su cara externa u orbitaria se fusiona con la **capa externa de la cápsula de Tenon**, para, desde aquí, ir suavemente difuminándose conforme se dirige hacia el vértice orbitario, donde como escribe **Photinos Panas en 1873** en “*Leçons sur le strabisme*”, pág. 10, y en **1894** en su “*Traité des maladies des yeux*”, pág. 3: “... *degenera en una vaina puramente celulosa, que apenas merece a este nivel el nombre de aponeurosis*”.

- Sector posterior o escleral.

Recubre la esclerótica desde el ecuador a nivel del lugar, referido antes, donde se fusionan ambas capas interna y externa de la cápsula de Tenon, hasta el nervio óptico. Es como la continuación hacia atrás de la cara profunda de las vainas musculares y de la membrana intermuscular.

Capa externa de la cápsula de Tenon

Recubre el globo ocular y la **capa interna de la cápsula de Tenon** de delante atrás.

Por delante, se inserta a nivel del borde corneal en íntima unión con la

conjuntiva. A partir de aquí, se encuentra en contacto directo con el tejido epiescleral, cubriendo, a partir de la “*espiral de Tillaux*”, la **capa interna de la cápsula de Tenon** con la que acabará fundida, como ya hemos apuntado, a nivel del ecuador del globo. Posteriormente, la cápsula de Tenon con sus dos capas fusionadas, se va difuminando poco a poco confundiendo con la grasa orbitaria:

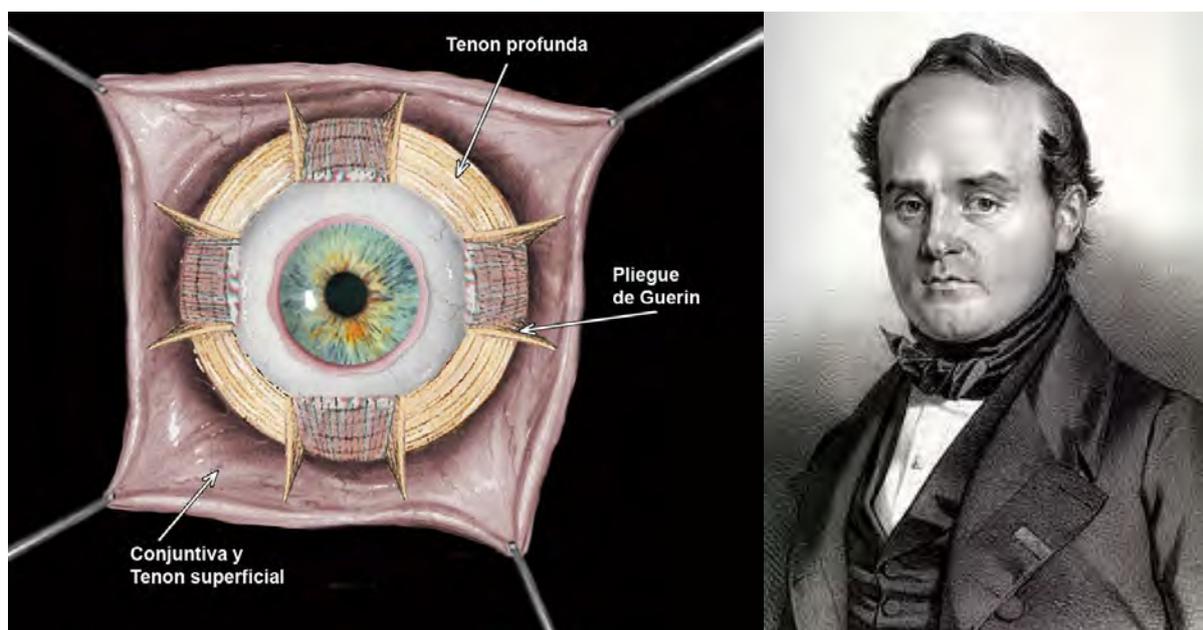
- La cara profunda de la capa externa de la cápsula de Tenon, está separada de la esclera y de la **capa interna de la cápsula de Tenon** por una cavidad virtual denominada *espacio de Tenon* o *espacio supraesclerótico de Schwalbe*.
- La cara superficial de la capa externa de la cápsula de Tenon, en su porción anterior, se relaciona con la conjuntiva de la que queda aislada por un espacio ocupado por tejido celular muy laxo, por donde discurren los vasos conjuntivales. Este espacio desaparece a 3 mm de la córnea, donde cápsula de Tenon y conjuntiva se encuentran íntimamente adheridas. La línea donde ambas membranas se sueldan se conoce con el nombre de “*anillo conjuntival*”. Esta fusión de la conjuntiva con la Tenon evita que se formen pliegues a este nivel en los movimientos oculares.

En su porción posterior, la cara superficial de la Tenon (ya fusionadas **ambas capas interna y externa**) se relaciona con la grasa orbitaria con la que se vincula por medio de trabéculas conjuntivas, que compartimentalizan de modo irregular este panículo adiposo. Envía, así mismo, láminas céluo-fibrosas hacia los elementos vasculares y nerviosos infraorbitarios. También, de la cara profunda de la Tenon posterior se destacan otras láminas destinadas a rodear lóbulos adiposos profundos,

vasos y nervios situando dentro del cono muscular.

A nivel del borde de los músculos rectos, entre la membrana intermuscular y la capa externa de la cápsula de Tenon, se extienden los *pliegues ligamentosos de Guerin*, que en

cirugía de la motilidad conocemos como “alerones” de la vaina muscular. Estos pliegues se encuentran exquisitamente dibujados por **Nicolás Henri Jacob** en el libro “*Traité complet d’anatomie de l’homme*” (París, 1831-1854) del cirujano y anatomista **Jean Marc Bourger**.



Jean Marc Bourger (1797-1849)

Figura 14. Vainas musculares y sus expansiones.

Conjuntiva expuesta con la *cápsula de Tenon superficial* adherida a ella, y la *cápsula de Tenon profunda* formando la vaina muscular y expansiones laterales. Se muestran los *pliegues de Guerin*.

Jacques René Tenon (1806) detalló que desde los músculos rectos horizontales arrancaban directamente unas expansiones o prolongaciones fibrosas que se dirigían a la pared orbitaria y que consideró “*tendones de freno*”. Fue **Marie-Philibert-Costant Sappey (1854)**, el anatomista que demostró que estas prolongaciones ligamentosas no partían directamente de los músculos, como lo entendió **Tenon**, sino de la vaina que los recubría, y descubrió fibras musculares lisas a nivel de estos fascículos, de ahí que los llamara: *músculos orbitarios interno y externo*. Son verdaderos “*ligamentos de contención*”, que sirven para mantener *in situ* el globo ocular y controlar sus movimientos de

contracción o relajación. **Sappey** les dio el nombre de “*fascículos tendinosos*”, de gran utilidad para acelerar, frenar, precisar y modular los desplazamientos oculares.



Philibert-Costant Sappey (1810-1896)

En opinión de **Félix Terrien (1928)**: "... estos ligamentos, además de ser agentes de moderación de los movimientos del globo son, al mismo tiempo, tendones de reflexión, puesto que modifican la dirección de los músculos rectos que transforma, de alguna manera, en músculos reflejados" ("Sémiologie oculaire. Statique et dynamique oculaires", pág. 4).

Las expansiones fibrosas de los músculos verticales (recto superior e inferior) no tienen, a diferencia de las de los rectos horizontales, relación alguna con la órbita confundiendo con los ligamentos suspensores de cada párpado.

Los ligamentos de contención más importantes y de mayor fuerza son:

- *Ligamento de contención, fascículo tendinoso o aleta ligamentosa del recto medio.*

La vaina muscular del recto medio, en el lugar en que el músculo se curva por delante para encontrar el ojo, envía un ligamento o aleta fascicular, de 15 a 20 mm de largo (*ligamento de contención del recto medio*), que, dirigiéndose de atrás adelante y de fuera adentro hacia la pared interna de la cavidad orbitaria, se fija en la cresta lagrimal del unguis (*cresta lagrimal posterior*), inmediatamente por detrás del saco lagrimal. También manda algunas fibras a la cara posterior de la carúncula y a la conjuntiva a nivel del fondo de saco conjuntival interno. Cuando el músculo recto medio se contrae, lleva atrás a la carúncula, al repliegue semilunar, y a la comisura interna de los párpados.

El *ligamento de contención del recto medio* destina, por arriba, expansiones fibrosas al elevador del párpado y al recto superior, y por abajo, algunas otras dirigidas al recto inferior y al oblicuo inferior.

- *Ligamento de contención, fascículo tendinoso o aleta ligamentosa del recto lateral.*

La vaina muscular del recto lateral dirige una formación fibro-ligamentaria densa, de color blanco mate, más desarrollada y voluminosa que la del recto medio, de 18 a 20 mm de larga, hacia adelante y afuera a la cara externa de la órbita y borde orbitario (*tubérculo de Withnall* o *tubérculo orbitario lateral*). Emite, también, expansiones fibrosas a la cara posterior del ligamento palpebral externo y a la conjuntiva, a nivel de su fondo de saco externo.

El *ligamento de contención del recto lateral (ligamento malar de Pannas)*, cursa expansiones fibrosas hacia arriba buscando las laterales del elevador del párpado y del recto superior, y hacia abajo al recto inferior y al oblicuo inferior.

Ambos *ligamentos laterales de contención: interno y externo*, limitan los movimientos de lateralidad del ojo y la acción retractora hasta determinado margen. Esta función la describe magistralmente **Ernest Motais (1887)** en su libro "*Anatomie de l'appareil moteur de l'oeil*", pág. 126. Sobre cadáver traccionando según su dirección normal hacia el fondo de la órbita el músculo recto horizontal por medio de un hilo anudado al mismo, a algunos milímetros por detrás de la inserción muscular de la *aleta ligamentosa*, demostró que el resultado era totalmente opuesto al que emitió el Catedrático de Anatomía de la Facultad de Medicina de París, **Sappey** en **1876** ("*Traité d'anatomie descriptive*", Tomo II, pág.120), que suponía que el *ligamento de contención lateral externo* inmovilizaría el ojo en el movimiento de aducción, en tanto que el *ligamento de contención lateral interno* lo frenaría en el de abducción.

Ernest Motais comprobó experimentalmente que, en el movimiento de abducción, el ligamento de freno que se

opone al desplazamiento hacia afuera del globo no es el interno, sino el *ligamento de contención lateral externo*, en correspondencia con el lado del músculo contraído, o sea, el recto lateral o externo, al menos durante gran parte de la contracción. Y viceversa. Literalmente escribe en 1887: “... *el globo no es retenido por el alerón del lado opuesto; sino que es frenado por la tensión de la aponeurosis del mismo lado que el músculo en actividad, que se estira y tensa hacia atrás, en tanto que el alerón del músculo antagonista se relaja conforme el músculo sobre el que se inserta se enrolla sobre el globo*” (“Anatomie de l’appareil moteur de l’oeil”, pág. 129 y 130). Este hecho se ve perfectamente reflejado en la figura 15. Así mismo, el que fuera Jefe de los Trabajos Anatómicos de la Escuela de Medicina de

Angers concluye: “... *el alerón, por su tensión progresiva, es desde el comienzo y durante toda la duración de la contracción muscular un agente moderador de los movimientos del globo*”.

Los *ligamentos laterales de contención* dividen en dos partes bien definidas a los músculos rectos: una anterior a los mismos ubicada debajo de la conjuntiva, y otra segunda posterior situada en la celda orbitaria. Estos ligamentos laterales tuvieron gran importancia en la primera época del tratamiento quirúrgico del estrabismo, en el que la cirugía de debilitamiento muscular se basaba en la tenotomía o miotomía. Merecían gran respeto estos ligamentos tendinosos, como único modo de evitar la grave complicación del efecto excesivo del tratamiento quirúrgico.

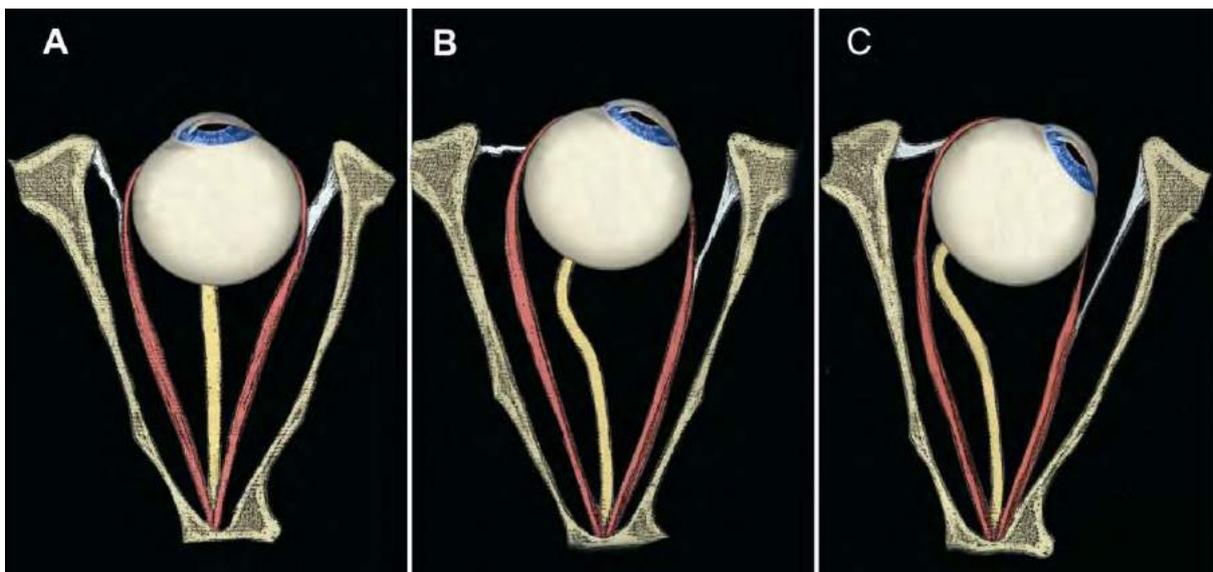


Figura 15. Ligamentos laterales de contención (Inspirado en el dibujo de Ernest Motais, 1887).

A) Ojo en posición primaria de mirada.

B) Ojo en ligera abducción. El *ligamento lateral externo* comienza a estirarse.

C) Ojo en abducción máxima. El *ligamento lateral externo* en su mayor posibilidad de extensión, demostrando que no es el *ligamento lateral interno* el que hace de “brida” frenando el movimiento, sino el propio *ligamento lateral externo*.



Ernest Motais
(1846-1913)

* *La vaina muscular del recto superior* presenta relación estrecha con la del oblicuo superior, que le cruza por debajo. Por arriba, con la vaina del elevador del párpado superior a la que se funde a 6-8 mm por detrás de su inserción escleral. Es motivo de la sinergia habida entre ambos músculos, de modo que es frecuente ver pseudoptosis en la hipotropía.

La vaina muscular del recto superior, fundida con la del oblicuo superior y la del elevador del párpado, forman un ligamento transversal (*ligamento de Withnall*), que se fija a los bordes orbitarios interno y externo limitando el movimiento vertical del ojo.

* *La vaina muscular del recto inferior*, según dijimos antes, en el sitio donde el oblicuo inferior cruza a ese músculo, se aprecia un engrosamiento fibroso, como si a ese nivel las vainas de ambos músculos estuvieran fundidas. De aquí salen sendas expansiones laterales con destino a las vainas de los dos rectos horizontales, constituyendo a modo de "hamaca suspensora", que, extendida entre la cara interna y externa de la órbita, sostiene el globo ocular limitando la depresión del ojo.

Así mismo, el músculo recto inferior se encuentra vinculado al párpado inferior por

la extensión facial de la vaina que lo envuelve, condicionando variaciones en la hendidura palpebral en las intervenciones del mismo.

* *La vaina del oblicuo inferior*, que acompaña al músculo desde su origen orbitario hasta su inserción escleral, además de las expansiones fusionadas con las del recto inferior constituyendo el *ligamento de Lockwood*, envía otras formaciones fibrosas al llegar al borde inferior del recto lateral, que se unen con la vaina muscular de éste. Por último, destacaremos por la importancia que a veces tienen las expansiones fibróticas que este músculo envía hacia atrás llegando a relacionarse con el nervio óptico, y las que manda hacia adelante uniéndose al recto lateral. El conocimiento de estas formaciones es notorio para cuando tenemos que realizar retroinserciones de este músculo.

La vaina del oblicuo inferior presenta dos zonas de distinta consistencia: la interna, muy laxa, que se extiende desde el lugar de su origen en la órbita hasta el borde nasal del recto inferior; y otra, muy consistente, que va desde el recto inferior a su inserción escleral por debajo del recto lateral.

* *La vaina muscular del oblicuo superior* está constituida por una envoltura

densa de tejido conjuntivo, que se detiene a nivel de la polea, en el interior de la cual se desliza el tendón. Recibe expansiones del elevador del párpado, del recto superior, y del recto medio.

La vaina que recubre esta porción

refleja del tendón del oblicuo superior, tiene dos porciones estructuralmente distintas: la interna, desde la tróclea hasta el borde nasal del recto superior, de gran consistencia y poder; y la externa, desde el recto superior hasta la inserción del tendón en la esclera, que es delgada y tenue.

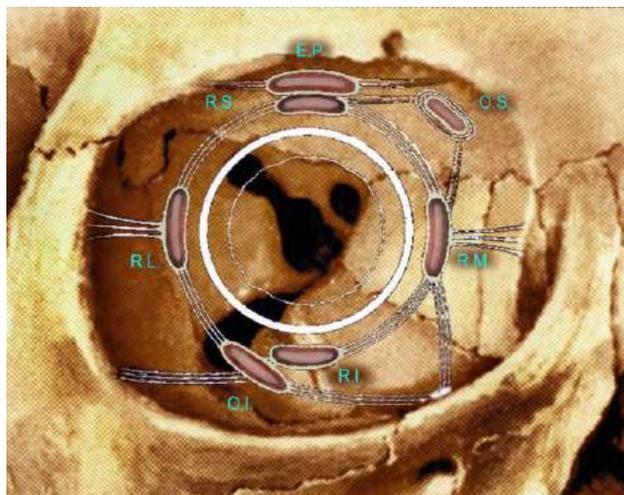


Figura 16. Aparato suspensor del globo ocular.

Sistema suspensor de los músculos óculo-motores.

Sistema de poleas

En el año **1993**, **Miller**, a partir de estudios realizados con resonancia nuclear magnética de alta definición y valoración histoquímica en ojos de cadáver, pudo comprobar que durante los movimientos rotacionales amplios había comportamiento anormal de los cuerpos musculares, porque, a pesar del movimiento realizado, se mantenían muy pasivos y fijos. Con estudios especiales, llegó a la conclusión de que los cuatro músculos rectos, en el trayecto anatómico hacia adelante, desde su origen en el fondo de la órbita hasta la inserción escleral, a nivel aproximado del ecuador del globo (5 mm el RL, 3 mm el RS, 2 mm el RI por detrás del ecuador, y 3 mm por delante del ecuador para el RM), atraviesan en el ámbito de la cápsula de Tenon una especie de *anillo* o *manguito* fibro-elástico compuesto de colágeno, elastina y fibra muscular lisa, que le posibilita para contraerse y relajarse. Este anillo que

atraviesan los cuatro músculos rectos están situados a una distancia de la inserción escleral de 12,5 mm el RM, 19,0 mm el RL, 16,5 el RS y 7,8 mm el RI.

El ojo se encuentra suspendido en su lugar, conectado a la órbita con los *manguitos* de los músculos vecinos, constituyendo auténticas *poleas tenonianas funcionales* en las que se insertan la cara orbitaria de los músculos que la atraviesan, en tanto que la cara bulbar de los mismos sigue su trayecto hasta su lugar de fijación en la esclerótica. Esto va a dar lugar, al igual que ocurre en el oblicuo superior, a que las poleas de estos músculos horizontales sean el verdadero origen fisiológico o funcional del músculo. Aspecto de máxima importancia en fisiología motora, y de gran trascendencia en fisiopatología del equilibrio óculo-motor.

Este sistema de *poleas*, del que hace referencia, en **1844**, **Lucien Boyer** en su libro "Recherches sur l'opération du strabisme",

pág. 9, y **Photinos Panas (1873)** en su obra “Leçons sur le strabisme”, pág. 7, pone en cuestión y obliga a revisar aspectos anatómicos y fisiológicos del arco de contacto. También, y en consecuencia, los aspectos quirúrgicos derivados del mismo. (Véase el “sistema de poleas” más ampliamente descrito en el Capítulo de Fisiología motora).

Como conclusión al estudio desarrollado sobre la *cápsula de Tenon*, puede resumirse que esta membrana fibroelástica tiene varias funciones perfectamente definidas:

- a) Es elemento suspensor del globo ocular ajustándose a él de modo íntimo, acompañándole en todas sus rotaciones.
- b) Vincula entre sí los diferentes músculos a través de la membrana intermuscular.
- c) Elabora el sistema de poleas que evita se pierda la función principal de los músculos rectos en las distintas posiciones de mirada.

Grasa orbitaria

La grasa orbitaria constituye la masa retroocular, que, a modo de almohadilla (*almohadilla adiposa de Adrien Charpy-1907*), aloja al globo rellenando, a su vez, la porción posterior de la órbita. De atrás adelante es cruzada en su centro por el nervio óptico. Es, así mismo, atravesada por los vasos y nervios orbitarios.

Se asemeja a una hoja de trébol con cuatro lóbulos grasos, en cuyo centro se encuentra el globo y por cuyas escotaduras cabalgan los cuatro músculos rectos. Por el pedículo caminaría el nervio óptico. Por delante, la grasa extraconal se extiende hasta a 10 mm del limbo. Este dato anatómico es importante, pues si alteramos la cápsula de Tenon más allá de este nivel podemos asistir al prolapso de la grasa orbitaria, con sus consecuencias restrictivas sobre la motilidad ocular.

“En la cavidad de la Órbita hay mucha gordura, que rodea al ojo por su parte posterior, porque no se ofenda contra el hueso: llena los intermedios de los Músculos, sostiene los Vasos, humedece y facilita los movimientos, y sirve de tanto abrigo que sin duda por eso jamás sentimos frío en los ojos”

*Martínus Martínez (1728)
(Médico de Cámara de su Magestad)*

Vascularización de la órbita

Sistema arterial

La vascularización orbitaria es variable. La órbita recibe su nutrición a cargo de la arteria oftálmica (rama de la carótida interna), de la arteria meningo-lacrimonal (rama

de la meníngea media), y de las arterias palpebrales (ramas de la facial).

La arteria carótida interna después de atravesar el conducto carotídeo entra en el seno cavernoso recorriéndole de atrás adelante en sentido paralelo al cuerpo esfenoidal, manteniendo en su interior relación con el III, IV y VI par craneales y con

el nervio oftálmico. Una vez que alcanza el extremo anterior del seno cavernoso, se dirige hacia arriba y atrás describiendo un asa para salir del mismo atravesando la duramadre. Tras cruzar la cara externa del nervio óptico da cuatro ramas terminales: arteria cerebral anterior, cerebral media, coroidea anterior y comunicante posterior.

En el momento en que emerge del seno cavernoso la carótida interna, de su cara anterior emerge la arteria oftálmica. A veces, este nacimiento tiene lugar en el interior del lago venoso. La oftálmica se dirige hacia adelante, en el espacio subaracnoideo, por debajo del nervio óptico, hasta llegar al conducto óptico por donde entra en la órbita en situación inferoexterna con relación a éste. Aquí, tiene un diámetro de 1,5 mm.

La arteria oftálmica al entrar en la órbita, en trayecto de 5 mm se mantiene relacionada con la cara externa del nervio óptico, al que acompaña. Seguidamente, cambia la dirección hacia adentro y adelante cruzando el nervio por encima. Al llegar a la parte interna de éste, vuelve a variar la orientación para dirigirse hacia adelante, cerca de la pared interna de la órbita, entre los músculos recto medio y oblicuo superior. Termina su porción más anterior saliendo de la órbita por encima del ligamento palpebral interno y por debajo de la tróclea, a nivel del ángulo superointerno. Tras perforar el septum orbitario, toma la denominación de *arteria angular*. A este nivel, la arteria tiene un calibre de 0,5 mm.

En el trayecto orbitario, la arteria oftálmica da las siguientes ramas: (Figura 17)

* *Arterias que irrigan la porción posterior del nervio óptico.* Con origen en la primera parte de la arteria oftálmica, antes de cruzar al nervio óptico.

* *Arterias ciliares largas posteriores.* Con frecuencia son en número de dos: la ciliar larga interna y la ciliar larga externa. Aunque pueden existir variantes, el tronco más constante es la ciliar larga externa.

Ambas arterias ciliares se dirigen hacia adelante para penetrar la esclera a 4

mm del nervio óptico, externa e internamente. Las dos arterias ciliares caminan por la supracoroides según la proyección de los rectos horizontales (III y IX horas), lo que reviste importancia por poder ser lesionadas con las suturas en la cirugía debilitante de los músculos rectos. Estas dos arterias ciliares largas, junto con las ciliares anteriores derivadas de las musculares, formarán el círculo arterial mayor del iris. Las arterias ciliares largas se encargan de la vascularización de la coroides anterior, del músculo ciliar, y del iris.

* *Arterias ciliares cortas posteriores.* Nacen de las arterias ciliares largas posteriores, pero pueden originarse directamente de la arteria oftálmica. En número variable, de 8 ó 9, se introducen en el globo ocular alrededor del nervio óptico. Su destino es la vascularización de la coroides.

* *Arteria central de la retina.* Con mayor frecuencia arranca de la arteria oftálmica, aunque también puede hacerlo de una ciliar. Esta arteria entra en el nervio óptico por su cara inferior y a unos 10-12 mm del polo posterior del globo. Emerge en el fondo ocular a nivel de papila, donde se divide en cuatro arteriolas: dos nasales y dos temporales. Cada una de las cuales irriga un cuadrante retiniano.

* *Arteria lagrimal.* Es de las ramas más importantes de la arteria oftálmica. Con 1 mm de diámetro, nace de ésta nada más cruzar de fuera adentro por encima al nervio óptico. Se dirige hacia adelante, arriba y afuera, pasando por debajo de la vena oftálmica superior con dirección a la glándula lagrimal, donde termina. En su trayecto da ramos musculares destinados al recto lateral, al elevador del párpado y al recto superior.

* *Arteria supraorbitaria.* Es otra rama importante, de calibre 0,5 mm, que nace de la cara superior de la arteria oftálmica y a nivel de su porción media orbitaria. Puede salir, también, de la arteria etmoidal posterior y, a veces, de la arteria lagrimal. Se dirige hacia arriba y adelante, entre el oblicuo superior y el elevador del párpado, emergiendo de la órbita por la escotadura supraorbitaria. Da ramos musculares para el elevador del

párpado, el oblicuo superior y, en ocasiones, para el recto superior.

* *Arterias musculares.* Las arterias destinadas a irrigar los músculos oculares son muy numerosas y presentan gran variabilidad. El flujo sanguíneo emitido a la musculatura extraocular es muy elevado, posiblemente debido a su gran actividad.

De todas las arterias específicamente musculares la más constante es la *arteria muscular inferior o inferointerna*. Con un diámetro aproximado de 1 mm nace en la cara inferointerna de la arteria oftálmica después de haber cruzado al nervio óptico. Se dirige hacia abajo con destino a irrigar el recto inferior, el oblicuo inferior y, con frecuencia, el recto medio.

Esta *arteria muscular inferior o inferointerna* da, normalmente, dos ramas: la interna que irriga al recto medio y al recto inferior, y la externa que cruzando la cara superior del recto inferior junto con la vena y el nervio correspondiente forman un pedículo que entra en el oblicuo inferior por su borde posterior, en el lugar en que atraviesa el lado externo del recto inferior, a unos 12 mm del extremo temporal de la inserción escleral de este músculo.

Aunque se han descrito una *arteria muscular superior* y, mucho más raramente una *arteria muscular lateral*, la irrigación de los otros músculos óculo-motores: recto superior, oblicuo superior y recto lateral, comúnmente proceden de *ramos destacados de la arteria oftálmica* directamente, de la *arteria lagrimal*, de la *arteria supraorbitaria* o de las *arterias ciliares posteriores*.

La capa orbitaria (externa) del músculo, vinculada con las *poleas*, presenta una red vascular más importante que la de la capa muscular global (interna), que está encargada de la movilidad del globo al insertarse en la esclera.

Las arterias musculares en su terminación, a nivel de la inserción tendinosa del músculo recto en la esclera, aunque hay excepciones dan usualmente dos ramas por músculo excepto el recto lateral que tiene una sola, transformándose en las *arterias ciliares anteriores*, que perforan a

este nivel la esclera para contribuir a formar el *círculo arterial mayor del iris*, junto a las dos *arterias ciliares largas*, que vienen de atrás adelante por el *espacio supracoroideo de Schwalbe*. Este dato anatómico tiene gran interés en cirugía de los músculos rectos. Hay que ser prudente en el número de músculos a desinsertar, sobre todo en personas mayores, para que no se produzca isquemia aguda del segmento anterior.

* *Arteria etmoidal posterior.* Arteria de 0,3-0,5 mm, tiene su origen en la segunda porción de la cara superior de la arteria oftálmica. También puede proceder de las arterias supraorbitaria o lagrimal. Hace su trayecto hacia la pared interna de la órbita, entre el oblicuo superior y el elevador del párpado, en busca del canal etmoidal posterior, que atraviesa, junto al nervio etmoido-esfenoidal de Luschka, para irrigar las mucosas sinusal y nasal posterior. En el trayecto, aporta ramos musculares destinados al oblicuo superior y al elevador del párpado.

* *Arteria etmoidal anterior.* Es ramo más importante, de 0,7 mm. Nace también de la arteria oftálmica, en su porción más adelantada. Se dirige hacia adentro, por debajo del oblicuo superior, para introducirse por el canal etmoidal anterior, junto con el nervio nasociliar, para alimentar la mucosa sinusal, nasal y el tabique. En su caminar por la órbita da algunos ramos destinados al músculo oblicuo superior.

* *Arterias palpebrales.* Proceden de la arteria oftálmica, cerca de la polea del oblicuo superior. Son dos: La arteria palpebral superior, que tras perforar el septum orbitario a nivel del ángulo superointerno, se divide, a su vez, en dos ramas formando dos arcadas en el párpado superior: una cerca del borde libre, y otra superior a nivel de la zona más elevada del tarso, que discurre entre la cara anterior del tarso y el músculo orbicular. Y la arteria palpebral inferior, que irriga, también, mediante dos arcadas el párpado inferior. Ambas arterias palpebrales, en su porción externa, se anastomosan con ramos procedentes de la arteria lagrimal.

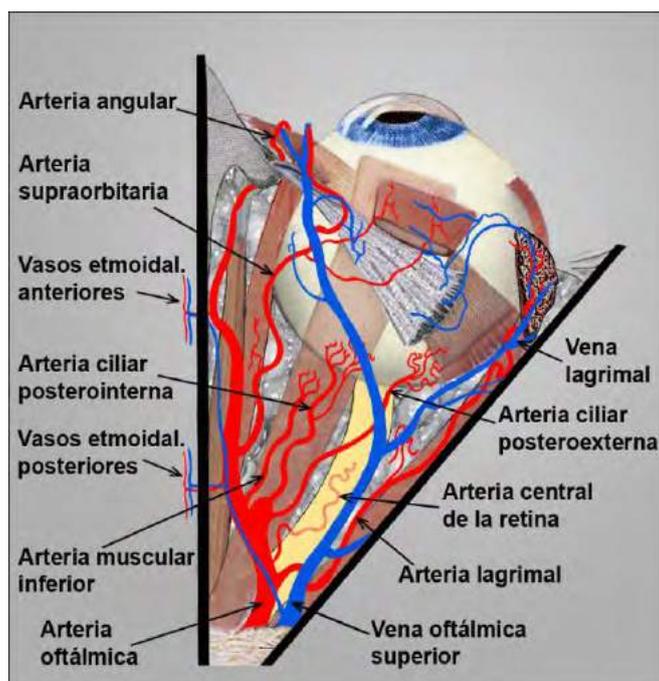


Figura 17. Vascularización de la órbita.

Sistema venoso

Casi todo el drenaje venoso de la órbita corre a cargo de la *vena oftálmica superior*, cuyo nacimiento lo hace inmediatamente detrás de la polea del oblicuo superior y fruto de la unión de dos raíces: la superior, procedente de las venas frontales, y la inferior, que viene de la vena angular. De aquí se dirige hacia atrás, entre los músculos oblicuo superior y recto medio.

Cruza por encima al nervio óptico y, en el fondo orbitario, atraviesa la hendidura esfenoidal inmediatamente por fuera del anillo de Zinn, desembocando finalmente en el plexo venoso del seno cavernoso. La *vena oftálmica superior* recibe los siguientes colectores: venas etmoidales anterior y posterior, ramas musculares, venas vorticosas superointerna y superoexterna, vena lagrimal y vena central de la retina.

Se describe una *vena oftálmica inferior*, de difícil identificación como vena independiente, que recibiría venas musculares y las venas vorticosas inferiores. Su terminación drena en la vena oftálmica

superior o, directamente, en el seno cavernoso.

Las cuatro venas vorticosas emergen del globo ocular por detrás del ecuador, a 13 mm de la inserción anatómica escleral de los músculos rectos y en los cuatro cuadrantes oblicuos. Hay que tener especial cuidado en no lesionarlas en las intervenciones sobre los rectos verticales y los oblicuos.

Menos importante es el drenaje venoso inferior, que lo hace al plexo pterigoideo a través de la hendidura esfenomaxilar. También existe otro drenaje anterior que vierte a la vena angular.

Sistema linfático

El aspecto más conocido del drenaje linfático de la órbita es el referido al del aparato lagrimal, conjuntiva y párpados.

Va a los grupos parotídeos y submandibulares.

Recientemente (**Gausas, 1999**), ha identificado vasos linfáticos en la órbita.

ESTRUCTURA Y ULTRAESTRUCTURA DEL APARATO MUSCULAR (Gentileza del Profesor MIGUEL ANGEL ZATO)

El aparato muscular es el mejor conocido de la óculo-motricidad. También sabemos que el aparato neuromuscular periférico no es más que la fachada de una máquina óculo-motora compleja.

El sustrato morfológico del que dependen los movimientos voluntarios del globo ocular, se encuentra constituido por elementos celulares que se agrupan entre sí para dar origen a los diferentes músculos extraoculares. Dichos elementos celulares (fibras musculares), pertenecientes al grupo de tejido muscular esquelético, van a estar

esencialmente definidos por dos propiedades: la *contracción* y la *conducción*. Es decir, tienen la propiedad de reducir sus dimensiones según un eje determinado por la estructura de las células, con engrosamiento en las direcciones perpendiculares a dicho eje, permaneciendo sensiblemente constante el volumen. Conviene distinguir la *contracción* de la *contractibilidad*. Esta última es diferente, ya que es adireccional, poco potente y lenta, características que la oponen a la anterior, que es direccional, más potente y más rápida.

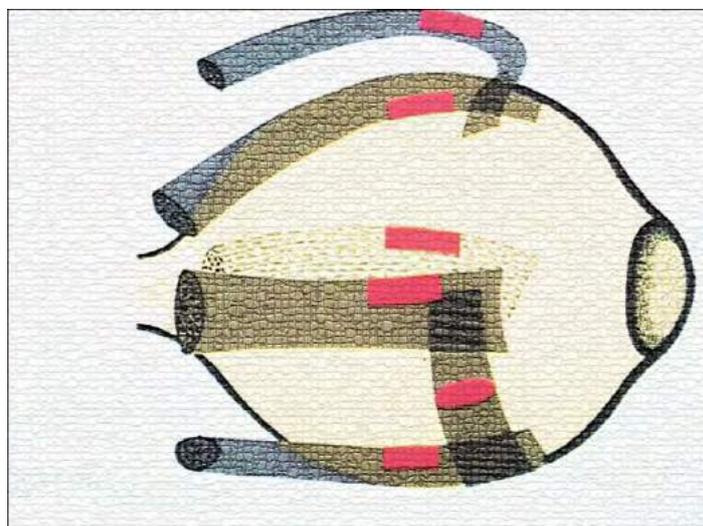


Figura 18. Zonas musculares humanas estudiadas en el presente capítulo.

Una de las propiedades específicas de las células musculares es la *contracción*. Se debe a la presencia de paquetes de miofibrillas estriadas (rbdomiofibrillas), formadas a su vez por miofilamentos o proteínas de naturaleza contráctil, orientadas y dispuestas en orden riguroso dentro de las células o fibra muscular.

La segunda gran propiedad es la *conducción*, que se basa en la capacidad de la superficie celular en alterar sus potenciales de membrana y transmitir a lo largo de la fibra

dichos cambios. Los cambios o inversiones de los potenciales de acción de la membrana no solamente discurren sobre la superficie de las células, ya que merced a los sistemas tubulares T, que posteriormente será analizado, dicho potencial de acción puede alcanzar todos los puntos de la estructura celular. También, en este momento, es necesario recordar que esta onda de despolarización tiene su origen en la placa motora, y provocará un incremento de la permeabilidad de las distintas membranas extra e intracelulares.

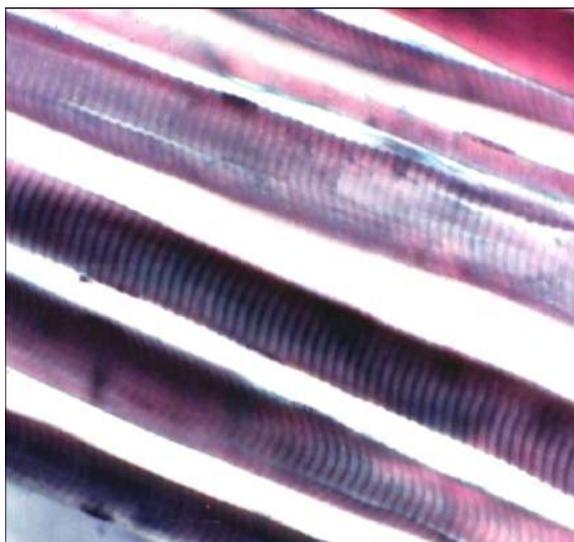


Figura 19. Aspecto estriado de los músculos óculo-motores a bajo aumento.

ESTRUCTURA Y ULTRAESTRUCTURA DE LOS MÚSCULOS EXTRAOCULARES

Cada uno de los músculos extraoculares forma una estructura compleja revestida por una capa de tejido conjuntivo (fascia muscular). Su función esencial es la de contraerse y/o relajarse. El tejido muscular en su conjunto está formado por:

- Fibras musculares estriadas. Tienen la propiedad de acortarse bajo la influencia de estímulos de origen voluntario o reflejo. Las fibras musculares están reunidas en *fascículos*. Un conjunto de *fascículos musculares* constituyen el músculo. El músculo se encuentra rodeado por una capa de tejido conectivo, más o menos entremezclado con la fascia muscular,

que es el *epimisio*. A su vez éste se introduce entre los fascículos musculares rodeándolos formando el *perimisio*, que, por último, introduciéndose entre las fibras musculares contorneándolas forman el *endomisio*.

- Células madre. Son elementos celulares indiferenciados situados junto a las fibras musculares, pero independientes de éstas. Se les concede un gran protagonismo en lo mecanismo de regeneración y reparación del tejido muscular. En los músculos extraoculares, el número de estas células es reducido (Figura 20).
- Tejido conjuntivo. Su misión fundamental consiste en proporcionar el mecanismo trófico a las fibras, así como transmitir los movimientos de contracción. Del mismo modo, el tejido conjuntivo constituirá los tendones. Estos, de color blanco nacarado, son elementos inextensibles y resistentes formados por tejido conjuntivo denso modelado. Unen los extremos del músculo al hueso o al tejido conjuntivo escleral.
- Vasos.
- Formaciones nerviosas. Son las responsables de la inervación motora y sensitiva del tejido muscular.

A continuación analizaremos de forma detallada cada uno de los componentes.

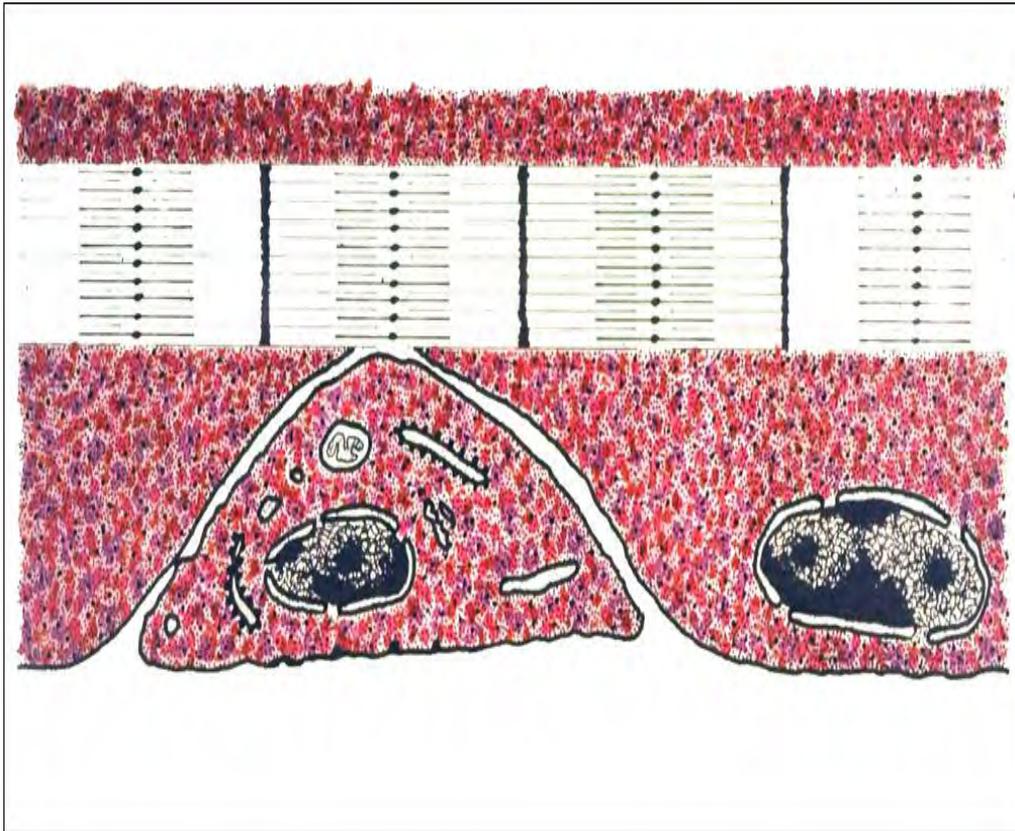


Figura 20. Esquema de las células musculares madre.

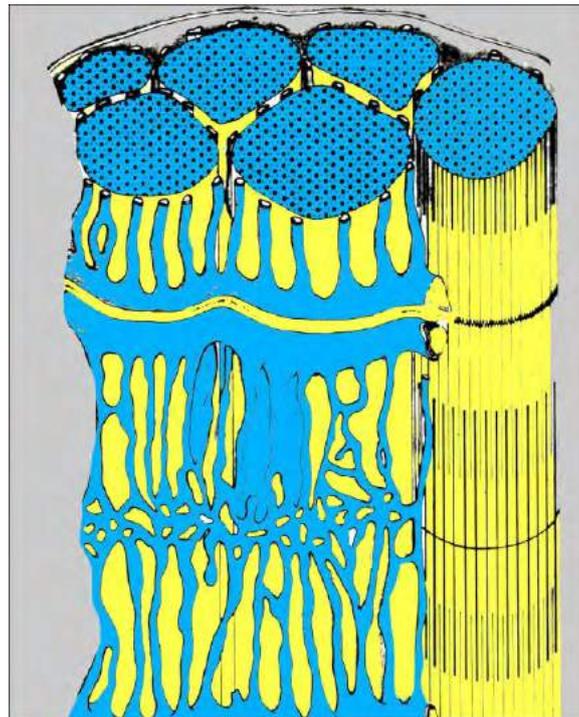


Figura 21. Paquete de miofibrillas ordenadas a lo largo de toda la fibra muscular.

FIBRAS MUSCULARES ESTRIADAS

Es la más pequeña unidad estructural y funcional del músculo. Son células largas, multinucleadas, de morfología cilíndrica, variables en diámetro y longitud, en cuyo interior contienen proteínas filamentosas contráctiles, que se agrupan ordenadamente para constituir paquetes de miofibrillas (Figura 21). La célula o fibra muscular está rodeada por una membrana transparente: el *sarcolema*. Esta superficie celular está formada, en primer lugar, por la membrana plasmática (típica unidad de membrana de Robertson) y, en segundo término, por la

lámina basal, situada por fuera de la membrana, y constituida por glucoproteínas ácidas fundamentalmente. A pesar de su moderada electrodensidad, es permeable a grandes moléculas.

El *sarcolema* delimita una segunda estructura, el *sarcoplasma* o protoplasma de la célula muscular, que ocupa los espacios intermiofibrilares y perinucleares.

Dentro de él, encontramos los *núcleos* distribuidos de modo regular a lo largo de la fibra, situándose inmediatamente debajo de la superficie celular. Son de aspecto ovalado y su longitud oscila entre las 8 y 10 micras (Figura 22).

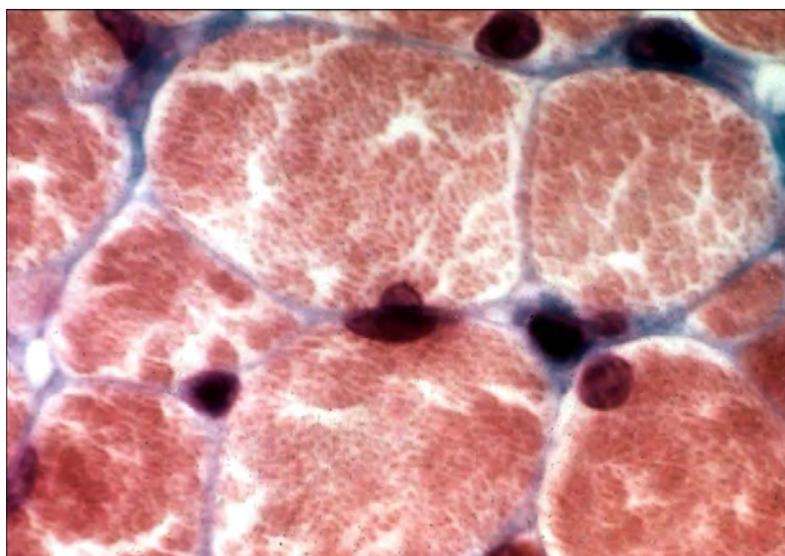


Figura 22. En el corte transversal se aprecia cómo los núcleos se distribuyen de manera regular a lo largo de la fibra, situándose inmediatamente debajo de la superficie celular.

También se objetivan en el sarcoplasma diferenciaciones tubulares, como el retículo sarcoplasmático (R.E.L) y el sistema tubular T, mitocondrias dispuestas entre los paquetes de miofibrillas, aparato de Golgi yuxtannuclear, vacuolas lipídicas, glucógeno y

lipofucsina, así como proteínas de distinta naturaleza disueltas en el hialoplasma, ATP, fosfocreatina, diversos tipos enzimáticos, y mioglobina. Esta última, fija el oxígeno en el interior de la célula para cederlo posteriormente a las mitocondrias (Figura 23).

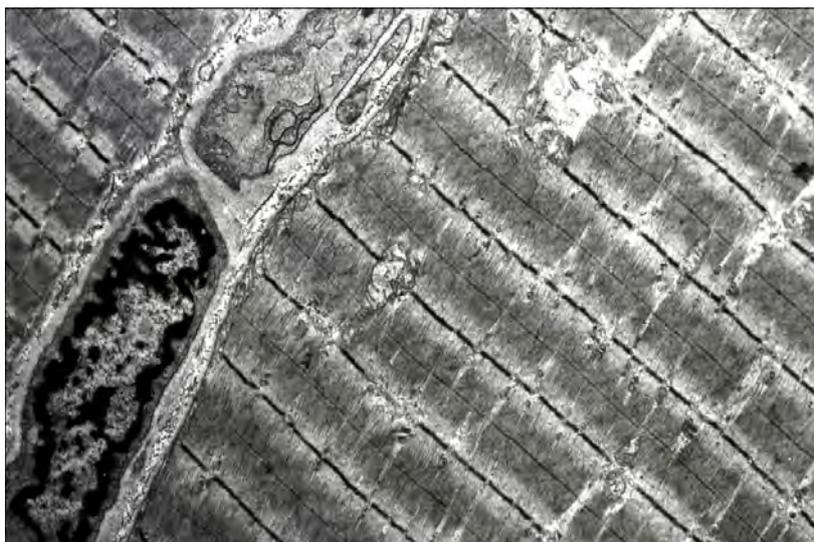


Figura 23. Relación íntima entre mitocondrias y fibrillas intracelularmente.

Las miofibrillas como unidades contráctiles

Las *miofibrillas* son estructuras diferenciadas formadas por la asociación de proteínas filamentosas contráctiles, tipo actina y miosina, capaces de acortarse bajo la acción de un estímulo.

Cada *fibra muscular* contiene numerosos paquetes de *miofibrillas*, de 1-2 micras de decímetro, que la recorren longitudinalmente de un extremo al otro. Se encuentran separadas de sus elementos vecinos por una escasa cantidad de *sarcoplasma*. En los cortes transversales de las células se observa cómo los paquetes de miofibrillas se agrupan entre sí para formar lo que clásicamente se conoce como *campos de Cohnheim*. En los cortes longitudinales aparece su estructura heterogénea, ya que las células están formadas por la alternancia de bandas o discos claros y oscuros. La presencia de estas estriaciones transversales al eje mayor de la célula es el resultado de la diferente refringencia y afinidad tintorial de los paquetes miofibrilares.

Encontramos:

- El disco o banda A, oscuro (anisótropo), de una longitud de 1.5 u. Está dividido en su centro por una zona clara, banda H (de Hell, claro), ocupada esta última, en su centro, por una línea oscura, línea M (Mittelmembrana o disco medio).
- El disco o banda I, claro (isótropo), tiene un ancho de 0,8 u y se encuentra dividido en su porción central por una línea densa, la línea Z (Zuinchenscheibe o disco intermedio). Los elementos, dentro de una *miofibrilla*, comprendidos entre dos líneas Z, constituirán una *sarcómera*. A ésta la podemos definir como la unidad morfológica y funcional de contracción. Una *miofibrilla*, por tanto, está formada por la repetición de *sarcómeras* dispuestas unas a continuación de las otras. Las *sarcómeras* de todas las miofibrillas de una fibra, están situadas al mismo nivel. Esta disposición es la que confiere a la célula muscular su estriación. (Figura 24).



Figura 24. Sarcómera a M.E. Las dos líneas oscuras son las bandas Z y delimitan la estructura.

Las *miofibrillas* son el resultado de la asociación de dos tipos de miofilamentos, que se diferencian por dos parámetros fundamentales: su constitución bioquímica y su diámetro.

Los filamentos gruesos, tipo miosina, fue la primera proteína muscular descubierta en 1859 por W. Kuhne. Estos filamentos tienen un diámetro de 100 Å y una longitud aproximada de 1.5 micras.

Su porción central es más gruesa y electrodensa. Bioquímicamente, la miosina es una molécula asimétrica y larga (1500 Å de longitud y 20 Å de anchura) de 450.000 de peso molecular. La tripsina puede fraccionar esta molécula en dos compuestos, las meromiosinas H y L, de peso molecular y longitud diferentes. Dentro de ésta, es una fracción de la meromiosina H la que muestra una intensa actividad ATPasa.

Los filamentos finos, aislados por primera vez en 1942 por **Straub** y **Szent-Gyorgyi**, muestran un diámetro de 50 a 70 Å y 1 micra de longitud, y se insertan en línea Z. Tres sustancias forman parte de los filamentos finos (tipo actina), la actina F, la tropomiosina y la troponina. La actina F, polímero de la actina G globular, tiene la

propiedad de fijar iones Ca^{++} y tener afinidad por el ATP y ADP. La tropomiosina, de 400 Å de longitud y 20 Å de diámetro, tiene un peso molecular de 130.000, encontrándose constituida por dos cadenas polipeptídicas entrelazadas en hélice. La troponina presenta una gran afinidad por los iones Ca^{++} .

El sentido del enrollamiento de los filamentos finos es contrario de una sarcómera a otra, produciéndose el cambio en la línea Z.

Relación entre los filamentos

Tanto los filamentos finos (tipo actina), como los gruesos (tipo miosina), se disponen longitudinalmente y paralelos entre sí.

Los filamentos de miosina, ocupan la totalidad de la banda A, mientras que los de actina, van desde la línea Z hasta el extremo de la banda H. En la banda A, cada filamento fino aparece rodeado por tres filamentos de miosina. Cada filamento grueso se encuentra en el centro de un hexágono en el que los vértices están formados por filamentos de actina (Figura 25).

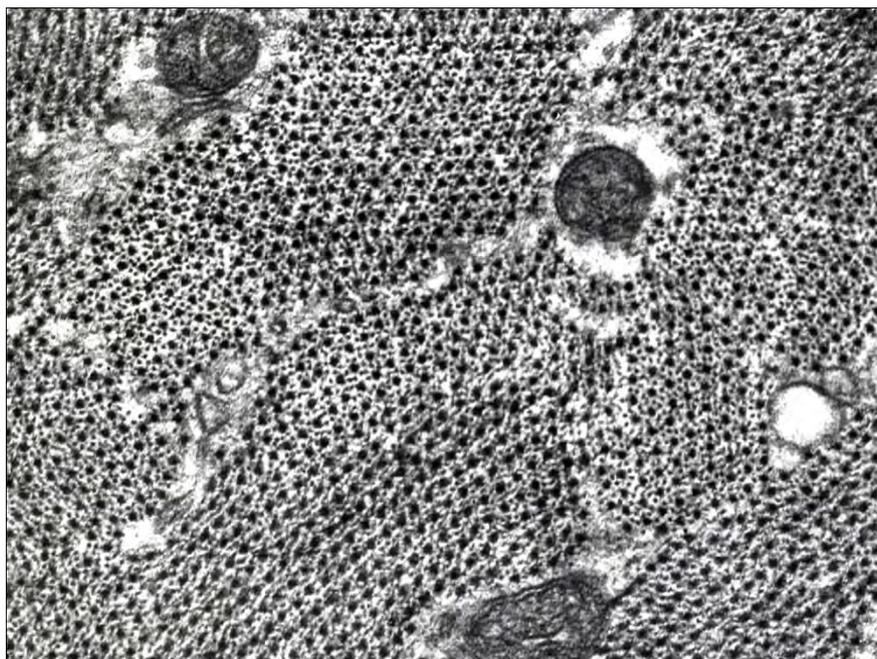


Figura 25. Cada filamento grueso de miosina está rodeado de seis filamentos de actina.

Una distancia de 250 Å separa los ejes de los filamentos finos de los ejes de los filamentos gruesos más próximos.

En el disco I, los filamentos finos conservan su disposición hexagonal, salvo en las proximidades de la línea Z.

Relación de las miofibrillas con los distintos elementos del citoplasma

Las miofibrillas no forman estructuras aisladas dentro de las células musculares, sino que están en íntima relación con las distintas organelas y sistemas tubulares para que el mecanismo de contracción pueda realizarse de modo eficaz. Así, las mitocondrias, muy abundantes y voluminosas, se disponen entre los paquetes de miofibrillas, existiendo dos o más por sarcómera (Figura 20). Estas relaciones morfológicas son esenciales, ya que las mitocondrias son responsables del suministro de energía a las miofibrillas durante la contracción.

La superficie celular presenta numerosos poros, que se continúan con invaginaciones periódicas en forma de dedo de guante hacia el interior de la fibra,

constituyendo los sistemas tubulares T. A través de los mismos, penetrará la onda de despolarización hacia el interior de la célula. Estos sistemas tubulares forman cavidades cilíndricas de diámetro comprendido entre los 500 y 1200 Å, que rodean a cada una de las sarcómeras. Suelen disponerse entre las bandas A e I. En los sistemas tubulares T se puede distinguir un segmento periférico de contorno regular y liso, y otro más profundo de aspecto sinuoso y, en ocasiones, ramificado. Este último se relaciona con las cisternas terminales del REL para constituir las tríadas.

El retículo sarcoplasmático (R.E.L.) adopta una disposición arquitectónica especial, debido a su adaptación. Forma en su conjunto una red de túmulos y cisternas dispuestos paralelos al eje mayor de las miofibrillas, rodeándolas por completo y estableciendo anastomosis transversales. En las regiones próximas al sistema tubular T, el retículo sarcoplasmático se dilata, disponiéndose a uno y otro lado de los túbulos T. La propiedad más importante del retículo sarcoplasmático es la alta capacidad para almacenar calcio en su interior.



Figura 26. Las mitocondrias son muy abundantes para los recursos energéticos necesarios.

Los paquetes de miofibrillas se encuentran también en íntimo contacto con las tríadas. Estas se encuentran formadas por tres sistemas tubulares, uno central, que se corresponde con el sistema tubular T, y dos periféricos constituidos por las cisternas dilatadas del R.E.L. La membrana de cada cisterna terminal, aunque en íntimo contacto, está separada de la del túbulo T por un espacio de 120 a 140 Å. Las tríadas se disponen entre las bandas A e I de modo que existen dos tríadas por sarcómera.

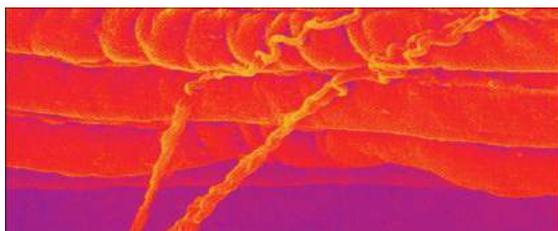


Figura 27. Llegada de una terminación nerviosa a una fibra muscular ocular.

INERVACIÓN DE LAS FIBRAS MUSCULARES

La musculatura extraocular recibe doble inervación. Los paquetes nerviosos penetran, junto con los vasos, por el hilio neurovascular del músculo y los nervios se dividen paulatinamente en ramas más pequeñas que se distribuyen a través de los tabiques conjuntivos (Figura 27).

De las formaciones o fascículos nerviosos, unos son de carácter motor, cuyo destino son las fibras musculares estriadas o fibras extrafusales. Otros son a la vez motores y sensitivos, encontrándose “asignados” a los husos neuromusculares (formaciones complejas, responsables de la sensibilidad del músculo, que contiene fibras musculares especializadas, las fibras intrafusales).

UNIÓN NEUROMUSCULAR

Placa motora

La *placa motora terminal* se puede comparar a una sinapsis de tipo efector, responsable de la llegada y transmisión del impulso nervioso motor a la *fibra muscular*.

Cada célula o *fibra muscular* recibe la inervación motora a través de las ramificaciones de los axones de las motoneuronas, que se abren a modo de dedos de una mano irregular para hacer los contactos con cada fibra.

El terminal nervioso llega a la fibra muscular casi siempre hasta el centro lineal de cada una de ellas.

Hasta la *placa motora* el terminal axónico está revestido por la cubierta mielínica. El conjunto de estos elementos están rodeados por una fina capa de tejido conjuntivo, el endoneuro.

A cierta distancia de la placa motora, la vaina de mielina se interrumpe, de modo que el axón sigue un corto trayecto durante el cual solo está rodeado por cierta cantidad de citoplasma de la célula de Schwann y el endoneuro. Este, en las proximidades de la célula muscular, se continúa de forma imperceptible con el endomisio de la fibra muscular. En las porciones más distales, el axón se ramifica y forma varias dilataciones (teledendronas) terminales, que acaban en las inmediaciones de las fibras musculares (Figura 28).

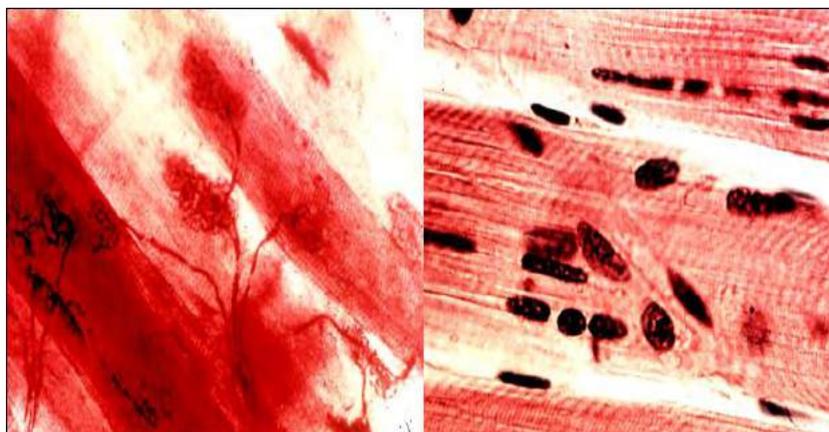


Figura 28. De un mismo axón salen conexiones para varias placas motoras.

La microscopía electrónica demuestra que la placa motora se puede comparar con una sinapsis, ya que posee las mismas características morfológicas de ésta.

- La región presináptica, formada por las porciones finales dilatadas de los axones.

- La hendidura sináptica o espacio comprendido entre la membrana presináptica del axón y el sarcolema (membrana postsináptica), cuyos repliegues forman hendiduras sinápticas primarias y secundarias.

- La región postsináptica, formada por el lecho o escotadura que se forma en el sarcolema. Este forma una serie de repliegues o indagaciones de membrana que tratan de incrementar la superficie de contacto de esta formación celular. La porción presináptica (axónica) se caracteriza por contener neurotúbulos y neurofilamentos junto con mitocondrias. Además se objetivan vesículas sinápticas periféricas redondeadas de diámetro aproximado a los 400 Å; dichas

vesículas, de contenido generalmente electrodenso almacenan los neurotransmisores responsables de la transmisión del estímulo nervioso.

La hendidura sináptica está constituida por múltiples repliegues originados por las expansiones que forman el sarcoplasma. Se pueden distinguir dos tipos de hendiduras: las primarias y secundarias.

La hendidura sináptica primaria separa la terminación nerviosa del fondo del surco sináptico. Su espesor es de 400 Å y está ocupado en su zona central por una lámina basal que prolonga la del sarcolema.

Las hendiduras sinápticas secundarias son perpendiculares a las anteriores a las cuales se abren. Son más estrechas en la región preaxónica (500 a 1500 Å) que en las regiones profundas, donde están ligeramente dilatadas. Su longitud puede alcanzar una micra. Estas hendiduras representan las finas laminillas del aparato subneural.

La región postsináptica está constituida por finas expansiones o columnas sarcoplásmicas entre las hendiduras sinápticas. La membrana plasmática de la parte proximal de los pliegues está engrosada, mientras que en la parte profunda su grosor disminuye y se hace idéntico al de la membrana celular.

La placa motora, como sustrato morfológico, tiene como misión la transmisión del impulso motor que circula por el axón de la motoneurona hasta la fibra muscular.

Es importante conocer el concepto de "unidad motora" para poder explicar determinadas funciones y movimientos de la musculatura extraocular. Dicho concepto se puede definir como el conjunto de fibras musculares estriadas inervadas por una motoneurona común.

Dependiendo de la precisión y finura de los movimientos a realizar, varía el número de fibras musculares por unidad motora. En la musculatura extraocular existen por término medio entre 20 y 25 fibras musculares por unidad motora.

El papel trópico que juegan las motoneuronas sobre las fibras musculares es

de gran trascendencia, ya que una denervación parcial provoca una atrofia difusa, que depende en última instancia de la distribución en el músculo de las fibras musculares de las unidades motoras afectadas. La denervación completa de un músculo induce una atrofia generalizada de éste.

Después de la sección de un axón, el extremo distal de éste puede regenerarse, dando lugar a numerosas colaterales que van a reinervar las fibras musculares. La distribución de las unidades motoras denervadas se ve modificada por la reinervación.

La reinervación colateral por una motoneurona induce en las fibras musculares la aparición de características similares a la de las fibras musculares que son normalmente intervenidas por ella misma. La motoneurona, pues, tiene una acción determinante sobre la diferenciación de la fibra muscular en un tipo determinado. Aún no se conoce de modo preciso el mecanismo íntimo de esa acción trófica, pero se ha propuesto que podría deberse a la acción de la acetilcolina, o bien a sustancias sintetizadas por el soma neuronal y posteriormente conducidas por el axón hacia la fibra muscular.

Botón neuromuscular

Mediante la utilización de técnicas convencionales de microscopía electrónica, se pueden individualizar dos tipos de morfologías en las uniones neuromusculares. Las variaciones morfológicas afectan fundamentalmente a la porción final del axón (teledendrón).

En un primer tipo, denominado clásicamente placa motora, la terminación axónica muestra una morfología plana alargada. En su interior se pueden objetivar gran cantidad de vesículas sinápticas. Las interdigitaciones de membrana o pliegues sinápticos son, en este caso, largos, encontrándose muy próximos entre sí. Los datos fisiológicos indican que este tipo de unión neuromuscular es más frecuente en las

fibras musculares que realizan movimientos rápidos.

Un segundo aspecto morfológico, que puede apreciarse en la relación axón-fibra muscular es el denominado botón neuromuscular. En éste, la porción final de axón adopta un aspecto redondeado en forma de maza o palillo de tambor. Esta porción contiene un menor número de vesículas sinápticas, siendo los pliegues sinápticos escasos y poco profundos.

Este tipo de relación neuromuscular, en términos generales, es frecuente en las fibras que realizan movimientos lentos.

Recientes experiencias, realizando intervenciones cruzadas, han demostrado que la distribución microscópica de los diferentes tipos de fibras propuestas, y sus propiedades fisiológicas y bioquímicas, se alteran de modo significativo cuando la aferencia neuromuscular es intercambiada. También se comprobó que la estimulación de una motoneurona en particular, puede producir alteraciones histoquímicas en un solo tipo de fibra muscular. Por ello, se cree en la actualidad que son dos los factores que influyen en el patrón de distribución de los diferentes tipos de fibras, que en un momento determinado se pueden estudiar en la musculatura extraocular. Por un lado, la influencia del sistema nervioso, y, por otro, la demanda funcional que el músculo presenta, ya que los dos sistemas existen, aunque en distinta proporción, en las fibras de movimientos rápidos y en las de movimientos tónicos.

MECANISMO DE CONTRACCIÓN

La onda o estímulo de contracción llega a través de la placa motora liberándose los mediadores químicos, acetilcolina, al espacio intersináptico. El neurotransmisor produce un incremento selectivo de la permeabilidad a los iones Na^+ y K^+ y Ca^{++} de la membrana postsináptica –sarcolema– que induce un cambio en los potenciales de acción de la misma y, por consiguiente, el desplazamiento del estímulo u onda de despolarización. El estímulo recorre la superficie de la célula muscular y penetra regularmente en el interior de la misma a través de los sistemas tubulares T. Por medio de éstos, la onda de despolarización se pone en contacto con el resto de los componentes de la tríada. Dicha onda de despolarización induce un incremento de la permeabilidad de las membranas, lo que favorece la salida del Ca^{++} de las cisternas del R.E.L.

Cualquiera que sea el estado de la sarcómera (estirada, en reposo, o en fase de contracción), la longitud de los filamentos de actina y miosina no varía. Se encuentre ésta estirada o contraída, la longitud de la banda A permanece constante. En el caso de un acortamiento máximo, la banda I desaparece, siendo la longitud de la banda A igual a la sarcómera.

Cuando la fibra se estira de forma pasiva, la longitud de la banda I se incrementa de forma paralela a la de la banda H.

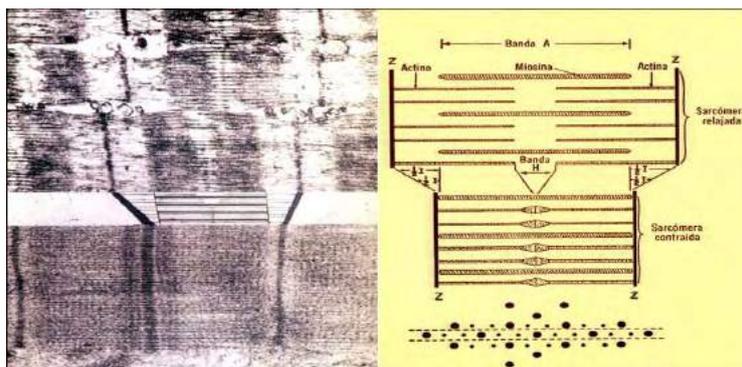


Figura 29. La contracción muscular se produce al desplazarse los filamentos de actina hacia el centro de la sarcómera.

TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES

Dependiendo de la proporción existente entre el sarcoplasma y el material contráctil, se han señalado tres tipos de fibras musculares:

Tipo I. Fibras rojas. De contracción relativamente rápida, tienen una actividad sostenida con poca actividad ATPasa. Se caracterizan por tener gran riqueza de sarcoplasma que forma amplias bandas entre el material fibrilar contráctil.

Tipo II. Fibras blancas. De contracción muy rápida pero poco sostenida, presentan atendiendo a las distintas actividades enzimáticas predominantes en ellas. En la actualidad se pueden detectar alrededor de 50 enzimas en la fibra muscular, lo que podría crear cincuenta clasificaciones diferentes de estos elementos.

Ahora bien, los enzimas presentes en cada una de las células, representan, y así hay que interpretarlos, una vía metabólica de suministros energéticos, y ésta puede variar dependiendo también de múltiples factores, entre los que destacaremos la demanda funcional de la totalidad de la masa muscular.

De las múltiples clasificaciones basadas en estos métodos, no mencionaremos aquí ninguna de ellas, ya que sería, en último caso, parcial. Sí señalaremos las vías o actividades enzimáticas más importantes que se desarrollan en la célula muscular. Estas se pueden clasificar en cinco grupos importantes:

- Fosfatasa. Fundamentalmente dentro de este grupo destaca la actividad adenosintrifosfatasa (ATPasa).
- Deshidrogenasas y las diaforasas. Como ejemplo destacan la nicotinamida adenina dinucleótido reductasa (NAD o DHPH exodorreductasa), responsable de la oxidorreducción del NAD y la succinodeshidrogenasa.

menor cantidad de enzimas oxidativas y gran cantidad de enzimas oxidativas y gran actividad ATPasa. El sarcoplasma en estos elementos celulares es escaso.

Tipo III. Presentarían características intermedias entre los dos tipos anteriores.

Respecto a esta clasificación, señalaremos que la disposición y proporción de componentes va a depender en gran cantidad de factores, muchos de ellos aleatorios, como actividad funcional, edad, fijador utilizado, pH del mismo, etc.

- Así también, las células o fibras musculares se pueden estudiar y clasificar
- Oxidasas (citocromooxidasa).
 - Enzimas de control de la síntesis y degradación del glucógeno (aldolasa y fosforilasa).
 - Esterasas.

Estos cinco grupos importantes de enzimas permiten conocer la heterogeneidad de la población celular del músculo.

No sólo es posible realizar un sinnúmero de clasificaciones basándose en estudios histoenzimológicos, también la ultraestructura posibilita la realización de múltiples clasificaciones, que no conducen más que a incrementar el confusiónismo ya existente en este campo.

En términos muy generales, se puede decir que las múltiples clasificaciones reflejan el estado de una misma célula en diferentes periodos o momentos de vida.

A modo de apéndice podemos señalar las múltiples clasificaciones propuestas en los últimos años, basadas exclusivamente en datos bioquímicos.

Los tipos de fibras 1 y 2 de **Dubowitz y Pearse (1960)** (Figura 30). Las células A, B y C, de **Padykula (1962)**, o las ocho variantes propuestas por **Romanul (1964)**.

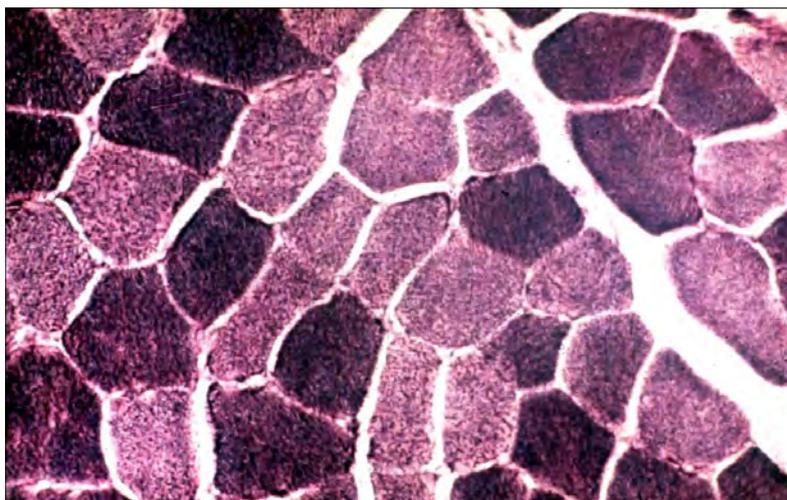


Figura 30. Células claras y oscuras en un corte transversal de la musculatura ocular extrínseca.

Relacionando parámetros ultraestructurales e histoquímicas se realizan clasificaciones eclécticas como la de **Gauthier (1966)**.

No podrían faltar las clasificaciones basadas únicamente en datos fisiológicos, como velocidad de contracción, resistencia a la fatiga, etc. (**Barnard, Furukawa, Meter, 1971**). (Figura 31).

Este intento de tipificar las fibras motoras en 2, 3, 4, 5 ó 7 grupos distintos según el autor que revisemos, hace que

realmente se hayan intentado explicar parte de las alteraciones óculo-motoras por la alteración de un tipo de fibras o sistema de contracción. Sin embargo, no hemos encontrado una perfecta diferenciación entre un sistema u otro. Una fibra en unos periodos puede ser tónica y en otros puede ser fásica, y además las terminaciones nerviosas sobre una misma fibra muscular pueden ser de los dos tipos, es decir placa motora o botón neuromuscular.

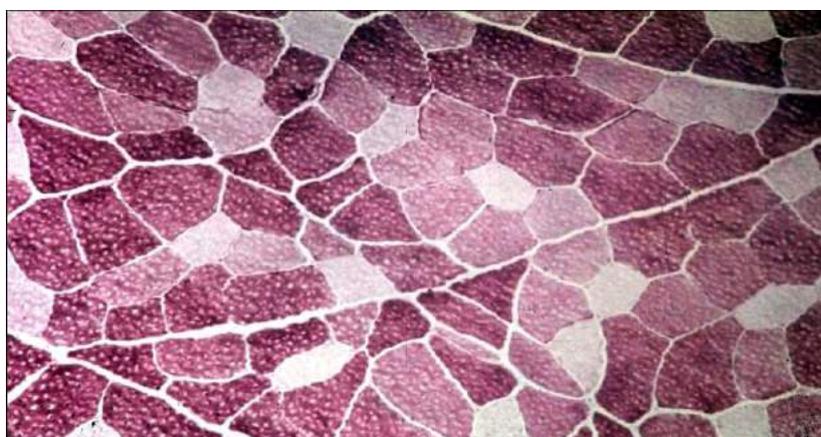


Figura 31. Distintas tinciones según técnicas empleadas.

Las investigaciones sobre la fisiología de los núcleos óculo-motores nos demuestran que la vía óculo-motora de núcleos a periferia

es única y en ocasiones puede funcionar como fásica y en otras como tónica, dependiendo de múltiples factores.

INERVACIÓN SENSITIVA DE LAS FIBRAS MUSCULARES

Los diferentes músculos extraoculares, además de las aferencias motoras, reciben una inervación sensitiva complementaria que informa a los centros reguladores del estado de contracción del músculo. Este tipo de recepción se lleva a cabo mediante formaciones encapsuladas denominadas husos neuromusculares.

Los husos se comportan como mecanorreceptores que responden a las variaciones, de tipo activo o pasivo, de la longitud y estado de contracción del músculo. Este huso neuromuscular presenta una morfología alargada y dilatada en su porción media. Los extremos más finos reciben el nombre de polos. En su conjunto, el huso se encuentra constituido por:

- Fibras musculares estriadas o fibras musculares intrafusales, de característica propia.
- Fibras nerviosas aferentes de carácter sensorial.
- Fibras nerviosas aferentes de carácter motor.

En su tercio medio, el huso se encuentra rodeado por una cápsula de tejido conjuntivo que delimita un espacio lleno de líquido denominado *espacio periaxial*. Este, en su parte central, se encuentra atravesado por un conjunto de fibras intrafusales, cuyo número oscila entre 4 y 12 rodeadas a su vez por la cápsula externa por un conjunto de finos tabiques conjuntivos.

Dentro de las fibras intrafusales se distinguen dos grupos importantes, las denominadas "con saco nuclear" y las fibras de núcleos "en cadena". Las primeras, fibras con saco nuclear, son largas y gruesas. En su porción central, muestran una dilatación que

contiene numerosos núcleos dispuestos de modo central periférico.

Este tipo de fibras entran en relación unas con otras mediante uniones estrechas.

Las fibras con núcleos en cadena, más finas y cortas que las anteriores, se encuentran en número más reducido. Sus núcleos, dispuestos en una sola fila, ocupan el centro de las fibras, mientras que los paquetes de miofibrillas se agrupan en la periferia.

También aparecen en íntima relación con sus elementos vecinos.

Las fibras intrafusales se encuentran directamente relacionadas con dos tipos de terminaciones sensitivas: las primarias y secundarias.

Las primarias dependen de fibras nerviosas de diámetro ancho, siendo su velocidad de conducción rápida. Penetran en la región ecuatorial de huso y se disponen de forma espiroidea alrededor de los dos tipos de fibras intrafusales.

Las secundarias, en número y no siempre constante, entran en contacto fundamentalmente con las fibras de núcleos de cadena.

Respecto a las terminaciones motoras, existen tres tipos disponiéndose en la porción encapsulada de las fibras intrafusales. Se pueden enumerar el modo siguiente: (Figura 32).

- Terminaciones difusas o multiterminales. Están dispuestas sobre los dos tipos de fibras intrafusales y ocupan una gran superficie.
- Terminaciones tipo I. Se distribuyen sobre las fibras intra y extrafusales.
- Terminaciones tipo II. Entran en contacto únicamente con fibras intrafusales.

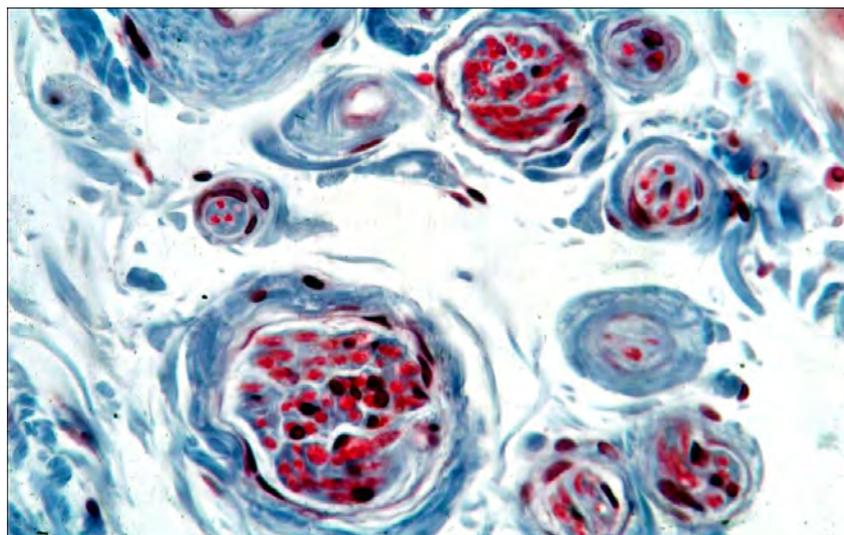


Figura 32. Husos neuromusculares cortados transversalmente.

TEJIDO CONJUNTIVO Y TENDONES

El tejido conjuntivo desempeña una triple función:

En primer lugar, divide a los diferentes músculos en unidades funcionales supracelulares (fascículos musculares), al igual que facilita el deslizamiento de unos elementos sobre otros.

En segundo término, constituye el soporte de las formaciones vasculares y nerviosas que este tejido necesita para su trofismo.

Por último, establece las uniones necesarias entre los tejidos contráctiles y las superficies de apoyo de los mismos.

El tejido conjuntivo, presente en la musculatura extraocular, se encuentra formado por fibras de colágeno y de reticulina, sustancia fundamental amorfa poco abundante, fibroblastos y algunas células adiposas.

Este tejido conjuntivo se dispone en el músculo del modo siguiente. Existe una capa gruesa periférica que rodea a la totalidad de la masa muscular. Se denomina epimisio y aparece constituido por fibras de colágeno

dispuestas en planos superpuestos. En cada plano, la dirección de las fibras, está determinada por las líneas de fuerza que se ejercen durante los movimientos de contracción y relajación.

Del epimisio surgen tabiques conjuntivos hacia el interior del músculo y dividen a este en fascículos o compartimentos de morfología poligonal. Estos tabiques más finos, reciben el nombre de perimisio.

Por fin, del perimisio emergen pequeños tractos de fibras de reticulina que rodean a todas y cada una de las fibras musculares. Estos se denominan endomisio. Las fibras de reticulina que forman el endomisio, se "entierran" en la lámina basal de la célula.

El tejido conjuntivo muscular se continúa con el tejido conjuntivo del punto de inserción. Esta zona de unión se denomina región músculo-tendidosa. A pesar de las variaciones anatómicas existentes entre los distintos músculos extraoculares y las descripciones pormenorizadas en cuanto a las longitudes de los tendones del globo ocular que aparecen en los textos clásicos, hay que tener cierta cautela a la hora del estudio de la estructura del tendón (Figura 33 y 34).

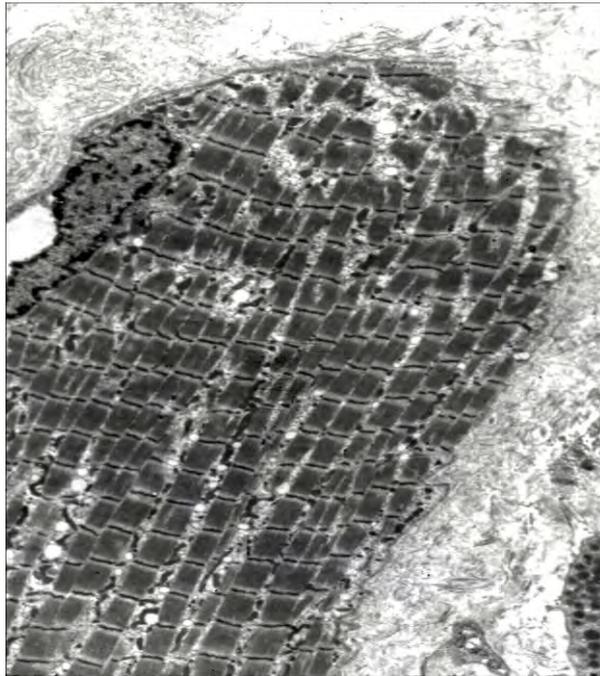


Figura 33. Terminación de una fibra muscular a nivel escleral directamente.

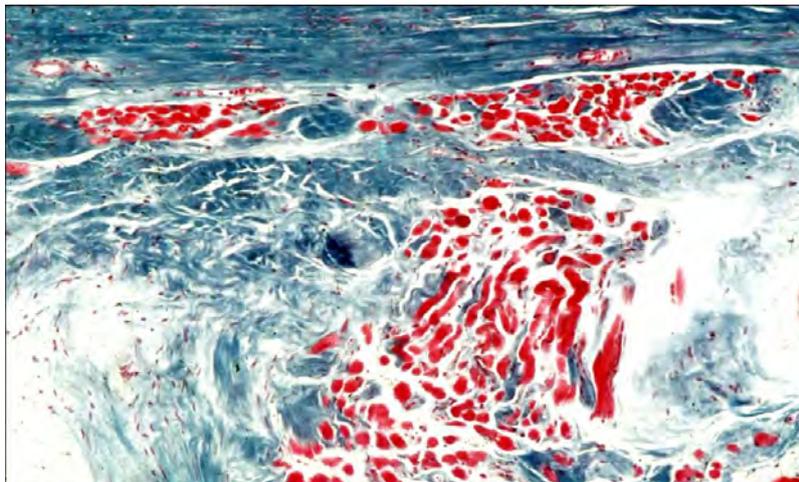


Figura 34. Las fibras musculares se ponen en contacto directamente con la esclera.

Dos hechos tendremos presentes en todo momento. En primer lugar, la esclera, que al ser tejido conjuntivo denso modelado, se comporta como un verdadero tendón fijando la fibra muscular a su estructura. La superficie celular del extremo de inserción, muestra numerosas indagaciones, en las que se introducen haces de fibras de colágeno escleral de diferente grosor. Estas penetran

en las indagaciones y se adhieren fuertemente a la lámina basal, sin establecer nunca relaciones directas con la membrana plasmática. Es importante destacar que las uniones entre las células musculares y las fibras de colágeno se realizan de modo oblicuo y escalonado, formando un ángulo entre sí que se abre durante la contracción (Figura 35).

Otro hecho importante lo constituye el aspecto macroscópico que adopta la porción proximal del músculo en la zona de inserción escleral. Esa coloración blanco-nacarada <<típica del tendón>> se debe al engrosamiento de las vainas conjuntivas que envuelven al músculo, ya que en las regiones proximales y distales, el perimysio, se refuerza para poder transmitir mejor las líneas de

fuerza que se originan en los procesos de contracción.

Salvando las distintas variaciones regionales, nuestra experiencia nos indica que hay que sopesar y revisar de forma pormenorizada los conocimientos y medidas que aparecen en la literatura clínica en relación a las inserciones esclerales.

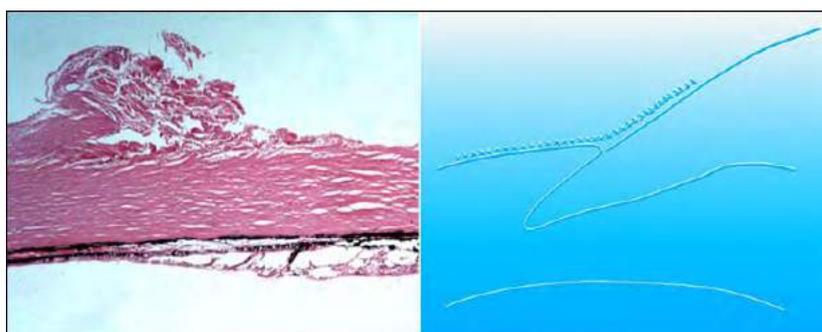


Figura 35. Esquema de la terminación del músculo en la esclera, la parte que clínicamente llamamos tendón.

VASCULARIZACIÓN

La vascularización sanguínea se encuentra representada por una red de capilares de endotelio continuo muy densa, dispuesta de forma paralela a las fibras musculares.

Esta red tiene su origen en las arterias que se ramifican a nivel del perimysio, y a partir de aquí, los capilares penetran entre las fibras musculares discurriendo por el endomysio. La red capilar desemboca en las vénulas y venas del perimysio que llevarán trayecto paralelo en inverso al de las arterias.

La vascularización linfática poco abundante, corre a cargo de capilares situados únicamente en el perimysio. También se anastomosan formando mallas anchas.

ELECTROMIOGRAFÍA

El registro electromiográfico nos muestra, en principio, ligeras diferencias con el resto de los músculos esqueléticos. La

unidad motora ocular provoca una descarga de amplitud más baja, de duración más corta y con una velocidad más elevada, pero, además, mantiene fisiológicamente un tono constante de contracción, no existiendo, excepto en las posiciones extremas de la mirada, la posición de reposo o de inhibición.

Las electromiografías nos permiten, también, demostrar dos tipos de movimientos musculares: uno rápido denominado sacádico y otro tónico o lento. Así mismo, nos permite ver cómo existe una perfecta comprobación de la **ley de Hering y Sherrington**.

En los estrabismos funcionales y en algunos patéticos, no se encuentran afectaciones electromiográficas de ningún tipo, ya que un músculo puede tener parte de sus fibras inactivas y, desde el punto de vista electromiográfico, ser el registro totalmente normal. En principio, excepto en la patología primaria muscular o en algunas parálisis, la electromiografía no indica distinta actividad muscular en los estrabismos denominados funcionales o idiopáticos y en los sujetos normales.

1.4.

VÍAS DEL APARATO VISUAL

El aparato visual, de increíble complejidad, tiene como misión fundamental la recepción de sensaciones procedentes del espacio, su análisis, interpretación, memorización y respuesta, mediante un conjunto de sistemas constituidos por un cúmulo ingente de células y fibras nerviosas. Para ello, necesita de un *sistema sensorial* con la colaboración y ayuda de otro ejecutor motriz (*sistema motor*), constituido por la musculatura extrínseca y la vía óculo-motora, que permita orientar los ojos hacia el objeto en perfecto estado de equilibrio, independientemente de la distancia a que se encuentre (*sistema autónomo*) e, incluso, en cualquier situación que esté el cuerpo, la cabeza y los globos oculares (*sistema sensitivo*).

Estudiem los sistemas visuales:

- * *Sensorial*
- * *Motor*
- * *Sensitivo*
- * *Autónomo*

Todos ellos en íntima relación y autodependencia para conseguir su objetivo. Permítanme licencia de estudio por separado con fin didáctico.

SISTEMA SENSORIAL VISUAL

Constituido por grupos celulares nerviosos unidos por la vía óptica. Se extienden desde la retina, receptor visual periférico, hasta la corteza calcarina. Su finalidad es aportar a los centros principales información visual.

Este *sistema sensorial*, al igual que los otros tres, llevado a su máxima simplicidad, se encuentra constituido por tres grupos

neuronales. Constituyen los tres pisos o niveles de **John Hughlings Jackson (1835-1911)**, que desde la periferia hasta la corteza cerebral son: las células ganglionares de la retina (periférico), el centro nervioso del cuerpo geniculado externo (subcortical), y la corteza cerebral (cortical) relacionada con la visión.

Veamos, el receptor visual y las vías ópticas:

Receptor visual

El acto visual presupone existencia de: **a)** *estímulo luminoso visible* (400-750 nanómetros) soportando información y condicionado a las leyes físicas, **b)** estructura orgánica dotada de un *sistema óptico* transmisor, y **c)** *receptor visual* en el que se dan una serie de procesos eléctricos y bioquímicos.

El *sistema óptico* está compuesto por cuatro estadios transparentes: dos lentes (córnea y cristalino) y dos medios (humor acuoso y cuerpo vítreo). Forma un sistema prácticamente centrado, con poder dióptrico aproximado de 58,6 D (**Gullstrand**). Ayudado del sistema autónomo (acomodación), va a permitir que el estímulo luminoso exterior (fotones) llegue enfocado a la retina.

El *receptor visual* se encuentra en la membrana nerviosa (retina), que comienza a formarse en la tercera semana de desarrollo embrionario, mediante la evaginación del prosencéfalo, a partir de un neuroepitelio primitivo pseudoestratificado.

El filósofo y médico cordobés **Averroes (1126-1198)** fue el primer autor que sospechó que la retina era el órgano que captaba la luz. No obstante, hay que llegar al

teólogo, astrónomo, matemático y físico alemán **Johannes Kepler (1571-1630)** quien de forma razonada expuso el papel receptivo de esta membrana: *"... la retina contiene una sustancia fina (spiritus visivus), que se descompone cuando la luz, por intermedio del cristalino, la ilumina; de la misma manera como un combustible sufre una transformación química cuando la luz solar, concentrada por medio de una lupa, lo alcanza"*.

La retina, con más de cien millones de fotorreceptores (conos y bastones), capta por encima de las tres cuartas partes de los estímulos sensoriales que llegan al individuo. Recibe las sensaciones lumínicas externas (fotones según la teoría corpuscular u onda de longitud variable según la teoría ondulatoria), con radiación comprendida entre 400 y 800 nm, transformando su contenido energético en señales eléctricas tras modificar la estructura del pigmento visual (primera etapa de la percepción visual). Es decir, lo que ocurre es la transformación de una forma de energía en otra a través del proceso que se conoce como *"fototransducción"*, llevado a cabo mediante determinadas moléculas fotopigmentadas sensibles a la luz: rodopsina en los bastones, y otras opsinas diferentes en los conos. El resto estructural retiniano le va dando auténtico sentido, extrayendo y transportando la información visual a través de las células bipolar y ganglionar hasta el encéfalo, con estación intermedia en el cuerpo geniculado externo. A partir de aquí, y a través de las radiaciones ópticas de Gratiolet, alcanzarán los centros óptico-corticales situados en la cisura calcarina. Todo esto para conseguir ese milagro de extrema complejidad que es la *"visión"*, a través de la cual se nos permite, en cada instante, a través de elaborados mecanismos psico-fisiológicos, ser espectadores excepcionales en el mundo animal, percibiendo escenas visuales con forma, textura, color, relieve, movimiento, y con personal y subjetivo significado.

Sin pretender considerar el lugar y el momento preciso en el que se llega a la *"percepción visual"* y sin querer localizar en el

cerebro el *"último momento visual"* a través de la *"célula pontifical"* que describiera **Sir Charles Scott Sherrington (1946)** en su libro *"Man and his nature"*, decimos que la retina no es simple órgano receptor fotosensible, sino elemento integrador donde se empiezan a procesar e interpretar los diversos estímulos e informaciones recibidas, modificando cada señal captada en cada estación sináptica. La complejidad es grande, pues este paso, simplificado, directo del estímulo de la célula bipolar a la ganglionar, típico tránsito fotópico (*camino de los conos*), en visión escotópica (*camino de los bastones*), es efectivo a través de una célula neuronal intermedia, la amacrina de Cajal.

Así pues: *"la retina no es mero receptor y transmisor de estímulos luminosos. Es un verdadero centro neuronal que, a pesar de estar situado en la periferia, ya comienza a discriminar y a saber lo que interesa y es útil al individuo, interpretando las diferentes formas de señales recibidas y codificando determinados aspectos de la información como: agudeza, contraste, cromatismo, movimiento etc, para hacer, de modo selectivo, la transmisión al cerebro de toda información recibida"*.

En el conjunto foto-receptor, los bastones (en número de cien millones) aportan visión nocturna (escotópica), en condición de iluminación tenue, momento en que los conos no responden, tributando débil agudeza visual acromática. Los bastones no existen en el área foveal. Su máxima densidad está alrededor de la excentricidad foveal de 20°.

Los conos (en cantidad de siete millones), de los que 4'5 millones se concentran en los 10° centrales, trabajan con niveles elevados de iluminación, presidiendo la visión diurna (fotópica) y cromática. Se encargan de la percepción del detalle. Existen tres tipos de conos: el *"tipo L"* o *"cono rojo"* (con sensibilidad a las longitudes de onda larga), el *"tipo M"* o *"cono verde"* (con sensibilidad a las longitudes de onda media), y el *"cono S"* o *"cono azul"* (con sensibilidad a las longitudes de onda corta).

La transmisión del mensaje visual sigue en la retina trayecto vertical. Determinado grupo de células sensoriales retinianas (fotorreceptores) se comunican con una célula ganglionar. A este conjunto conexas **Santiago Ramón y Cajal** lo denominó “*unidad fotosensible*” o “*unidad isoestésica*”. También fueron llamados “*territorios independientes*” (**Carpentier**), y “*círculos de Panum*”. En fisiología, el área retiniana que se corresponde con una célula ganglionar, en la que convergen en número determinado células sensoriales (una o varias), se conoce, en el momento actual, con el nombre de *campo receptor retiniano* (**Hartline, 1938**). Cada célula ganglionar retiniana tiene su particular campo receptivo, existiendo, pues, tantos *campos receptivos* como células ganglionares hay en la membrana retiniana. Al irse acercando a la retina central, su extensión se hace más pequeña al disminuir el número de células sensoriales que se unen a una célula ganglionar, de modo que en la foveola, donde es mayor el poder discriminativo, un solo cono se vincula a una única célula bipolar y ésta a una única célula ganglionar y a un axón de la misma.

El *campo receptor retiniano* es extenso en la periferia, porque a este nivel la célula ganglionar conecta con un grupo importante de conos y bastones, que puede llegar a 3°. En el área central está mucho más reducido, debido al menor número de células sensoriales que se unen a una célula ganglionar. A nivel de la foveola es tan pequeño como el tamaño de un cono. Es, como diría **Stephen Poliak**, “*el puro sistema de un cono*”. A este nivel un solo cono se articula con una célula ganglionar. Es decir, abarca la superficie de *campo receptor retiniano* de 30 segundos de arco. Si nos separamos solo 2° de la fovea la agudeza visual baja a 0,6, y si nos distanciamos 4° la agudeza es de 0,4 (**Wertheim, 1894**) (Figura 36). Es decir, cuanto más pequeño es el campo receptor retiniano mayor es la agudeza visual.

El área de los 2° centrales es de suma importancia estratégica. Como después veremos, la decusación que sufren las fibras procedentes de la estrecha banda vertical mediana de esta amplitud a través del cuerpo caloso permite que ambos hemisferios cerebrales tengan información de las sensaciones llegadas a ella.

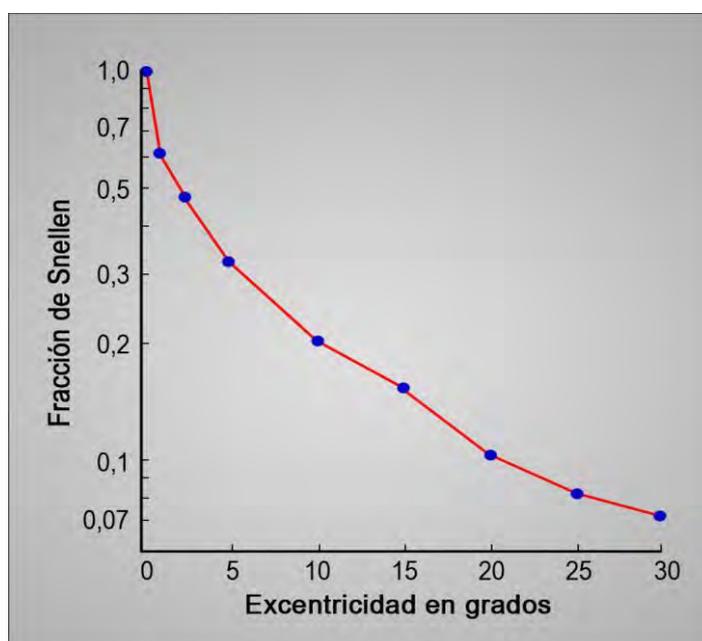


Figura 36. Curva de Wertheim.

La conclusión en torno al *campo receptor*, es que el conjunto fotosensible retiniano no es mera placa de sensibilidad homogénea, sino que en ella hay que distinguir el área de alta definición representada por la fovea, y otra, periférica a ésta, cuya sensibilidad disminuye conforme se va alejando.

En la fovea, con su importante densidad de conos, la carencia de vasos y la presencia casi exclusiva de segmentos internos y externos de los fotorreceptores, que da lugar a que la señal sensorial no sea parasitada, se concentra el más alto poder de resolución, y es la matriz que engendra la convergencia, la acomodación, el sentimiento de distancia y la estereopsis. Es decir, la nota singular distintiva de esta pequeñísima porción de tejido central retiniano es la base sobre la que se asienta su predominio funcional sensorial y motor. En la periferia, con capacidad resolutoria baja, se instala, sin embargo, el mayor poder optomotor. La gran extensión del campo receptor en la periferia no hay que considerarlo como algo deficiente o defectuoso, sino como extraordinaria disposición habida en la retina para mantener la haplopía (visión única). Esta organización retiniana de campos receptores muy reducidos en el área central, y extensos en la periferia, explica la enorme diferencia en cuanto al número de células habidas entre fotorreceptores (cien millones) y células ganglionares (un millón).

Las células ganglionares tienen capacidad para, de modo selectivo, codificar el mensaje recibido y transmitirlo a través de la vía óptica, de forma separada. Todo ello gracias a la existencia de tres tipos de células ganglionares: las *células X*, *Y* y *W* (Enroth, 1966). La mayor parte de estas células ganglionares especializadas, transmiten las impresiones recibidas al cuerpo geniculado, donde también tienen sus campos receptores similares a los retinianos y, finalmente, a la corteza cerebral (capa IV del área 17 de Brodmann) para su procesamiento en ambas estructuras.

Las *células X* interpretan la discriminación espacial, con toda responsabilidad en matización de detalles, contrastes, agudeza visual, y cromatismo. Se encuentran en el área central, con mayor densidad en la fovea. Sus campos receptivos son muy pequeños, uniéndose directamente cada célula a otra célula bipolar. Desde la retina central, a través de la *vía parvocelular*, por medio de "conducción lenta", llegan al cuerpo geniculado, donde conectan con las células parvocelulares del CGL y, tras esta estación, van a la corteza visual (capa IV de V1). Por la vía parvocelular se transmite la información referente a discriminación de agudeza, forma, tamaño, color, fusión central y estereopsis. Del orden del 80% de los impulsos retinianos son procedentes de estas células ganglionares.

Las *células Y* (*células ganglionares parasol*), con resolución espacial débil, se encargan de aportar campo visual, detectar e interpretar el movimiento y situarnos, mediante orientación grosera, en el espacio que nos rodea. Cuando caminamos, las fotorrecciones periféricas que recibimos constantemente nos sirven para deambular sin necesidad de utilizar las fotorrecciones foveales finas. Estas células, rara su presencia en la zona foveal, se encuentran en la periferia retiniana. Sus campos receptivos son grandes. Mediante "conducción rápida", desde la retina periférica, y a través de la *vía magnocelular*, llegan por la vía óptica principal al cuerpo geniculado, donde hacen sinapsis con las células magnocelulares de CGL, cuyos axones llegan, finalmente, a la corteza cerebral (capa IV). Parte de las fibras, a través de la vía óptica secundaria, terminan en el colículo superior. Por la *vía magnocelular* se transmite el movimiento, el reflejo de fusión motora, el seguimiento, la localización espacial, y las vergencias.

Las *células W* están especializadas en el mantenimiento de la fijación y el movimiento de seguimiento lento. Sus campos receptivos son pequeños. A través de

“conducción lenta”, su proyección superior se realiza sobre el colículo superior (tubérculo cuadrigémino anterior) situado en el techo del encéfalo.

El **Sistema Sensorial Visual** presenta, pues, dualidad funcional en el acto visual, con dos subsistemas neurales trabajando al mismo tiempo: *Parvocelular* y *Magnocelular*.

AREA CENTRAL (Células X)	----- Vía parvocelular (Vía-P)	Agudeza visual Forma Tamaño Color Contraste Fusión central Estereopsis
AREA PERIFÉRICA (Células Y)	----- Vía magnocelular (Vía-M)	Localización espacial Fusión motora Movimientos de seguimiento Movimientos disyuntivos

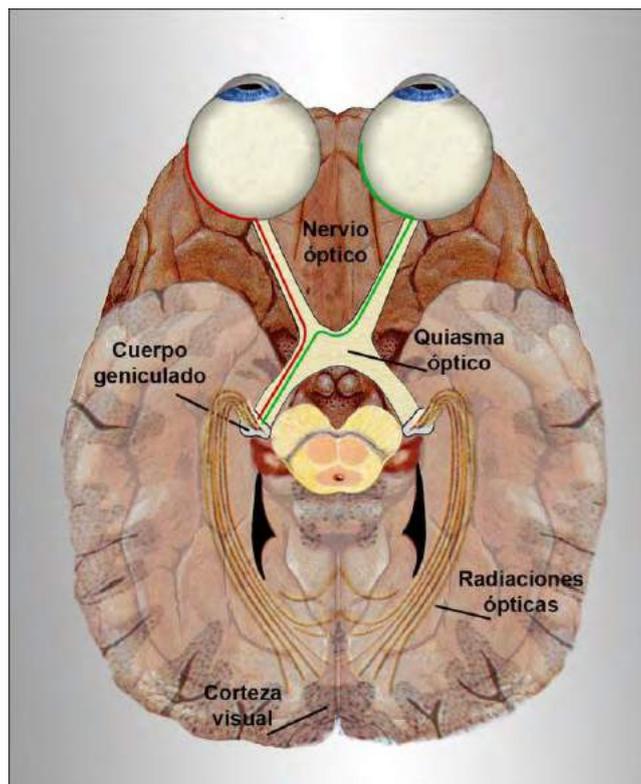


Figura 37. Vías ópticas.

Vía óptica principal

La vía visual principal es la retino-genículo-estriada (Figura 37). Por ella discurren el 90% de las fibras ópticas, con destino a la *corteza visual*. El 10% restante lo hacen por la vía óptica secundaria en su caminar hacia el *tectum* (vía retino-tectal).

Los axones de las células ganglionares salen de la retina por la papila, y a través del nervio óptico, quiasma y cintillas ópticas, llegan a los cuerpos geniculados externos o laterales. A partir de aquí, los axones de estas células caminan formando las radiaciones ópticas de Gratiolet para articularse con neuronas de la corteza occipital, a las que transmitirá el influjo nervioso. Todo este recorrido de la vía visual se hace de acuerdo a estricta organización retinotópica, que se mantiene a nivel de los cuerpos geniculados, radiaciones ópticas de Gratiolet y córtex visual.

Hasta aquí, todo es bastante comprensible. El problema es explicar el proceso fisiológico de "imaginación del objeto exterior", o "dar sentido mental a la secuencia percibida". Como dice **Emilio Díaz Caneja (1949)**: "*Aunque nos cause desilusión, es preciso abandonar la sugestiva hipótesis de que sea en la corteza calcarina donde la imagen recibe su último "vernissage", para quedar después colgada en la exposición de la conciencia*".

En el estudio de la vía óptica principal tenemos formaciones y conformaciones anatómicas singulares, que aun faltando explicaciones científicas convincentes para ser entendidas de modo completo, no cabe duda que por aspecto o situación deben tener transcendental importancia:

a) En primer lugar, la retina y el nervio óptico están demediados en dos porciones perfectamente definidas, delimitadas por la fovea: temporal y nasal. Las dos mitades retinianas no están separadas de modo *intrincado* y *duro* por la vertical foveal, sino que a este nivel cabalgan y se solapan entre sí en una zona de 2º de anchura. Veremos más

adelante (en este capítulo) la importancia de esta estrecha banda vertical de 2º pasando por la fovea, con capacidad para informar a los dos hemisferios en virtud de su decusación a nivel del cuerpo calloso (**David Whitteridge, 1961**). Y también podremos comprobar, en el *Capítulo 3 (Fisiología sensorial)* la importancia de esta zona en el sentimiento de profundidad, a raíz de las investigaciones neurofisiológicas de **Yves Trotter (1993)**, y de las nuestras en clínica.

b) En segundo lugar, la existencia de esa pequeña y delicada placa de sustancia blanca, donde abocan los dos nervios ópticos, entrecruzándose a su nivel las fibras procedentes de las retinas nasales, y que se conoce con el nombre de quiasma óptico.

c) En tercer lugar, el caminar a partir de aquí, en comunión a lo largo de la cintilla óptica, estación geniculada, y radiaciones ópticas de Gratiolet, las fibras procedentes de los campos visuales opuestos, (temporales directas, y nasales decusadas en el quiasma), para terminar en el hemisferio del lado opuesto al campo que estimuló el receptor dual retiniano.

Papila (Papila fasciculi optici)

La papila es el lugar del fondo ocular donde confluyen los axones de las células ganglionares de la retina (**Williams Briggs (1650-1704)**). Las fibras maculares, a través del haz maculo-papilar, llegan al tercio temporal del disco. Las fibras temporales a la mácula se arquean en torno a ella para alcanzar el disco óptico en ambos polos, superior e inferior. Las fibras procedentes de la retina nasal llegan directamente a la mitad nasal de la papila. Conforme las fibras nerviosas se alejan de la papila, el fascículo macular, que en la papila ocupa el área temporal, se va centrando en el nervio óptico. De modo general podemos decir que las fibras periféricas de la retina se introducen en el nervio óptico ocupando su periferia, en tanto que las del área central toman el centro del nervio.

La papila, explorable por oftalmoscopia, con un diámetro de 1,5 mm,

se sitúa a 3,5 mm por dentro de la fóvea. Dijimos anteriormente que la línea horizontal tendida desde la fóvea a la papila, corta ésta por el tercio inferior, hecho de importancia práctica cuando se valoran las torsiones. Campimétricamente se corresponde a 15°-18° nasal de la foveola. Aunque variable de unos individuos a otros, suele presentar forma ovalada, ligeramente vertical. Tiene color rosado y, en su centro, con mucha frecuencia tiene una pequeña depresión, por lo común ovalada horizontalmente, denominada *excavación fisiológica (excavatio papillae optici)*, por donde hacen emergencia los vasos centrales de la retina.

El tejido que circunda la *excavación fisiológica*, y que constituye el conjunto estructural de color blanco rosado de la papila, se llama *anillo neuroretiniano*. Son los axones de las células ganglionares que, incurvándose hacia atrás en giro de 90°, atraviesan los orificios de la lámina cribosa para salir del globo ocular y dirigirse al encéfalo, con parada intermedia en el cuerpo geniculado externo.

La papila no tiene elementos de percepción. Su proyección en el espacio visual lo hace como escotoma absoluto: es la *mancha ciega*, descrita por **Edmé Mariotte (1668)**. Para **Swann (1958)**, el *escotoma de Mariotte* sería la dirección de desviación adoptada (15°-18°) por ciertos estrabismos para, de modo fácil, obtener el confort antidioplópico de la neutralización (*síndrome de Swann*).

La irrigación de la papila corre a cargo, en parte, de la arteria central de la retina que, al dividirse en ella para formar las cuatro arteriolas retinianas, origina pequeños y delgados capilares que se distribuyen por su porción superficial. Ahora bien, la alimentación más importante de la cabeza del nervio óptico depende de las *arterias ciliares cortas posteriores*, cuya anastomosis contribuye a formar el *círculo de Zinn-Haller*, que es protagonista de su irrigación. Aparte, algunas arterias recurrentes, tanto coroideas como piales, colaboran en la vascularización de las tres regiones: prelaminar, laminar y

retrolaminar de esta porción intraocular del nervio.

El retorno venoso corre a cargo de la vena central de la retina y del desagüe venoso del sistema coroideo, con comunicación vascular retino-coroidea.

Nervio óptico (Fasciculus opticus)

El nervio óptico es producto de la confluencia de axones de las células ganglionares de la retina. El millón a millón y medio de fibras que lo conforman, tras emerger de la papila, atraviesan la lámina cribosa escleral para continuar a partir de aquí mielinizadas. Esta cantidad de fibras disminuye con la edad, apareciendo en su lugar tejido conjuntivo. La mielina favorece la conducción, aumentando su eficacia y velocidad.

La mayoría de las fibras nerviosas (90%) van a constituir la *vía óptica principal*, que tiene como dirección al cuerpo geniculado externo, en tanto que el 10% restante formarán la *vía óptica secundaria* con otros destinos.

El nervio óptico, en esta porción intraorbitaria presenta de 3 a 4 mm de diámetro y 25 a 30 mm de longitud. Con forma sinuosa de convexidad interna en su porción anterior y externa en la posterior, se dirige al fondo de la órbita en el interior del *embudo muscular* constituido por los cuatro músculos rectos y, en longitud de 7 mm, atraviesa el canal óptico tallado entre las dos raíces del ala menor del esfenoides. A este nivel entra en contacto con la arteria oftálmica, que se encuentra inmediatamente por debajo y lateral al nervio. La distancia que hay en línea recta desde el polo posterior del globo hasta el canal óptico, es bastante menor que la longitud del nervio a este nivel, y esto permite sin problemas la posibilidad de amplios movimientos del globo ocular.

En su porción intraorbitaria presenta vecindad con ramas de la arteria oftálmica: arteria lagrimal, arteria central de la retina, arteria supraorbitaria y arterias ciliares, así como con el drenaje venoso y algunos

nervios, en particular con la rama superior del III par y el nervio nasociliar.

Merece especial mención el *ganglio oftálmico* o *ganglio ciliar*, adosado al nervio óptico en su cara externa, a unos 15 mm del polo posterior del ojo y a 8 mm del vértice orbitario.

Tras atravesar el canal óptico (*canalis fasciculi optici*), ya dentro del cráneo, en longitud de 10 mm, el nervio óptico, con morfología aplastada, se dirige atrás y adentro hasta el ángulo anterior del quiasma óptico. En este lugar se encuentra inmerso en el espacio subaracnoideo.

El nervio óptico está recubierto por las tres vainas meníngeas (*vagina fasciculi optici*): duramadre, aracnoides y piamadre. El espacio entre la piamadre y la aracnoides contiene líquido cefalorraquídeo, en continuidad con el intracraneano. Anatómicamente el nervio óptico, al estar envuelto por las meninges encefálicas y sus fibras al no tener vaina de Schwann, estructuralmente es más parecido al cerebro (sistema de fibras blancas del encéfalo) que a un nervio periférico. Parece como si fuera una prolongación de aquél. **Galeno de Pérgamo (131-201 d.d.C.)** dijo: "... *el nervio óptico no es precisamente un nervio; sus envolturas y cavidades se continúan con el cerebro*". **Parinaud (1898)** lo expresa diciendo: "... *el nervio óptico y la retina deben ser considerados como una expansión orbitaria de la sustancia cerebral*".

En el interior de la órbita, la vascularización corre a cargo de ramas piales procedentes de la arteria oftálmica y de la arteria central de la retina, que, circulando por la superficie del nervio, profundizan en él para aportar su alimentación. A 10-15 mm detrás del globo ocular, penetra en el nervio óptico la arteria central de la retina, para emerger en el fondo ocular por el centro de la papila. El último centímetro intraorbitario del nervio óptico es más rico en vascularización, si lo comparamos con la porción posterior y la intraescleral, que tiene mayor debilidad vascular.

La vascularización en su porción intracanalicular corre a cargo de ramos procedentes de la arteria oftálmica.

El nervio óptico intracraneal está irrigado por la arteria carótida interna y ramas de ésta: comunicante anterior, cerebral anterior, e hipofisaria superior.

El drenaje venoso se hace, fundamentalmente, de la vena central de la retina, de venas piales que desaguan en ramas de la oftálmica superior, y algunas venas de la piamadre. La mayor parte de este drenaje aboca al seno cavernoso.

Quiasma óptico (Chiasma fasciculorum opticorum)

La denominación "quiasma" se debe al anatomista griego **Rufus de Efeso (siglo I d.d.C.)**, de la Escuela Ecléctica, por el gran parecido de esta estructura con la letra griega *Chi (X)*.

Es una placa blanca aplastada, que se sitúa en la parte rostral del infundíbulo, y que con **Sir Isaac Newton (1704)** sabemos que es el lugar donde se entrecruzan parcialmente las fibras del nervio óptico, para conseguir que a las cintillas ópticas, prolongación del quiasma, lleguen las fibras de regiones retinianas homólogas. **Kupfer (1967)** demostró que en el humano la proporción entre fibras decusadas y directas es de 53 a 47.

Tiene forma cuadrilátera, de dimensión aproximada a 12 x 8 mm, y con situación horizontal, ligeramente oblicua, con su cara basal mirando hacia atrás. A los ángulos antero-laterales atestan los dos nervios ópticos. De los postero-laterales emergen las dos cintillas ópticas. La lámina cuadrilátera quiasmática, con la terminación de los nervios ópticos y la salida de las cintillas ópticas, adopta la forma de una X tumbada adherida al encéfalo. El ángulo anterior de la X queda delimitado por el extremo distal de los dos nervios ópticos, y el posterior definido por la salida de las dos cintillas.

La cara inferior se corresponde con la tienda de la hipófisis, lámina de la duramadre

que delimita por arriba la fosa hipofisaria y se extiende entre la lámina cuadrilátera del esfenoides por detrás, las paredes del seno cavernoso por los lados, y el labio posterior del canal óptico por delante.

La cara superior se relaciona por delante con el lóbulo frontal del cerebro, y por detrás con la lámina terminal, estrecha capa de sustancia gris que lo separa del tercer ventrículo.

Por detrás, el ángulo posterior del quiasma toma contacto con el tallo hipofisario, que sale por un agujero de la tienda de la hipófisis, inmediatamente por delante de la lámina cuadrilátera del

esfenoides. Por delante, el ángulo anterior interesa al pico del cuerpo caloso.

Las relaciones vasculares más importantes del quiasma las tiene con las ramas que emergen de la carótida interna al salir del seno cavernoso y a nivel de su porción lateral. Son las arterias: oftálmica, cerebral anterior, cerebral media, comunicante posterior y coroidea anterior.

El quiasma óptico está vascularizado por pequeñas ramas terminales procedentes de la carótida interna, de la cerebral anterior, de la comunicante anterior, de la hipofisaria superior, e, incluso, algunos ramos de la comunicante posterior alcanzan a alimentarle.

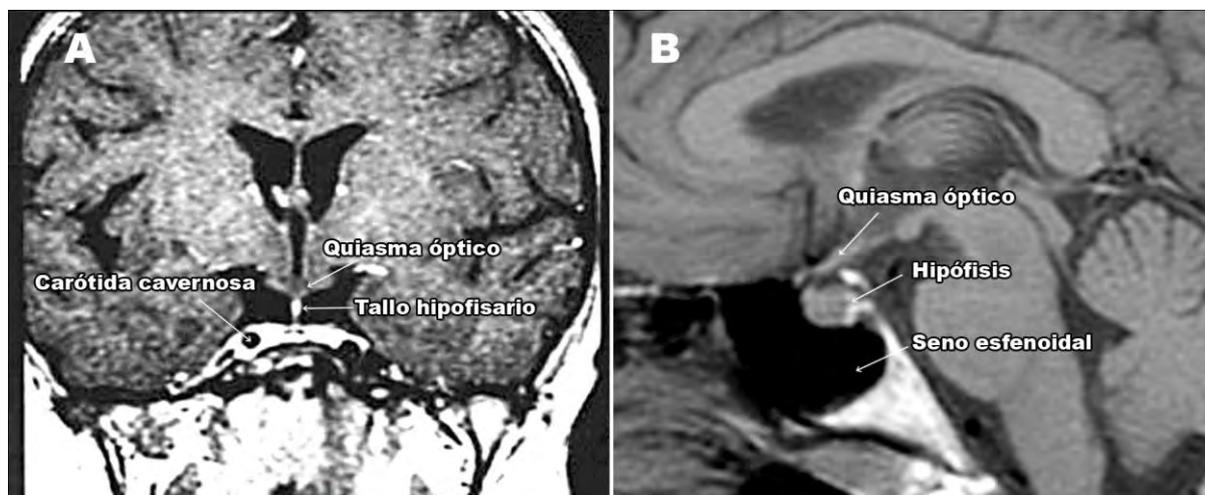


Figura 38. Corte coronal y longitudinal del encéfalo.

Resonancia magnética: **A)** Muestra un corte coronal donde se aprecia el seno cavernoso con la arteria carótida, el tallo hipofisario y el quiasma óptico. **B)** Corte longitudinal con el quiasma óptico, la hipófisis y el seno esfenoidal.

Cintilla óptica o nervio hemioptico de Grasset (*tractus opticus*)

Conduce las fibras visuales procedentes del campo visual contralateral. Su destino es el *cuerpo geniculado externo (CGE)*, el *colículo superior (tubérculo cuadrigémino anterior)* y el *núcleo pretectal de la oliva*.

Con forma aplastada de arriba abajo, aparentan dos cintas blancas de 20 mm de longitud. Adheridas ambas a la cara inferior del cerebro, comienzan en el ángulo posterior del quiasma óptico, quedando a este nivel separadas por el tallo de la hipófisis. Desde su inicio, se dirigen hacia atrás y afuera, descansando, al principio, sobre la tienda de la hipófisis y en correspondencia por arriba con el suelo del tercer ventrículo. Más atrás,

contornean el pie del pedúnculo cerebral y cada una de ellas divididas en dos raíces (*radiatio tractus optici*) terminan: en el cuerpo geniculado interno por su raíz interna, y en el cuerpo geniculado externo o lateral, por su raíz externa. Esta última, que es la más importante por su contenido en fibras visuales, es la conducción que prolonga la vía óptica principal. Existen, además, algunas fibras que se introducen en el mesencéfalo por la fosa intercrural, constituyendo la raíz óptica mesencefálica (*raddix optica mesencephalica*).

La irrigación de la cintilla óptica se lleva a cabo por la arteria comunicante anterior, que cruza por debajo de aquella, y por la coroidea anterior.

Cuerpo geniculado externo o lateral (Corpus geniculatum laterale)

Monakow (1882) demostró que este centro era la primera y principal estación de parada de la vía visual donde llegaban las fibras ópticas, y a partir de aquí, con una nueva neurona, continuaban su camino hasta la corteza cerebral. Es el primer relevo y primordial núcleo visual talámico que encuentra la vía óptica principal. Corresponde al segundo piso de **John Hughlings Jackson**.

Este núcleo es una eminencia ovalada con aspecto de ganglio, que se sitúa al final de la cintilla óptica y en el borde postero-lateral del mesencéfalo, por debajo del pulvinar. Su relación por dentro es con el cuerpo geniculado interno y externamente con el segmento retrolenticular de la cápsula interna.

En los primates, el cuerpo geniculado externo con su estructura laminar, está formado por seis capas concéntricas de células. Es estación terminal, con organización retinotópica, de las fibras que procedentes de las células ganglionares de la retina llegan a ella a través de la cintilla óptica. De estas seis capas, la primera es la más ventral y la sexta la dorsal. A las capas 1, 4 y 6 les llega información del ojo contralateral, mientras que las capas 2, 3 y 5 son receptoras del ojo

del mismo lado. En las capas 1 y 2 se ubican las células magnocelulares, mientras que en las 3, 4, 5 y 6 se sitúan las parvocélulas.

Aquí, son tratadas y organizadas las señales visuales procedentes tanto del ojo homolateral como del contralateral. Desconociendo su auténtica misión, parece como función más importante la regulación de la información visual al cerebro y, también, mantener aisladas las propiedades de los estímulos luminosos que allí llegan para su mejor aprovechamiento por las células de la corteza cerebral visual.

Los estudios de **Hubel y Wiesel (1977)** no han podido demostrar la existencia de *células binoculares* en esta estación. Las neuronas receptoras del ojo derecho e izquierdo permanecen segregadas a este nivel, respondiendo solo a uno u otro ojo (*son células monoculares*).

El CGE recibe, además, e incluso en mayor número, aferencias extra-retinianas procedentes, sobre todo, de la *corteza visual primaria (V1)*, con función de retroalimentación cibernética. También le llegan fibras de la formación reticular del tronco encefálico.

Las terminaciones nerviosas de las células X a través de la *vía parvocelular*, y las de las células Y por la *vía magnocelular*, llegan aisladas al cuerpo geniculado. Los axones de las células de este centro primario continúan, también, aislados (**Minkowski, 1920**) a través de las *radiaciones ópticas de Gratiolet* a la *corteza visual primaria (corteza estriada o V1)*, llevando la información.

Su irrigación corre a cargo de ramos de una red anastomótica, formada por la arteria coroidea anterior y cerebral posterior.

Radiaciones ópticas de Gratiolet (Tractus geniculo-calcarinus)

De la cara dorsolateral del cuerpo geniculado externo, emergen los axones de las células de esta estación con destino a la corteza estriada con objeto de transmitir la información visual. Se dirigen hacia arriba y afuera y, seguidamente, cambian su sentido

hacia atrás formando la *rodilla de las radiaciones ópticas*. Caminan en sentido anteroposterior a lo largo de la pared externa del cuerno occipital del ventrículo lateral, para, finalmente, introducirse en el seno de la sustancia blanca del lóbulo occipital. Varían hacia adentro su dirección y abriéndose en abanico se diferencian en tres fascículos: el superior con dirección al labio superior de la cisura calcarina; el inferior dirigido al labio inferior de la misma; y el posterior que termina en el extremo posterior del lóbulo occipital.

Su vascularización procede de la arteria coroidea anterior, que irriga el origen de las radiaciones. Más posterior, la arteria silviana, rama de la carótida, es la encargada de su nutrición. En su porción final, con ramas procedentes de la cerebral posterior. Se explican así las alteraciones hemianópsicas que pueden encontrarse tanto en insuficiencias carotídeas como en las de origen vertebrobasilar.

Vía óptica extrageniculada o secundaria (vía retino-tectal)

El mayor contingente de fibras que discurren por la cintilla óptica, sigue su curso hasta hacer sinapsis en el *cuerpo geniculado externo* ipsolateral, constituyendo la vía óptica principal. Sin embargo, un porcentaje pequeño de estas fibras (10%) emergen antes, con destino al *colículo superior* (tubérculo cuadrigémico anterior), al *pre-tectum* (donde se dirige la porción aferente del reflejo pupilar), al *pulvinar* (alternativa a la vía óptica principal con destino al área cortical estriada, al parecer en relación con la integración del testimonio visuomotor), a *núcleos del sistema óptico accesorio*: núcleo lateral terminal (LTN), núcleo medial terminal (MTN), núcleo dorsal terminal (DTN) y núcleo terminal intersticial (ITN) (de gran protagonismo en el nistagmo optocinético), y al *núcleo supraquiasmático* (ubicado en el hipotálamo, que por la luz contribuye a la regulación de los ritmos circadianos).

Se tratan de fascículos inconstantes, investigados mediante experimentación y variable de unos animales a otros (Figura 39-A).

El fascículo más importante de todos los que se destacan es la *cintilla óptica accesorio posterior*. Se origina en la *cintilla óptica* de la vía óptica principal, muy cerca del cuerpo geniculado externo. Se dirige hacia atrás para introducirse en el pedúnculo cerebral a nivel del espacio interpeduncular, terminando en el *colículo superior (tubérculo cuadrigémico anterior)*. Esta vía secundaria es portadora de la información procedente de las células Y y W de la periferia retiniana nasal del ojo contralateral, y acaba definitivamente en el mesencéfalo.

La *vía óptica secundaria* (vía retino-tectal), sistema visual primitivo, y principal, de los animales inferiores, en el hombre asume su mayor protagonismo en el comienzo de la vida (primeros seis meses). En esta fase, al igual que en aquellos, el mesencéfalo es el auténtico coordinador del sistema ocular, por no encontrarse aun desarrollada la corteza cerebral vinculada al aparato sensorio-motor de los ojos. Su importancia va disminuyendo conforme se desarrolla el encéfalo y las conexiones de éste con el mesencéfalo y estructuras de la periferia. Este sistema arcaico está constituido por el *colículo superior o tubérculo cuadrigémico anterior* como centro nervioso (órgano similar al lóbulo óptico de los vertebrados inferiores), y la *vía cruzada retino-mesencefálica (vía óptica secundaria)*, por la que caminan los estímulos recibidos en la retina nasal del ojo del lado opuesto que habría captado las impresiones lumínicas de su campo temporal. Es decir, el campo visual derecho está siendo recibido por la retina nasal del ojo derecho, y desde aquí, por la *vía óptica secundaria*, llegan al centro mesencefálico (*colículo superior*) izquierdo, de donde parten las órdenes motoras hacia el ojo izquierdo. O sea, que cada ojo, estaría especializado en la visión de un solo campo visual. El ojo derecho ve el campo visual derecho a través del centro nervioso mesencefálico del lado izquierdo, y el ojo

izquierdo ve el campo visual izquierdo a través del *colículo superior* del lado derecho. Se ha demostrado que en el recién nacido existe asimetría naso-temporal de la estructura retiniana, en el sentido de que durante el primer mes de vida hay mayor desarrollo de la retina nasal, encargada de recibir estímulos luminosos del campo visual temporal. Este hecho se invierte en el segundo mes, que va mejorando el desarrollo estructural temporal retiniano, terminando por igualarse con la retina nasal, consecuencia de la maduración de la vía retino-genículo-calcarina.

El recién nacido está, pues, en

posesión de dos visiones monoculares, que a partir de los 6 meses comienza a hacerse binocular. Este momento ocurre al terminar el desarrollo de la vía óptica principal, y establecer relación sináptica con los centros superiores (cuerpo geniculado externo y córtex), de tal manera que puedan participar en el sistema las células complejas e hipercomplejas de la capa V de la corteza occipital, que dan asiento a las *células binoculares de Hubel y Wiesel*, lugar de llegada de estímulos de los *campos receptivos correspondientes* y donde se establece el procesamiento fusional de las dos sensaciones monoculares.

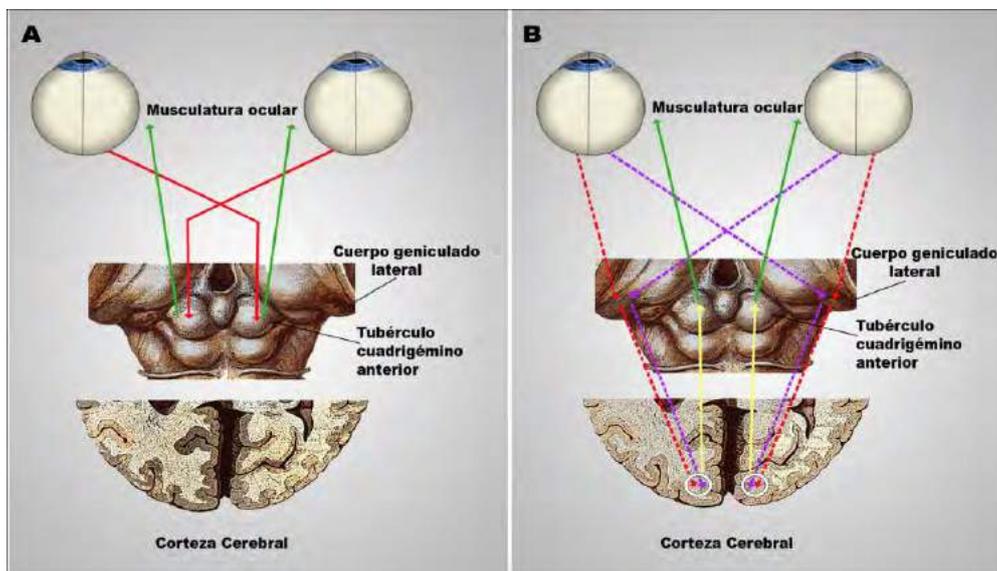


Figura 39. A) Vía retino-tectal (vía óptica secundaria).
B) Vía retino-genículo-estriada (vía óptica principal).

Conforme se van desarrollando las estructuras cerebrales y se maduran los centros nerviosos y las vías ópticas, los centros mesencefálicos (*colículo superior*) comienzan a tener información de lo que acontece en la retina temporal del ojo de su lado. No por vía directa (vía retino-tectal), sino a través de la información cerebral recibida por las fibras temporales no cruzadas que, de modo normal, han llegado a su destino cortical por la vía retino-genículo-

calcarina, recibiendo el colículo superior la información a través de conexiones nuevas descendentes, establecidas desde la corteza. De esta manera, el *colículo superior* puede comparar informaciones recibidas por vía directa a través de la *vía óptica secundaria o vía retino-tectal*, y por vía indirecta a través de la *vía córtico-colicular*.

Por último, este centro mesencefálico recibe información del sistema vestibular.

Centros principales

Cuando se hace referencia a “*centros visuales*” principales, receptores de información, el vocablo “*centro*” tiene alcance y sentido “funcional”, más que estrictamente “anatómico” y perfectamente individualizado. Se consideran:

* *Corteza estriada, corteza visual primaria, área 17 de Brodmann o V1*. Es el centro cerebral, que recibe información a través de la vía óptica principal.

* *Colículo superior o tubérculo cuadrigémino anterior*. Es un centro mesencefálico, al que llegan impresiones luminosas retinianas a través de la vía óptica secundaria.

Ambos centros, se encuentran conectados mediante la vía córtico-colicular a partir del momento en que el cerebro tiene desarrollo y madurez suficiente, considerándose así a partir de la edad de 6 meses.

Centro cerebral

La corteza cerebral es responsable de la percepción y cognición visual. En ella se llevan a cabo el procesamiento de la sensación recibida, donde se combinan forma, color, contraste, textura, profundidad, relieve, relación, movimiento, reconocimiento y memorización. Es el piso superior del *sistema sensorial de John Hughlings Jackson* y la mayor conquista de la evolución de las especies.

El asiento final de las *radiaciones ópticas* se organiza sobre la cara interna del lóbulo occipital del cerebro, por encima y debajo de la cisura calcarina o sillón calcarino. Es el *área 17 de Brodmann (área visual primaria o área V1)*. En su porción anterior, el sillón calcarino se incurva hacia abajo donde se encuentra con el sillón parieto-occipital, marcando este nivel el límite que separa los lóbulos occipital y parietal. Por delante, el

área cortical visual llega hasta el rodete del cuerpo calloso; por detrás, se extiende hasta el polo posterior, al que rebasa ligeramente 1,0 a 1,5 cm.

La *corteza cerebral con función visual*, se cree corresponde al 15% de la total superficie cortical. Con espesor de 2,00 mm y del orden de doscientos millones de células, presenta mayor complejidad estructural que el cuerpo geniculado. Está constituida estructuralmente, al igual que el resto del córtex cerebral, por *seis capas* bien ordenadas y con gran variedad de tipos celulares. Se caracteriza por presentar apariencia en franjas si observamos una sección transversal perpendicular a la superficie, cuyo aspecto le da el nombre de *corteza estriada*. También, por mostrar a su nivel, dentro del conjunto de sustancia gris, un estrato acelular de fibras mielinizadas que separa en dos partes la *capa IV o capa granular interna (IVa y IVc)*: Es la *estría de Gennari*, descubierta por el estudiante italiano de medicina, **Francesco Gennari**, en **1782**.

El área de un hemisferio cerebral recibe las sensaciones correspondientes al hemicampo contralateral. Así, los objetos situados en el campo visual derecho van a impresionar la retina nasal del ojo derecho y la retina temporal del ojo izquierdo y, a su vez, todas estas percepciones van a terminar en la *corteza estriada* del lóbulo occipital del lado izquierdo, donde quedan representadas. Como diría **Grasset**: “... *el sujeto ve el lado opuesto del espacio*”. En lo referente a la mácula, se cree que las fibras procedentes de la misma se distribuyen en los dos hemisferios cerebrales, de modo que cuando se produce lesión en un lado del *área 17 de Brodmann*, ocasiona pérdida de los dos hemicampos contralaterales, pero manteniéndose el respeto macular.

La retina periférica tiene una muestra cortical muy reducida y se sitúa en la porción más anterior del área visual, en tanto que la mácula la tiene muy grande (entre 1/3 y 1/2 de la misma), situándose en el polo posterior de la misma y rebasando ligeramente la cara externa. Algún autor se ha preguntado si la atención aumentaría esta representación en

la corteza, y si la disminuiría la neutralización fisiológica. Las fibras superiores de la periferia retiniana se proyectan sobre el labio superior de la cisura calcarina (*girus cuneus*), en tanto que las fibras procedentes de la retina periférica inferior lo hacen sobre el labio inferior de la hendidura (*girus lingual*). Se cree, repito, que las fibras procedentes de la mácula se distribuyen en los dos hemisferios cerebrales.

El *área 17 de Brodmann*, dijimos, está constituida por seis capas. La *capa IV*, con sus *células simples*, receptoras de estímulos monoculares, es la más extensa y lugar terminal de los axones de las células magnocelulares y parvocelulares de las seis capas del cuerpo geniculado externo, que, transportando los impulsos visuales, llegan a la corteza cerebral por las *radiaciones ópticas de Gratiolet (Henschen, 1925)*. En esta capa está conservada la representación retinotópica. A este nivel, los campos receptores de las células de la corteza cerebral conservan las características de las células del cuerpo geniculado. Adyacente a esta capa, se encuentran las *capas II, III, V y VI*, con sus *células complejas e hipercomplejas*, donde se ubican las *células binoculares de Hubel y Wiesel*, encargadas de fusionar las dos sensaciones monoculares, que, procedentes de ambos ojos, han impresionado puntos correspondientes retinianos (fusión sensorial). Las *células simples* de la *capa IV* (con estímulos monoculares procedentes de ambos ojos) se conectan con las *células complejas e hipercomplejas* de las otras capas (*células binoculares*), sintetizándose y reagrupándose aquí la información procedente de los dos ojos.

Quiere decirse que dos células monoculares de la *capa IV* del *área 17 de Brodmann* (provenientes de ambos ojos en normal correspondencia), con sensaciones fisiológicas dispares, envían su información a una *célula binocular* de las *capas II y III*. Aquí estaría basada toda la binocularidad. En el estrabismo desaparecerían estas células binoculares.

David Hubel y Torsten Wiesel han

descrito, asimismo, células corticales con facultad para percibir profundidad en el *área 17* del mono.

Gian Poggio (1977), igualmente, detectó en el *área 17* células vinculadas a la percepción en tres dimensiones en monos, en estado de vigilia.

Es decir, en la *corteza estriada (V1)*, además de haber representación retinotópica similar a la que vemos en el cuerpo geniculado, empiezan a determinarse funciones no existentes en esta estación, como es la binocularidad y determinadas sensibilidades: dirección del movimiento y orientación de la excitación luminosa.

Estos neurofisiólogos, portadores del premio Nobel de Medicina del año **1981**, descubrieron anatómicamente lo que la intuición del genio analítico de **René Descartes (1649)** revelara al mundo en su *Tratado de las pasiones*. Este autor adelantó, que “... en alguna parte del cerebro, tal vez localizada en la glándula pineal, tenía que existir un determinado lugar, donde las imágenes procedentes de cada uno de nuestros ojos, de forma privilegiada se fundirían en una sola, antes de llegar al alma, donde se interpretarían”. De esta manera con antelación de más de tres siglos, el espíritu intuitivo del científico francés, a través de la filosofía metafísica, nos aportaba el trascendente regalo de la *asociación binocular*. El gran enigma, como antes dije, es saber donde reside ese “momento visual final”, que **Sherrington** asoció a lo que llamó “*célula pontifical*”, con todos sus atributos binoculares y, muy en especial, los referentes a la binocularidad: fusión, sentido de profundidad y visión tridimensional.

Ambos hemisferios cerebrales, al menos en los mamíferos, colaboran entre sí por medio de fascículos de fibras, siendo la conexión de mayor importancia la que acontece por medio del *cuerpo calloso*.

A nivel del *rodete del cuerpo calloso (cuerpo duro)*, existe comunicación o conexión entre ambos hemisferios. En nuestro caso concreto entre los dos hemisferios visuales. Este hecho, que había sido descrito por **Parinaud y Charcot** en **1882**,

y reflejado en el libro "La visión" pág. 125, fue experimentalmente comprobado en gatos por el que fuera alumno de **Robert Sperry, Ronald Myers en 1955.**

Paso adelante fue el que dio **David Whitteridge (1961).** Experimentó que tras seccionar quirúrgicamente una de las dos cintillas ópticas, en la Figura 40-A, la del lado izquierdo (advértase que el cerebro le estamos mirando por la cara inferior), el espacio exterior queda desconectado del lóbulo occipital izquierdo. Significa que la única información que llegaría a este hemisferio sería la de la corteza derecha a través de la transferencia visual decusada a nivel del cuerpo caloso. Lo importante fue la comprobación que hizo de que las fibras transferidas no lo eran de toda el área 17 del lóbulo occipital sino sólo de una estrecha banda vertical mediana, en correspondencia con el área foveal (2° centrales). Habría auténtico solapamiento de ambos campos visuales estrechos informando a los dos hemisferios.

Henri Parinaud (1898) en su libro "La vision" (pág. 204) dice: "... las fibras que sirven a la conducción de los elementos maculares de la retina tienen, con los centros visuales, conexiones que les son propias e independientes de las del campo visual. Estudiando el comportamiento de una amaurosis histérica monocular en un estereoscopio, he comprobado la independencia de la visión central de 5° a 6° con relación al resto del campo visual".

Después aparecieron los trabajos de **Berluchi y Rizolatti (1968).** Estos autores seccionaron el quiasma óptico por su línea media (Figura 40-B), de tal modo que al hemisferio derecho sólo podían llegar estímulos procedentes, por vía directa, de la retina temporal del ojo derecho y a través de la estación intermedia situada en el cuerpo geniculado, con capacidad para recibir, a

través de estas aferencias, los estímulos del campo visual izquierdo. Llegados a este punto, buscando células susceptibles de *poder ser estimuladas binocularmente*, comprobaron que también éstas recibían sensaciones del ojo izquierdo, cuya procedencia no podía ser otra que las llegadas desde el ojo izquierdo al hemisferio cerebral de este lado, y pasadas al otro a través del cuerpo caloso. Pero lo más importante es que había identidad con relación a los campos receptores. Esto supone, gracias a la vía de comunicación del cuerpo caloso, que pueden fundirse de modo topográfico exacto los campos visuales, y que en cada lado del cerebro y en cada hemisferio visual pueda tenerse impresión total del mundo exterior en cada instante percibido.

Es explicable, del mismo modo, en casos de afectación de las radiaciones ópticas, la preservación macular que vemos, compensada por el paso de las sensaciones venidas de las radiaciones ópticas contralaterales, que se han cruzado a través del cuerpo caloso

Esto no es más que el hecho elemental de la recepción. Aparte, si pensamos en las conexiones córtico-corticales directas y cruzadas que han de existir, la complejidad raya con el infinito. Hasta aquí hemos considerado solamente que del espectáculo visual que vemos en cada momento, llega a la corteza estriada cada parte, trozo a trozo, de las diferentes imágenes, impresionando sus células de acuerdo a una topografía bastante reglada, bien conocida y en concordancia con la que existe en la retina, en el cuerpo geniculado y en el conjunto de la vía óptica primaria. Pero estas percepciones visuales parciales no solo son recibidas, sino procesadas para su conformación total e interpretación. Así pueden llegar al entendimiento para su comprensión y respuesta.

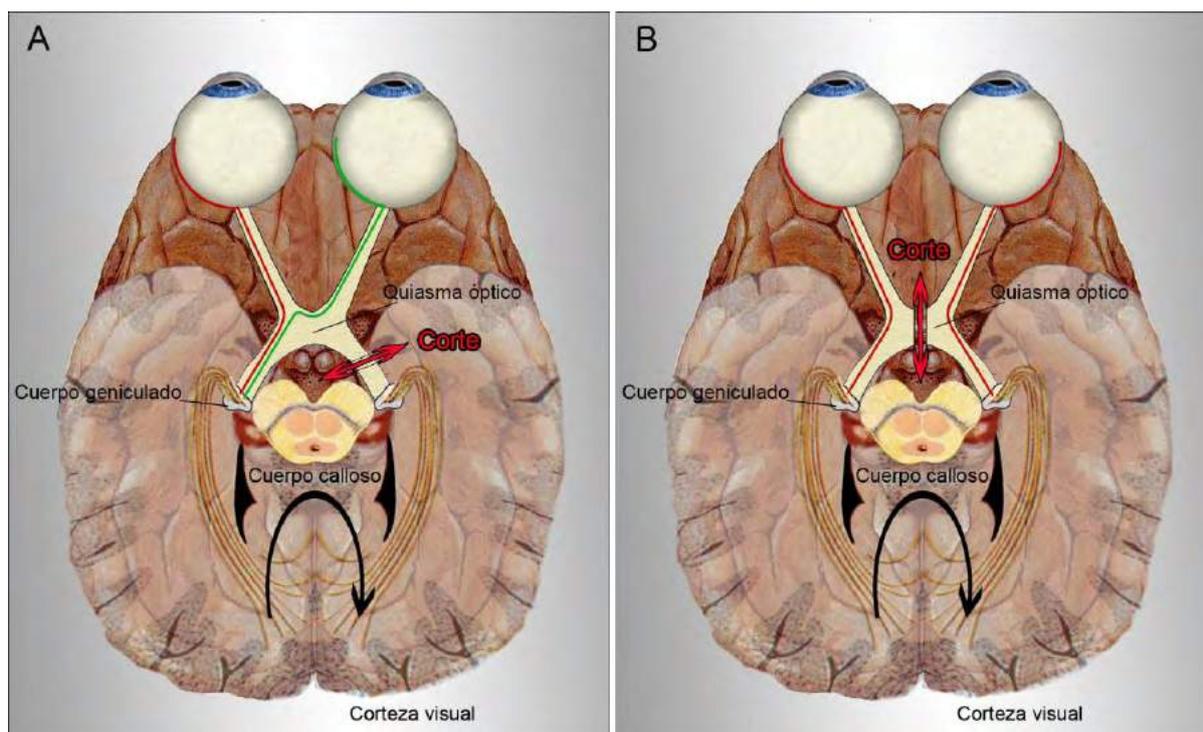


Figura 40. Conexión interhemisférica a nivel del cuerpo caloso. Experimentos.

A) Experimento de David Whitteridge (1961). Explicación en el texto.

B) Experimento de Berluchi y Rizolati (1968). Explicación en el texto.

Lo cierto es que la percepción de la forma no se encuentra en el área estriada. Sachs ha demostrado que "... la percepción de la forma es mucho más compleja que la mera visión".

Las neuronas de la corteza estriada (V1), además de recibir aferencias de CGL, son activadas por otras moduladoras de áreas corticales y subcorticales.

Desde la corteza estriada (V1) o área 17 de Brodmann, toda vez procesadas las señales llegadas, parten eferencias hacia otros destinos de la corteza cerebral para analizar las percepciones recibidas y proceder a su integración, entendimiento, memorización y respuesta. Salen de la capa III o capa piramidal, abocando al área 18 de Brodmann o área paraestriada (V2, V3, V3a y V4). Desde aquí hay una proyección al área 19 de Brodmann (área periestriada, V5, o área medial temporal -MT-); se cree que el lóbulo temporal participa activamente en el proceso de memorización. Las otras eferencias,

nacidas de las capas V y VI del área 17 de Brodmann, se dirigen hacia destinos subcorticales (tálamo, mesencéfalo y protuberancia). El destino talámico tiene que ver con el sistema vegetativo. El mesencéfalo, como después analizaremos al estudiar el sistema motor visual, la corteza cerebral conecta, una vez procesadas las sensaciones, con los centros motores del mesencéfalo y núcleos vestibulares.

Con finalidad cibernética la capa VI retroalimenta con eferencias al CGE.

E incidimos una vez más en la comunicación hacia el otro hemisferio a través del cuerpo caloso.

En el área 18 de Brodmann (V2) se han detectado células con sensibilidad a la disparidad retiniana, que tiene gran valor para la función de estereopsis.

La vascularización del área visual corre a cargo de la arteria calcarina, rama de la cerebral posterior, pero también participa la temporal posterior, procedente de la

arteria silviana, que permite ser sustituta ante oclusión de la arteria calcarina.

Centro mesencefálico

Corresponde al *colículo superior (tubérculo cuadrigémino anterior)*, lugar donde termina la *cintilla óptica accesoria posterior*, destacada de la *cintilla óptica* en su proximidad al cuerpo geniculado externo. Esta vía óptica secundaria lleva información sensorial procedente de las *células W* e *Y* de la periferia nasal retiniana opuesta.

A su vez, es centro relevante para el control visual de los movimientos de cabeza y ojos, con importante papel en la detección de los objetos que estimulan y animan la periferia del campo de visión. Tiene gran protagonismo en la motilidad refleja

automática a través de la conexión anatómica que tiene con los núcleos óculo-motores.

Su participación en el comienzo de la vida, época de inmadurez cerebral, es muy activa. Más adelante, se emplea fundamentalmente en comparar la información recibida por vía directa e indirecta desde el cerebro una vez madurado (vía córtico-colicular).

Como conclusión sobre lo dicho en relación con el centro cerebral y mesencefálico, tenemos: La orden de ejecución de cualquier movimiento realizado (sacádico, de seguimiento etc) dimana de la corteza cerebral. Esta ejecuta el conjunto de movimientos binoculares, regulado a su vez por el mesencéfalo, que a su vez recibe información directa desde la retina así como de la corteza cerebral.

EL SISTEMA MOTOR VISUAL

La motilidad ocular, con sus 12 efectores (6 músculos en cada ojo), tiene una función esencial a realizar: Poner los ojos en situación anatómica para que el estímulo luminoso objeto de interés y que ha excitado cualquier zona del campo visual, incida sobre puntos o áreas retino-corticales correspondientes. Para ello se produce doble tarea:

* Orientación armónica y congruente de los ojos hacia el estímulo mediante movimientos voluntarios, automáticos o reflejos (cinética binocular).

* Mantenimiento de la fijación (estática binocular).

ORIENTACIÓN DE LOS OJOS HACIA EL ESTIMULO (Cinética binocular)

Organización supranuclear

Es esencial a considerar que el cerebro, motor encargado de animar los diferentes movimientos oculares, en el hombre se realizan sobre los dos ojos al tiempo, simultáneamente, y no de forma individual y separada por cada uno.

Para que estos movimientos se hagan de modo armónico, a fin de colocarlos en posición tal que, en correspondencia retiniana, permita la estimulación bifoveal por el objeto luminoso del espacio motivo de interés, es preciso que existan sistemas de control que permitan optimizar la ejecución de las funciones que permiten que se lleven a cabo estos movimientos conjugados.

Movimientos sinérgicos funcionales, que a veces serán de versión, otras disyuntivos o de vergencia, y, con más frecuencia, mixtos (combinados de versiones y vergencias).

Los movimientos de versión (horizontales, verticales, oblicuos, y rotatorios), comprenden movimientos: sacádicos rápidos (voluntarios o reflejos a estímulos visuales, auditivos y táctiles), lentos de seguimiento, reflejos de origen vestibular y nistagmo optocinético.

Los movimientos de vergencia (convergencia y divergencia horizontal, vergencias verticales y ciclovergencias), efectuados por un sistema independiente del anterior, son considerados, clásicamente, más lentos que los sacádicos y de seguimiento.

La corteza cerebral y los núcleos vestibulares son las estructuras encargadas de poner en marcha el *generador* de los diferentes movimientos. Del cerebro parten las vías eferentes que desde el área frontal y occipital descienden por la vía cortico-mesencefálica para conectar e integrarse con los centros subcorticales del tallo cerebral. Como después veremos, éste *generador* se encuentra en la *Formación reticulada paramediana de la protuberancia (FRPP)* y en la *Formación reticulada paramediana mesencefálica (FRPM)*.

La corteza frontal (*área óculo-motora frontal*), situada en las áreas 6, 8 y 9 de Brodmann, comanda el movimiento sacádico voluntario contralateral. La *corteza parietal posterior (sillón intraparietal)*, en conexión con el *área óculo-motora frontal*, se encuentra más comprometida con el control de los movimientos sacádicos inducidos de forma automática por un estímulo inesperado (visual, olfativo o táctil). La *corteza peri y paraestriada*, y las *áreas visual temporal media (TM)* y *visual temporal media superior (TMS)*, situadas éstas en el surco temporal superior, dictan los movimientos lentos de seguimiento.

Además se han descrito estructuras controladoras del movimiento, demostrables clínicamente, como son colículo superior, el tálamo y el cerebelo.

Estos centros superiores se encargan de llevar a cabo, de forma ordenada, la dirección y la distancia óptima a utilizar por nuestros ojos en las tres dimensiones del espacio visual. Los diversos estímulos sensoriales incitadores son transformados en órdenes motoras buscando siempre la percepción bifoveal.

De los hemisferios cerebrales parten dos vías (Figura 41), que van a desempeñar papel importante en los movimientos conjugados de lateralidad: la *vía antero-superior o fronto-mesencefálica*, que nace del área óculo-motora frontal y la *vía postero-superior u occipito-mesencefálica*, proveniente del área óculo-motora occipitoparietal.

Existe otra tercera: la *vía ascendente vestibulo-cerebelo-mesencefálica*, originada en los núcleos vestibulares, situados por delante del cerebelo. Son núcleos que responden a aferencias procedentes del VIII par, cerebelo y músculos con influjo postural. Junto con las dos anteriores, constituyen las tres vías óculo-motoras responsables de los movimientos conjugados o asociados de los ojos.

Vía antero-superior (fronto-mesencefálica)

Procedente del área 6, 8 y 9 de Brodmann (*área óculo-motora frontal*), se emiten dos vías destinadas al control de los movimientos sacádicos voluntarios: la dirigida al colículo superior ipsilateral (tubérculo cuadrigémino anterior), que controla la dirección de mirada intencionada; y otra, con destino al mesencéfalo. Ambas vías, en la parte inferior del pedúnculo cerebral, a nivel del núcleo del III par, sufren decusación, y terminan, a nivel de la calota bulbo-pontina, en la *Formación Reticulada Paramediana de la*

Protuberancia (FRPP), donde se encuentra el **Centro de Mirada Horizontal (CMH)**, que está situado en el seno del núcleo del VI par, por delante y por fuera del *fascículo longitudinal mediano (FLM)*.

Desde el **Centro de Mirada Horizontal (CMH)** de cada lado, parten dos tipos de fibras: unas, pasando a través del *fascículo longitudinal mediano (FLM)* o *cintilla longitudinal posterior (CLP)*, destinadas al subnúcleo del recto medio del complejo nuclear del III par del lado opuesto; y otras, que directamente constituyen el VI par y van a enviar su inervación al recto lateral del mismo lado.

Al estimular el *área óculo-motora frontal (AOF)* del lado derecho, se produce movimiento versional de ambos ojos hacia el lado izquierdo. Al estimular el **Centro de**

Mirada Horizontal (CMH) de la *Formación Reticulada Paramediana de la Protuberancia (FRPP)* del lado derecho, tiene lugar movimiento versional de los ojos hacia el lado derecho. Esta lesión da lugar a parálisis conjugada del lado derecho.

Los movimientos sacádicos verticales precisan que las *áreas óculo-motoras frontales (AOF)* de los dos hemisferios sean estimuladas. Desde aquí partirían los impulsos y por la misma vía eferente que el *área óculo-motora frontal* envía sus órdenes hacia el mesencéfalo, para llegar al **Centro de Mirada Vertical (CMV)**. Sin embargo, hay que insistir en que el camino de las fibras recibidas por este centro desde la corteza cerebral es muy discutido, incluso, también, su verdadera procedencia.

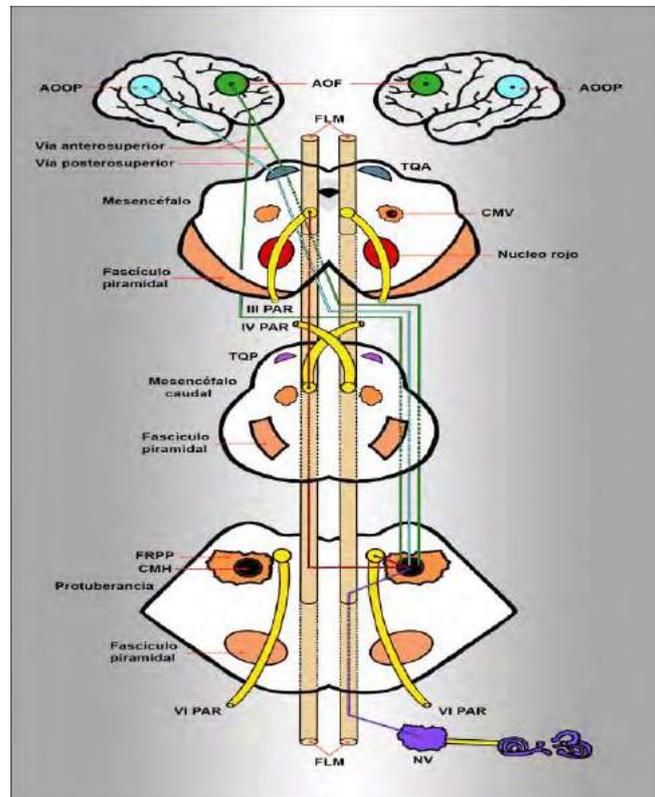


Figura 41. Vías óculo-motoras.

Circuitos de los movimientos oculares laterales. AOF: área óculo-motora frontal; AOPP: área óculo-motora occipito-parietal; FLM: fascículo longitudinal mediano; TQA: tubérculo cuadrigémino anterior; TQP: tubérculo cuadrigémino posterior; CMV: centro de la mirada vertical; FRPP: formación reticulada paramediana de la protuberancia; CMH: centro de la mirada horizontal; NV: núcleo vestibular.

Vía postero-superior (occipito-mesencefálica)

Esta vía que parte del *área óculo-motora occipito-parietal*, región que recibe mucha aferencia sensorial, especialmente del aparato de la visión (V1, área 17 de Brodmann), camina hacia el colículo superior (tubérculo cuadrigémino anterior) del mismo lado, para, en sentido descendente, tras decusarse en el mesencéfalo, continuar acompañada del haz sacádico hasta llegar al **núcleo protuberancial dorsolateral (NPDL)** y desde aquí al cerebelo (flóculo, paraflóculo y vermis). Del flóculo parten aferencias al núcleo vestibular del mismo lado. De aquí nacen vías que llegan al núcleo del III par. Existe, así mismo, estrecha relación entre el sistema sacádico y el de seguimiento, que se demuestra en la práctica por las correcciones que impone el uno al otro para llevar a cabo la congruencia motora de cualquier movimiento de versión.

Es responsable, junto con el cerebelo, de los movimientos automático-reflejos lentos de seguimiento o perseguida, movimientos sacádicos con punto de partida en relación a estímulos visuales y nistagmo optocinético. El nexos común a estos movimientos es estar provocados o mantenidos por la percepción sensorial, particularmente visual (impulsos efectores centrípetos ópticamente inducidos).

Vía ascendente vestibular (vestíbulo-mesencefálica)

Nacida de la porción vestibular del VIII par, y procedente de los núcleos vestibulares, que están en la porción dorsolateral de la protuberancia y bulbo raquídeo, y a los que llegan proyecciones nacidas de los otolitos y canales semicirculares a través del *fascículo longitudinal mediano (FLM)*, se reparte por los diferentes núcleos óculo-motores. Otro grupo de fibras hacen parada en la *Formación Reticulada Paramediana de la Protuberancia (FRPP)*, previa a su distribución por los núcleos óculo-motores. Esta vía ascendente

vestibular no hace estación en el **Centro de Mirada Vertical (CMV)** situado en el mesencéfalo. Así se explica que en el síndrome de Parinaud estén con frecuencia respetados los movimientos vestibulares verticales.

Se responsabiliza de los movimientos reflejos óculo-motores de adaptación postural. En las especies inferiores, el control de los movimientos oculares se realiza solo a través de los núcleos vestibulares y de esta vía. Por eso la actividad es exclusivamente subcortical mesencefálica, mediante reflejos posturales bajo dependencia del laberinto y de determinados receptores propioceptivos controlados por el mesencéfalo. En las especies superiores, y concretamente en el hombre, este sistema vestibular ha dado paso a los movimientos óculo-motores voluntarios y reflejos, dirigidos por la corteza cerebral.

A nivel del mesencéfalo, en la unión mesodiencefálica, se sitúa la *Formación reticulada paramediana mesencefálica (FRPM)*, por delante, algo por encima del III par y por detrás del núcleo rojo. En la *FRPM* y con participación probable de algunos núcleos muy cercanos, que en opinión de varios autores son meros componentes de la misma formación, como son el *núcleo intersticial de Cajal* y el *núcleo de Darkschewitch*, se encuentra el **Centro de Mirada Vertical (CMV)** o **centro intersticial rostral del fascículo longitudinal mediano**. Núcleo par, situado por debajo del tálamo, por detrás del núcleo rojo y con proximidad a los núcleos del III y IV par craneales, con los que establece sus relaciones, para ejercer los movimientos sacádicos verticales y, posiblemente, los movimientos de seguimiento.

En este conjunto nuclear expuesto se ha de advertir que “no existe auténtica individualidad anatómica”, sino que una serie de estructuras conectadas entre sí, dan naturaleza a *centros efectores* de la motilidad ocular, constituidos por un conjunto infinito de redes retroalimentadas, de acuerdo a los principios de la cibernética (**Larmande, 1969**). En **1870**, **Eduard Hitzig**, profesor de psiquiatría y director de la clínica neuropsiquiátrica de Halle, había concretado que

“... un centro es una parte de la corteza cerebral no limitable por una línea”.

Para complementar los núcleos y vías descritos, hay que hacer referencia a la *cintilla longitudinal posterior (CLP)* o *fascículo longitudinal mediano (FLM)*. Haz de fibras mielinizadas en situación paramediana a ambos lados de la línea media y en la porción más posterior del tronco del encéfalo, por delante del acueducto de Silvio. Extendida entre el tálamo y el bulbo (en la proximidad del núcleo del XI par), pone en relación los núcleos óculo-motores y vestibulares del tronco encefálico con el **Centro de Mirada Horizontal (CMH)**, derecha e izquierda y el **Centro de Mirada Vertical (CMV)**, de elevación y de descenso. La *cintilla longitudinal posterior (CLP)* asegura la conexión entre los movimientos de los ojos y los posturales.

Algunas conexiones entre los núcleos vestibulares y el núcleo del III par no se hacen solo por el *fascículo longitudinal mediano (FML)*, sino también a través del *fascículo de Deiters*.

La destrucción de la *cintilla longitudinal posterior (CLP)* o *fascículo longitudinal mediano (FLM)* da lugar a parálisis de la mirada horizontal y alteración de la mirada vertical.

Están, también, el conjunto de elementos que controlan y coordinan los movimientos óculo-motores, como son: el cerebelo, los núcleos grises centrales etc.

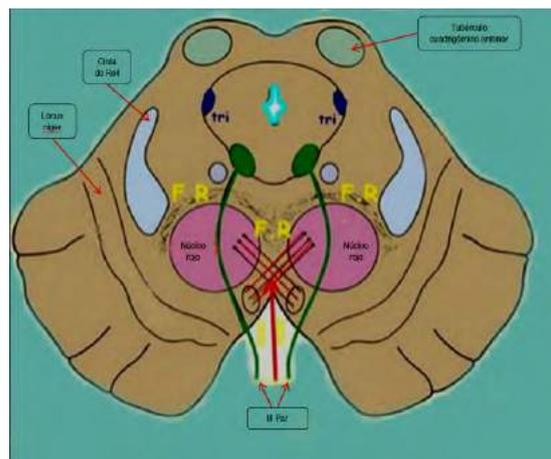
En lo que respecta a movimientos no conjugados o disyuntivos, la neuroanatomía de los centros y vías encargadas de los movimientos de convergencia y divergencia es bastante confusa. Con relación a los de convergencia, se cree que los centros responsables se situarían en el mesencéfalo, próximos al núcleo del III par. Se desconocen las vías de conexión existentes para que se efectúen los movimientos sincinéticos de la triada: convergencia, acomodación y miosis. Aun más, no se sabe si la divergencia es un proceso activo o pasivo por relajación de la función de convergencia. **Mays (1984)** describió en el mono un grupo neuronal próximo al núcleo del III par, cuya

estimulación provoca movimientos divergentes.

Organización nuclear y de sus nervios

III par craneal (*nervium oculomotorius* o **nervio motor ocular común**)

El núcleo del III par está constituido por un complejo de grupos celulares. Este conjunto, de 5 a 6 mm de largo, está situado en la porción superior del pedúnculo cerebral (mesencéfalo), a la altura del tubérculo cuadrigémino anterior (colículo superior). Próximo a la línea media, queda muy cerca del núcleo del lado opuesto. Se relaciona por delante con la *cintilla longitudinal posterior (CLP)* o *fascículo longitudinal mediano (FLM)* y el núcleo rojo; por detrás con el acueducto de Silvio; por fuera con la cinta de Reil; y por abajo con el núcleo del IV par.



Corte horizontal del pedúnculo cerebral (parte alta) pasando por el núcleo del III par.

Con sus estudios, **Roger Warwick (1953)**, indicó que la agrupación de células que componen el núcleo del III par presenta situación dorso-ventral (Figura 42). El grupo que inerva el elevador del párpado (*núcleo caudal central*), ostenta un solo núcleo central válido para los dos lados. De esta agrupación, los que aportan inervación al recto medio,

recto inferior y oblicuo inferior, son pares y emiten fibras directas. El otro grupo que inerva el recto superior manda fibras cruzadas que “se dirigen al músculo contralateral”.

Los dos núcleos pares de Edinger-Westphal, son estaciones parasimpáticas, responsables de la motilidad intrínseca (pupila

y músculo ciliar).

El *núcleo central de Perlia*, a juicio de **Warwick**, no representa el centro de la convergencia. Es inconstante, impar, asienta en la línea media y sus límites son imprecisos. La naturaleza del *núcleo de Perlia* y su función es discutida en la actualidad.



Figura 42. Corte longitudinal del tronco del encéfalo.

Asiento de los núcleos del III, IV, VI y VII pares craneales. Fascículo longitudinal mediano (FLM). Formación reticulada paramediana de la protuberancia (FRPP).

El III par, el más voluminoso de los tres pares craneales, en su porción fascicular, después de atravesar la cintilla longitudinal posterior y el núcleo rojo, emerge ventralmente de la porción mediana del pedúnculo cerebral, en la fosa interpeduncular (*fosa intercruralis*), e inmediatamente por encima de la protuberancia, entre la arteria cerebral posterior por encima y la arteria cerebelosa superior por debajo. Se dirige adelante y afuera, avanza junto a la clinoides posterior, y entra por la porción más externa del techo del seno cavernoso, cruzando este lago por el espesor de su pared lateral (Figura 44). En este trayecto las fibras irido-constrictivas están ubicadas en la parte superior del nervio, siendo las más vulnerables a la agresión temporal. Al sobrepasar las clinoides

anteriores, el nervio se divide en dos ramas terminales: superior e inferior. Penetra en la órbita a través del agujero de Zinn, por su lado interno, junto con el VI par, el nervio nasal y el simpático. La rama superior del III par inerva el recto superior y el elevador del párpado. La rama inferior inerva el recto medio, el recto inferior, el oblicuo inferior, emitiendo, de la derivación a este último, un ramo con fibras parasimpáticas que se dirigen al ganglio ciliar. El motor ocular común lleva, pues, fibras motoras somáticas destinadas a músculos extrínsecos y fibras motoras viscerales parasimpáticas que se dirigen al músculo ciliar y al esfínter del iris. La inervación muscular se introduce en las masas musculares, desde el lado intraconal, en la unión del tercio posterior con el tercio medio de músculo.

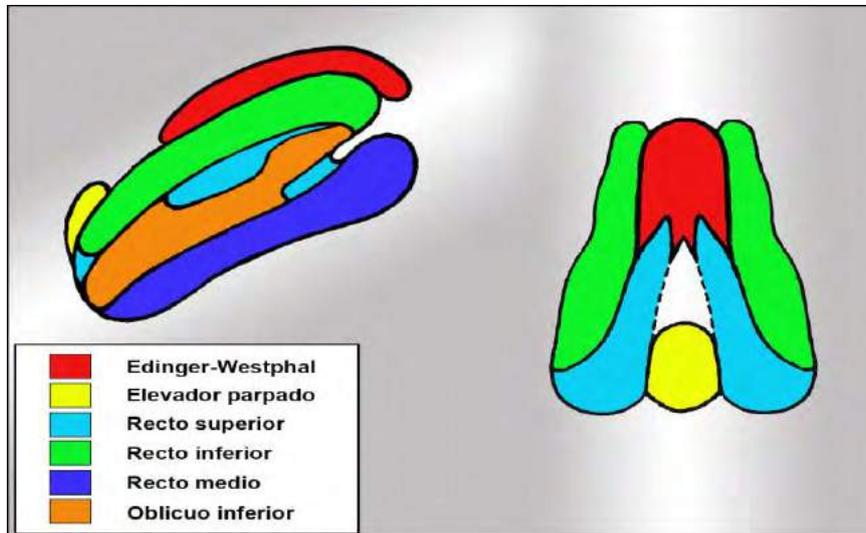


Figura 43. Núcleos del III par, según Roger Warwick (1953).

IV Par craneal (nervium trochlearis o nervio patético)

El núcleo de IV par, oval de forma y en situación paramediana, se encuentra en el mesencéfalo, algo por debajo del núcleo del III par, a la altura del polo superior del tubérculo cuadrigémino posterior (colículo inferior), del que lo separa el locus ceruleus. A este nivel, sus próximos horizontales son: por dentro, el acueducto de Silvio; por delante la *cintilla longitudinal posterior (CLP)* o *fascículo longitudinal mediano (FLM)*; por fuera la *cinta de Reil*.

A partir del núcleo, las fibras radicales se dirigen hacia atrás, curvándose hacia abajo (rama descendente del IV par). En este corto trayecto mesencefálico terminan cruzándose con las del lado opuesto, bordeando el acueducto de Silvio, para, finalmente, emerger del tronco del encéfalo

por su cara dorsal, inmediatamente por debajo del tubérculo cuadrigémino posterior (colículo inferior). En virtud de esta decusación cada núcleo inerva el músculo oblicuo superior contralateral.

El nervio patético, que es el más delgado y largo de los tres pares craneales que comandan la motilidad ocular, desde su salida rodea el pedúnculo cerebral en su andar hacia el lago cavernoso. Entra en él, ocupando posición superior en relación al resto de las estructuras que van por este trayecto, caminando hacia adelante por la pared lateral del seno cavernoso (Figura 44), debajo del III par. Finalmente, se introduce en la órbita a través de la hendidura esfenoidal, junto con el nervio frontal, el nervio lagrimal, ramos de la meníngea media y la vena oftálmica superior.

Ya en el interior de la órbita, se sitúa cerca del techo de la misma y por encima del elevador del párpado. Se dirige hacia adentro

y adelante inervando el oblicuo superior a través de varios filetes nerviosos que se introducen en él, en el límite de su tercio

posterior, desde fuera del embudo muscular, introduciéndose por la cara externa del músculo.

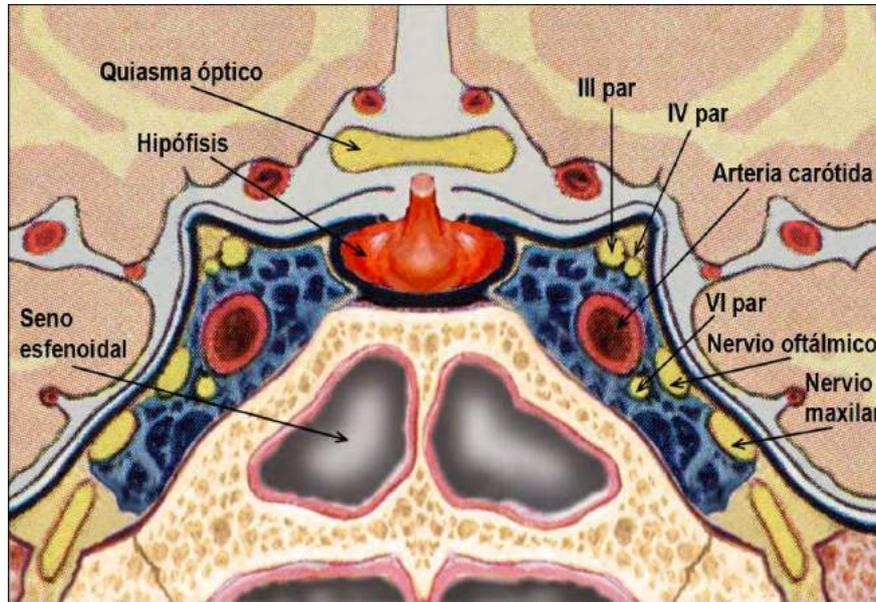


Figura 44. Seno cavernoso.

VI Par craneal (nervium abducens o motor ocular externo)

El núcleo del VI par, de 2 mm de ancho por 4 mm de alto, ocupa posición paramediana. Situado por delante de la eminencia teres, en la porción dorsal de la calota protuberancial, parte inferior de la protuberancia, bajo el suelo del IV ventrículo, y dentro de la *rodilla del facial* (VII par), que le envuelve y mantiene con él gran relación. Le separa del rafe medio la *cinilla longitudinal posterior (CLP)* o *fascículo longitudinal mediano (FLM)*. Por fuera de él se encuentran los núcleos vestibulares.

De este núcleo parten las fibras radicales, dirigidas hacia adelante, abajo y afuera. Camina entre la cinta de Reil por dentro y el núcleo del facial por fuera, atravesando las vías ponto-cerebelosas y el fascículo piramidal, para salir del tronco a nivel del sillón bulbo-protuberancial, por dentro de la emergencia del VII par.

A partir de aquí, comienza su largo recorrido intracraneano. Pasa por encima del extremo de la porción petrosa del temporal, sujeto a este nivel por el ligamento de Gruber. Dan fe de esta proximidad las frecuentes parálisis del VI en fracturas del peñasco. A nivel del *dorsum sellae* atraviesa la duramadre para introducirse en el seno cavernoso (Figura 44).

En esta cavidad anfractuosa, ocupada en su totalidad por sangre venosa, mantiene estrecha relación con la cara externa de la carótida interna, caminando junto a ella en el interior del seno. Al final, entra en la órbita por el anillo de Zinn, junto a las ramas superior e inferior del III par, vena oftálmica media, nervio nasal o nasociliar y raíz simpática del ganglio oftálmico.

Dentro de la órbita, su trayecto es pequeño porque enseguida encuentra la cara profunda del recto lateral, y, penetrando en ella, inerva este músculo.

MANTENIMIENTO DE LOS OJOS SOBRE EL ESTIMULO

Posiblemente la estática ocular, expresada con el redundante nombre de fijación estática, cuya misión es mantener la fijación estabilizando sobre ambas fóveas el objeto motivo de atención, es una de las formas menos estáticas y más complejas del sistema motor ocular, en razón de la intensa coordinación que ha de tener con el resto de movimientos oculares de versión y disyuntivos y, muy particularmente, con el tono muscular de base o, utilizando el vocablo de Quéré, el tono oculogiro, que mantiene el equilibrio de nuestros ojos.

La estabilidad de la fijación se consigue a partir de contracciones musculares tónicas y de una serie de movimientos correctores y reflejos de rotación secundarios a movimientos cefálicos.

La estática ocular, lejos de tratarse de cese de actividad neuronal, es un fenómeno activo que tiene como finalidad la estabilización de la fijación sobre las áreas de mayor poder estructural: las fóveas. La central generadora se encuentra en la *Formación Reticulada Paramediana de la Protuberancia (FRPP)*. Esta actividad de la "inactividad" es ayudada por la atención.

Fisiológicamente, el sistema se altera durante el sueño, donde aparecen movimientos anormales en los ojos.

En patología, la alteración del sistema optoestático da lugar al nistagmo y a determinados movimientos oculares anómalos.

SISTEMA SENSITIVO VISUAL

La dirección postural mantiene su estatus merced a varios órganos, todos ellos inter-relacionados. Participan en su funcionamiento los siguientes sistemas: sensorial-visual, vestíbulo-ocular, y propioceptivo de los músculos del eje del cuerpo, sensitivo plantar y propioceptivo de la

musculatura ocular extrínseca (sensitivo visual). La organización postural es de formación muy primitiva, dado que la vía vestibular es la más antigua y primera vía sensorial en formarse, con intensa participación activa en la regulación de los movimientos oculares relacionados con la cabeza y orientación espacial. Así mismo, la regulación postural compensa la posición de la cabeza con relación al cuerpo a través de los músculos del cuello y la del propio cuerpo.

En este apartado del Sistema Sensitivo Visual, vamos a considerar específicamente el estudio de los centros receptivos sensoriales con función controladora del gobierno postural en el ámbito de la musculatura extrínseca ocular.

Los tres pisos de **John Hughlings Jackson (1835-1911)**, en este sistema sensitivo visual relacionado con la motilidad ocular, estarían constituidos por: una *estación periférica* formada por los receptores propioceptivos, una *estación intermedia* situada a nivel del mesencéfalo, donde se ubica el núcleo del V par craneal, y una *estación central* a nivel del córtex (área 17 y 18 de Brodmann).

Estas tres estaciones, como diremos después, se hallan conectadas entre sí y con otros sistemas y centros integrados en el sistema óculo-motor.

Aporta información aferente en materia de tensión y longitud sobre la localización de la musculatura ocular extrínseca. De esta manera, las neuronas motoras pueden ejercitar su trabajo compensador. Según **Steinbach y Smith (1981)**, parece situarse en pequeños receptores sensoriales localizados en los músculos oculares, que se denominan *extremos en empalizada*. Sería ésta la *estación periférica* que aportaría información sobre la localización de la musculatura extrínseca ocular.

Las fibras de la estación periférica se cree caminan por la rama oftálmica del V par hasta llegar a su núcleo mesencefálico (*estación intermedia*).

Esta *estación intermedia* presenta conexiones con: el tálamo, el cerebelo y la sustancia reticulada del mesencéfalo.

SISTEMA AUTÓNOMO

Las dos funciones esenciales de esta organización son: pupilar y acomodativa.

Este sistema, constituido por dos direcciones antagónicas entre sí: parasimpático y simpático, controla la motilidad intrínseca.

I) FUNCIÓN PUPILAR

La pupila o “niña”, es la abertura circular situada en el centro aproximado del iris, con diámetro de 2 a 8 mm según el nivel de iluminación ambiente. Ambas pupilas son sensiblemente iguales (isocoria). Se contraen con la luz y se dilatan en la oscuridad. A modo de diafragma, similar a los utilizados en aparatos de fotografía, permiten, limitan y regulan la entrada de luz en el globo ocular, consiguiendo que su paso se haga por el lugar más adecuado del aparato dióptrico ocular evitando las aberraciones de la periferia de los sistemas ópticos oculares, articulando, además, la profundidad de campo.

El diámetro pupilar está influenciado no sólo por la función visual (*reflejo fotomotor, reacción a la visión próxima, reacción de Pilz-Westphal y reacción de Tournay*), sino también por otros factores vinculados a la esfera sensitiva y psíquica. El diámetro pupilar es un estesiómetro indicativo del estado de inhibición supranuclear mesencefálica. La fatiga, el adormecimiento o la anestesia general provocan miosis por desinhibición central mesencefálica. El *reflejo de atención de Haab* es una de sus mejores expresiones.

También hay que recordar el influjo que sobre él tienen determinadas sustancias fármaco-dinámicas, y no olvidemos la

disminución progresiva de su tamaño con la edad.

La función de la pupila queda asegurada gracias a dos músculos de acción antagónica: el esfínter del iris (inervado por el parasimpático), cuya contracción entrafia su cierre, y el dilatador del iris (inervado por el simpático) con función de apertura.

Reflejo fotomotor. Vía aferente, centro pupilar y vía eferente.

El sabio persa, **Al-Razi (865-925)** en su obra póstuma *El Hawj*, recopilada por sus discípulos, describió por vez primera el reflejo fotomotor.

Esta vía (Figura 45) tiene su comienzo en la retina, con participación de los fotorreceptores de la retina central y de la periférica, las células bipolares y las ganglionares. Hoy existe acuerdo en que los fotorreceptores y las células bipolares que transmiten el reflejo pupilar, son las mismas que se responsabilizan de la visión. Pero se presume que no ocurre lo mismo con las células ganglionares, creyendo que es un tipo distinto y en menor número las que se encargan de la transmisión del reflejo fotomotor al mesencéfalo.

Desde la propia retina, los axones de las células ganglionares responsables del reflejo fotomotor se separan del resto de los axones que transmiten la percepción visual a nivel de la porción más distal de la cintilla óptica, inmediatamente antes de arribar al cuerpo geniculado externo. Desde aquí, por el brazo del colículo superior llegan al mesencéfalo superior para conectar con neuronas del *núcleo pretectal de la oliva*.

Las neuronas del *núcleo pretectal de la oliva* mandan fibras directas (no decusadas) y, también, fibras cruzadas caminando dorsalmente hacia el acueducto de Silvio por la comisura posterior, a los dos *núcleos de Edinger-Westphal* (derecho e izquierdo). De este modo, los impulsos de cada cintilla óptica llegan a ambos núcleos del III par. Así se explica la bilateralidad del reflejo pupilar

fotomotor cuando iluminamos solo un ojo (reflejo consensual o reflejo fotomotor indirecto).

A los *núcleos de Edinger-Westphal*, desde la corteza occipital, también les llegan directamente fibras que no han estacionado en los *núcleos pretectales*. Son fibras que intervienen en el reflejo pupilar a la visión próxima. Así se explicaría que ambos tipos de reflejos (a los estímulos luminosos y a la reacción de proximidad) puedan estar disociados en determinadas lesiones. Como la vía supranuclear que origina la respuesta pupilar a la reacción de proximidad cruza el mesencéfalo por su porción anterior, y la del reflejo fotomotor lo hace por su porción dorsal, la alteración que afecte a esta última puede lesionar el reflejo pupilar a la luz y no afectar al de la visión cercana. Dicho de otro modo: puede existir disociación de ambos.

Desde el *núcleo de Edinger-Westphal*, parten los axones parasimpáticos de la vía pupilar eferente vinculados al III par. Salen del mesencéfalo por la fosa interpeduncular a través del espacio subaracnoideo. Las fibras pupilares a este nivel ocupan un lugar superior y mediano muy superficial en el nervio, que las hace especialmente vulnerables a la compresión, muy particularmente a los aneurismas de la arteria comunicante posterior. Después de atravesar

el seno cavernoso, y ya en la proximidad de la hendidura esfenooidal, el nervio motor ocular común se divide en dos ramas (superior e inferior) que se dirigen a la órbita. La vía parasimpática sigue la rama inferior que lleva ramos destinados al recto interno, recto inferior y oblicuo inferior. Este último ramo contiene las fibras parasimpáticas que, separándose del mismo, constituye la *raíz corta (motora) del ganglio ciliar (ganglio parasimpático)*, con el que conecta por su polo postero-inferior haciendo sinapsis las fibras a nivel de este ganglio.

El *ganglio ciliar*, de diámetro aproximado a 1,5 mm, se encuentra en la cara externa del nervio óptico y adherido a él, a unos 15 mm del polo posterior del globo ocular.

Del borde anterior del *ganglio ciliar* parten los *nervios ciliares cortos*, que, en número variable, se disponen en torno al nervio óptico para terminar introduciéndose a través de la esclera cerca del nervio y en derredor del mismo. Caminan por el espacio supracoroideo de atrás adelante, uniéndose entre ellos formando un plexo extenso. En su porción más anterior se anastomosan con los dos nervios ciliares largos para constituir el plexo ciliar, situado en el cuerpo ciliar. De este plexo parten ramos con destino a la córnea, iris y cuerpo ciliar.

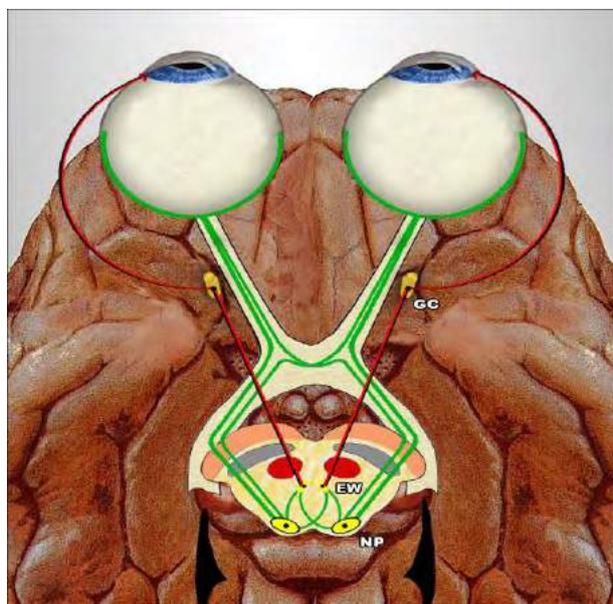


Figura 45. Vía del reflejo fotomotor.

NP (núcleo pretectal). EW (núcleo de Edinger-Westphal). GC (ganglio ciliar).

Reacción pupilar a la visión próxima

La “*triada proximal*” se conoce como la reacción que provoca el paso de la fijación del objeto lejano a otro cercano, con resultado de: *convergencia, acomodación y miosis*.

Clásicamente estas tres funciones se han considerado dependientes entre sí, hasta el extremo de estar considerada la “*triada proximal*” como una *sincinesia*. Sin embargo, se ha podido comprobar que estas tres funciones se pueden desligar entre sí. Así, la convergencia podemos desencadenarla con prismas (vergencias prismáticas) sin afectar a la acomodación ni a la contracción pupilar. Y, también, es posible despertar acomodación con lentes esféricas sin que la convergencia se altere, ni actúe el músculo constrictor de la pupila. Significa que las tres funciones están

asociadas y sincronizadas pero no vinculadas entre sí hasta el extremo de transformarse todo el conjunto en movimiento reflejo. Cualquiera de estas tres funciones es posible ser provocada sin la presencia de las otras dos (Loewenfeld, 1993).

Randy Kardon (2004) en “ADLER Fisiología del ojo” pág. 720 dice: “... al contrario de lo afirmado en gran parte de la literatura acerca de la dependencia exclusiva de la contracción pupilar de la acomodación o de la convergencia, los datos clínicos y experimentales indican que cualquiera de estas tres funciones pueden abolirse o desligarse sin afectar a las otras, resultando el acuerdo general de que los impulsos que originan la acomodación, la convergencia y la contracción pupilar deben generarse a partir de grupos celulares distintos en el núcleo óculo-motor...”

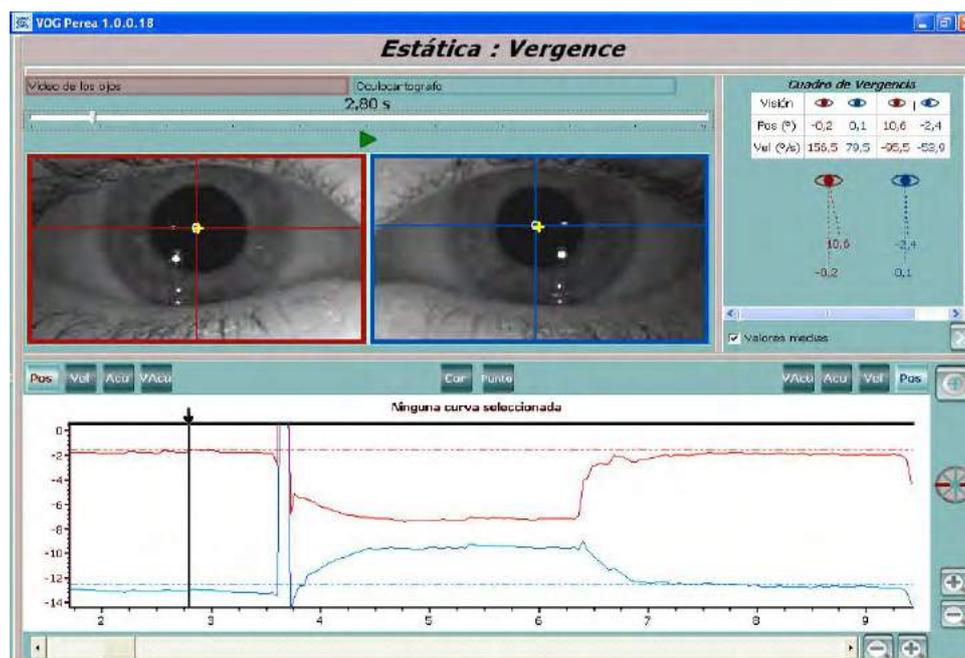


Figura 46-a. **Sincinesia convergencia miosis.**

El paciente está fijando el estímulo a un metro (instante 2,80s). Obsérvese en el Oculoscopio el estado pupilar. En el Oculógrafo se observa que el movimiento de convergencia no ha iniciado.

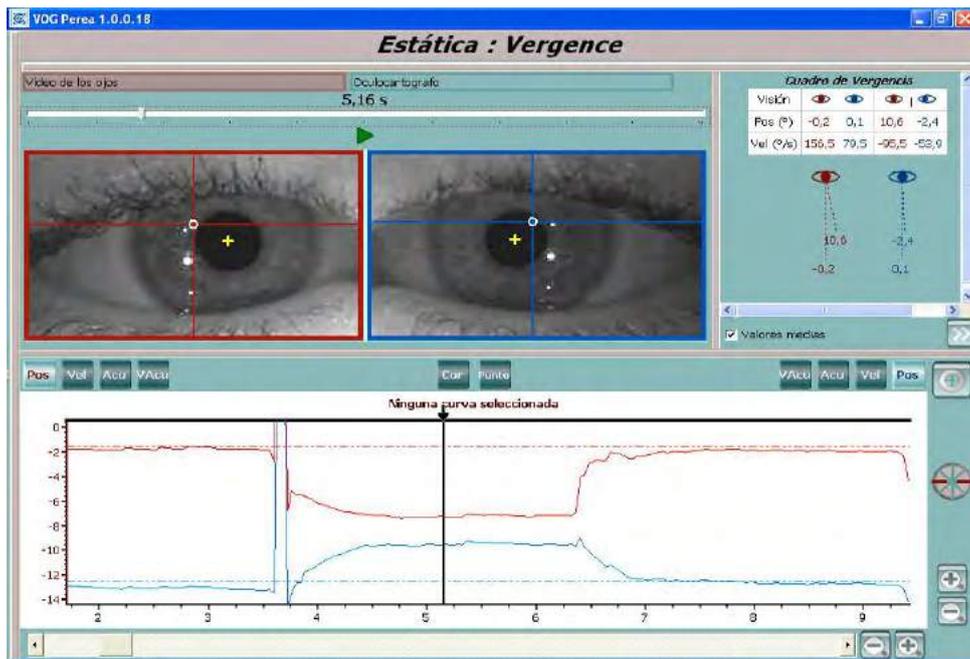


Figura 46-b. Sincinesia convergencia miosis.

Paciente de la Figura 46-a. En este instante (5,16s) ha realizado el movimiento de convergencia, como se ve en el Oculoscopio y en el Oculógrafo. Obsérvese la disminución del diámetro pupilar.

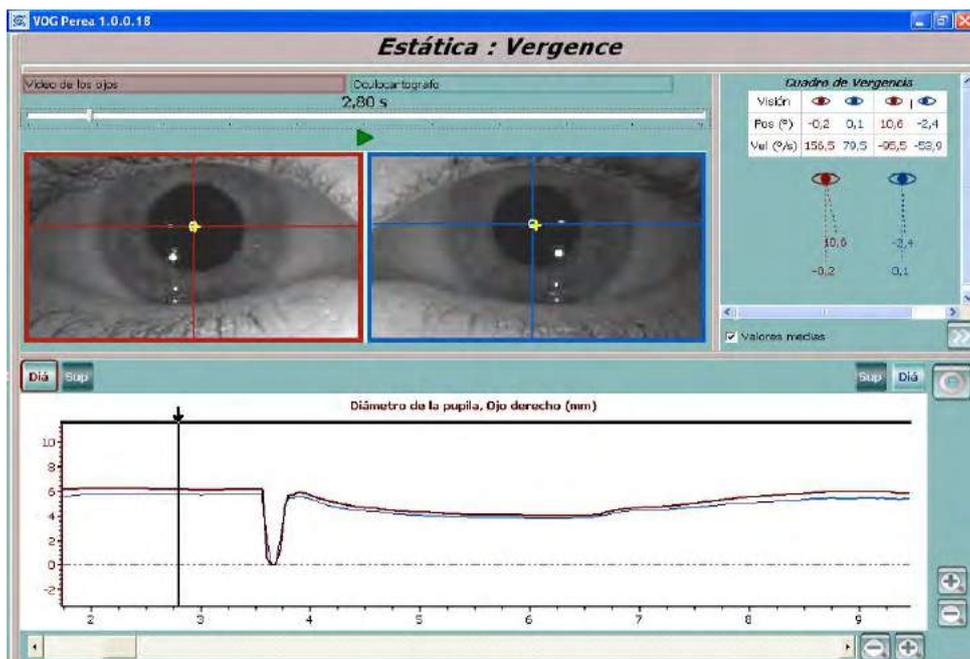


Figura 46-c. Sincinesia convergencia miosis.

Mismo paciente de la Figura 39-a y mismo instante de la prueba. Lo que se ha variado es la gráfica del Oculógrafo, en la que ahora se muestra el estado pupilar y el cambio que va experimentar en convergencia.

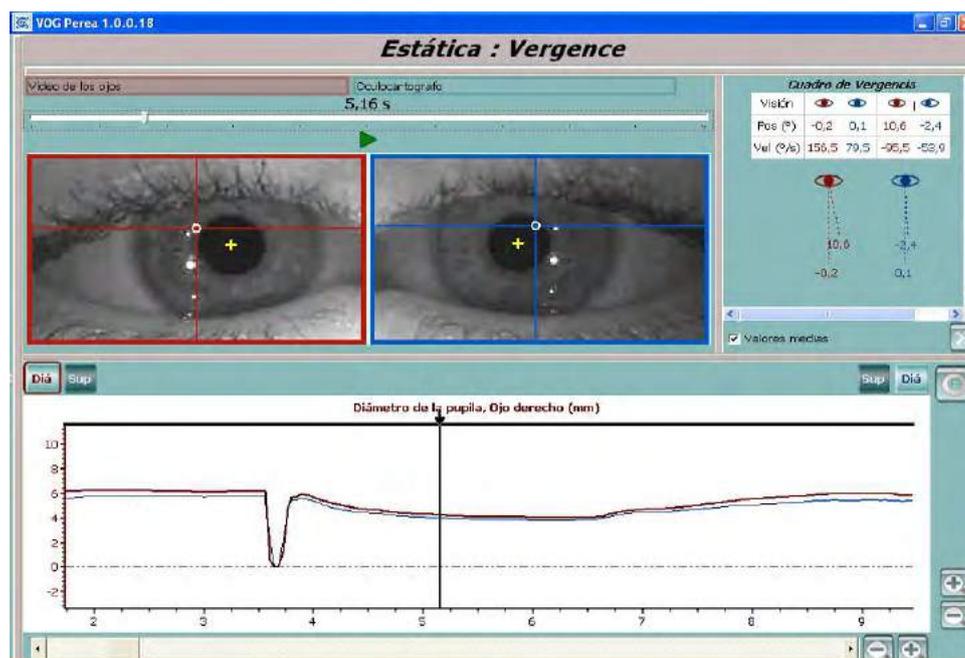


Figura 46-d. Sincinesia convergencia miosis.

Mismo paciente de las tres figuras anteriores y mismo instante de la Figura 39-b, apreciándose en el Oculógrafo la disminución de ambos diámetros pupilares al realizar la convergencia. Queda demostrada la relación convergencia-miosis.

La reacción miótica se inicia a 40 cm y el máximo se consigue a 10 cm. Siempre es bilateral, aunque por insuficiencia de convergencia la respuesta sea débil y el movimiento aductor disyuntivo lo haga solo un ojo.

La reacción pupilar a la visión próxima se produce aunque no haya acomodación (ancianos, pseudofáquicos, miopes).

El hipotético centro generador de la corteza occipital cortical responsable de esta sincinesia es desconocido. La información recorre el colículo superior para llegar a la sustancia reticulada del mesencéfalo y a los *núcleos de Edinger-Westphal* del complejo del III par. Se admite la distinción de la vía aferente supranuclear de ambas respuestas, que discurriendo desde la corteza hasta el núcleo del III par cruza el mesencéfalo por su porción anterior la responsable de la reacción de proximidad, y por su espacio dorsal la del reflejo fotomotor. Ambas totalmente disociadas. Sin embargo, se cree que la vía eferente por la que discurre la respuesta miótica desde el núcleo del III par (núcleo de

Edinger-Westphal) hasta el músculo constrictor de la pupila (esfínter del iris), pasando por el ganglio ciliar, es común para el reflejo fotomotor y el de reacción proximal.

De este modo, puede darse un enfermo con patología que haya destruido la reacción pupilar a la luz pero mantenga intacta la reacción pupilar a la visión próxima (pupila de Argyll Robertson) y lo contrario (pupila que se contrae con la luz y se mantiene inalterada con la fijación cercana).

Dilatación pupilar e inervación simpática

Para que la pupila se dilate, es preciso que se produzca, por una parte, relajación del músculo constrictor y, al tiempo, que se contraiga el músculo dilatador del iris.

El *núcleo de Edinger-Westphal*, en momentos de vigilia, mantiene inhibición fisiológica procedente del sistema nervioso central, que, de forma permanente, está dispuesta a relajar el esfínter pupilar y dilatar

la pupila. Cualquier estímulo lumínico es capaz de desencadenar el reflejo fotomotor anulando esta inhibición, que es controlada y modificada permanentemente en mayor o menor grado según la cantidad de luz ambiental que exista. Así pues, como decíamos, durante el sueño, que no existe esta inhibición central, las pupilas son mióticas.

En los momentos en que el individuo está alerta, existe proceso de rivalidad permanente entre estos dos músculos antagonicos: constrictor y dilatador de la pupila. La luz, de manera especial, es el estimulante capaz de poder vencer la inhibición supranuclear fisiológica que actúa sobre el *núcleo de Edinger-Westphal*.

La inervación simpática del músculo dilatador de la pupila corre a cargo de tres neuronas, que tienen la particularidad de no cruzar jamás la línea media en todo su largo recorrido. Cualquier proceso, fuere a nivel que fuere, siempre dará síntomas homolaterales.

Esta cadena trineuronal (Figura 47) tiene origen en el hipotálamo, donde se

encuentra la *primera neurona*, que desciende en el eje cerebral a través de la calota mesencefálica y protuberancial hasta llegar a la parte lateral de la médula espinal a nivel de la octava raíz cervical y dos primeras dorsales, donde hace sinapsis en el *centro cilioespinal de Budge y Waller (segunda neurona)*. A partir de aquí, las fibras pasan por las raíces C7, C8, D1 y D2, entran en la cadena simpática paravertebral, donde mantiene relación estrecha con la pleura del vértice pulmonar. Atraviesa la cadena simpática cervical, situada muy profunda en la región laterovertebral del cuello, para terminar realizando sinapsis en el *ganglio cervical superior*, situado a nivel del lugar donde la carótida se bifurca (*tercera neurona*). Desde ésta, acompaña a la carótida interna a nivel del seno cavernoso, manteniendo, en este lugar, relaciones con las estructuras contenidas en el mismo, particularmente con el V y el VI par.

Los ramos simpáticos, siguen el nervio oftálmico de Willis, el nervio nasal y, a través de los nervios ciliares largos, llegan al músculo dilatador del iris.

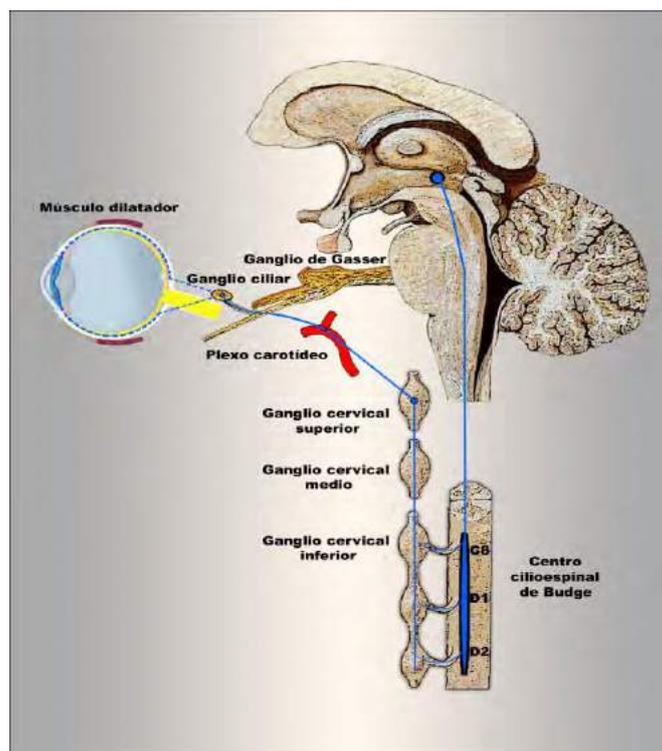


Figura 47. Inervación simpática de la pupila.

II) FUNCIÓN ACOMODATIVA

Por *acomodación* se entiende la capacidad que tiene el ojo de cambiar dinámicamente su poder dióptrico total (64D) a expensas de la potencia refractiva cristaliniiana (21D), haciendo que la imagen del objeto mirado se forme enfocada en la retina, aun variándolo en distancia. Es, pues, un cambio activo del poder dióptrico del ojo, por el “*deseo de ver bien*” (*demanda del conocimiento* de **Donders, 1864**), que permite percibir de modo nítido objetos próximos y lejanos. **Edmond Landolt (1902)** la denominó “*refracción dinámica*”.

Esta posibilidad de ver con precisión a diferentes distancias, fue explicada en sus primeros momentos bajo el punto de vista *psicológico* a través de la “*atención*”, sobre la base de la toma de conciencia psíquica alternativa de lo que es “*lejos*” y “*cerca*”. El jesuita **Christopher Scheiner (1619)** demostró que la función acomodativa no era simple *ilusión óptica* sino un auténtico fenómeno físico de la marcha de los rayos luminosos a través de los medios dióptricos del ojo.

A **René Descartes (1677)** debemos el mérito de atribuir al cristalino, por vez primera, la importancia de ser el órgano responsable de la *acomodación*. Después fue demostrado por el profesor de física de la *Royal Institution* británica, **Thomas Young (1801)**.

Sería injusto pasar por alto los nombres de **Crampton, Müller, Hess, Helmholtz, Tscherning, Gullstrand, Sinclair, Fincham y Henderson**. Todos ellos, científicos de primera línea, han protagonizado las investigaciones y diversas teorías que han tratado de explicar el mecanismo íntimo de la función acomodativa.

El poder dióptrico del cristalino aumenta progresivamente con la *acomodación*, permitiendo, a través de la contracción del músculo ciliar, la secundaria liberación de la tensión zonular a nivel del ecuador cristaliniiano y, también, con el redondeamiento de la lente al incrementar la curvatura de sus superficies anterior y

posterior, modificar el enfoque desde el infinito, lugar en que el ojo emétrope tiene la acomodación relajada hasta esa distancia más o menos próxima en que se hará precisa. De esta manera, en el individuo normal la imagen del objeto fijado recaerá siempre en la retina. Por *infinito* se considera, a fines prácticos, la distancia a partir de seis metros.

He dado a entender que en *posición de reposo*, o sea, desde el *infinito* hasta seis metros, la *acomodación* no actúa. Esto no es rigurosamente cierto, ya que a estas distancias existe una acomodación residual tónica de 1,5 dioptrías (*acomodación tónica*).

La adaptación de la visión en profundidad mediante la *acomodación* o *propiedad de enfoque* del ojo no es proceso simple sino complejo mecanismo lleno de incógnitas. En él participan, además de la *acomodación*, la *convergencia* de los ejes oculares, permitiéndose fusionar las dos imágenes retinianas y la *variación del tamaño pupilar* (miosis), que elimina aberraciones esféricas cristaliniianas y contribuye a mejorar la profundidad de foco. Estas funciones de *acomodación*, *convergencia* y *miosis* forman la “*triada sincinética*” llamada *reflejo proximal*, *triada proximal*, *triada de la acomodación*, *reacción al punto próximo* o *reflejo de cercanía*. En él toman parte nervios óculo-motores y el sistema nervioso autónomo, para contraer la pupila, cambiar la forma del cristalino y realizar el movimiento disyuntivo de los globos oculares (vergencia). Este triple reflejo se desencadena tanto por el estímulo acomodativo como por el estímulo de convergencia. El inductor estimulante acomodativo es la visión borrosa, que, artificialmente, podemos provocar miopizando al paciente con un lente negativo. El inductor estimulante vergencial es la disparidad retiniana, que, también, podemos inducir con un prisma de base externa.

La contracción pupilar al mirar un objeto próximo fue observada por primera vez por **Christophern Scheiner** en **1619**.

Manuel Márquez (1924) mantuvo la tesis de que la contracción pupilar se debe a la *acomodación* y no a la *convergencia*.

La *acomodación* está sometida a regulación nerviosa, que, a través de mecanismos neurológicos desconocidos, da lugar a que la zónula se relaje como consecuencia de la contracción del músculo ciliar. En principio, se podría aceptar que la *acomodación* está bajo dependencia del antagonismo recíproco existente entre los sistemas parasimpático y simpático.

La *acomodación* se considera acto reflejo con estímulo de partida en una imagen borrosa de la retina, que a través de la vía óptica, tras su parada en el cuerpo geniculado lateral, llega a la corteza visual. También, como acto voluntario de querer mirar y ver con nitidez el objeto cercano. De este modo, el control superior estaría situado en la corteza occipital y en los centros frontales. Se ha especulado sobre la existencia de un centro mesencefálico, aunque sin constatación anatómica.

El reflejo inductor de la acomodación parte del centro de la retina. *Solo el área más central (fóvea) puede desencadenarlo.*

Llegado el estímulo al área 17 del lóbulo occipital, y establecidas relaciones con las áreas 18, 19 y 22, parte la vía occipito-mesencefálica hacia los centros de coordinación del techo y del diencefalo para arribar al núcleo del III par: núcleo de Edinger Westphal y núcleo del recto medio.

De lo que se posee mayor conocimiento es de la vía final que preside la contracción pupilar, tanto la inducida por luz como por acomodación-convergencia. Se supone demostrado, a través de consideraciones clínicas y farmacológicas, que en la inervación del músculo ciliar y de la pupila participa el sistema autónomo vegetativo. Parece unánimemente admitido que el centro de comando corresponde a un núcleo par y simétrico ubicado en la parte anterior del grupo complejo del III par, llamado de *Edinger-Westphal*. La vía eferente, constituida por axones parasimpáticos, se unen al motor ocular común que emerge del mesencéfalo y camina por el espacio subaracnoideo, atraviesa el seno cavernoso y cerca de la hendidura esfenoidal da dos ramas, superior e inferior, buscando su

destino orbitario. La vía parasimpática camina con la rama inferior, destinada a inervar el recto medio, recto inferior y oblicuo inferior. Este último ramo transporta las ramas parasimpáticas, que, separándose de éste, van a formar la *raíz corta motora* del ganglio ciliar, en el que se introducen por su polo posterior para aquí hacer sinapsis. De la porción anterior del ganglio ciliar arrancan los nervios ciliares cortos, que son fibras mielinizadas que se introducen en la esclera alrededor del nervio óptico. Caminan por el espacio supracoroideo de atrás adelante hasta llegar al músculo ciliar y al esfínter de la pupila. El músculo ciliar recibe treinta veces más inervación que el iris.

También sabemos que el sistema simpático está formado por una cadena trineuronal, que no se decusa en todo su trayecto, y cuyo origen se encuentra en el hipotálamo, donde está ubicada la *primera neurona*, que, a través de la calota mesencefálica y protuberancial, desciende hasta llegar a la parte lateral de la médula espinal a nivel de la octava raíz cervical y dos primeras dorsales, donde sinapsa en el *centro cilioespinal de Budge y Waler (segunda neurona)*. A partir de aquí, las fibras pasan las raíces C7, D8, D1 y D2, entran en la cadena simpática paravertebral donde se relacionan con la pleura del vértice pulmonar. Atraviesa la cadena simpática cervical situada muy profunda en la región laterovertebral del cuello, para terminar realizando sinapsis en el *ganglio cervical superior (tercera neurona)* ubicado a nivel del lugar donde la carótida se bifurca. Desde aquí realiza seguimiento a la carótida interna acompañándola a nivel del seno cavernoso. A este nivel mantiene contacto con las estructuras contenidas en el mismo, particularmente con el V y el VI par.

Los ramos simpáticos, siguen el nervio oftálmico de Willis, el nervio nasal y, a través de los nervios ciliares largos, generalmente en número de dos, llegan al músculo dilatador del iris.

Hay muchas posibilidades de que sistema parasimpático y simpático a nivel del músculo ciliar presente el mismo antagonismo que a nivel del iris, aunque no conocemos el

verdadero mecanismo tensor y relajador zonular.

Si analizamos los componentes de inervación en la reacción sincinética a la proximidad, los auténticos organizadores de esta función, como son: los núcleos y nervios óculo-motores, el sistema simpático y el parasimpático, nos podemos imaginar cómo se va complicando todo. Se desconoce el lugar del cerebro donde todo este conjunto se asocia para llevar a cabo el trabajo en perfecta armonía sobre elementos estructurales tan dispares.

Y para hacer más complejo el problema hemos de añadir que, aparte de la convergencia de los ejes oculares vinculada a la *acomodación*, llamada *convergencia acomodativa* (descubierta por **Müller** en **1826**), existen otros tipos de vergencias que **Ernest Edmund Maddox** describió en **1893**: la *convergencia tónica* ligada al tono vital de la musculatura extrínseca; la *convergencia fusional*, que es una vergencia binocular independiente de la *acomodación* e inducida por la disparidad retiniana para evitar la diplopía, perfeccionando a su vez el movimiento vergencial acomodativo; y la *convergencia proximal*, vergencia monocular de naturaleza psíquica, impulsada por la sensación consciente del objeto próximo.

El emétrope presenta un estado anatómico adaptado para poder ver con nitidez cuando se encuentra mirando al infinito (a partir de seis metros). Partiendo de esta distancia, para ver los objetos que se le van aproximando, precisa poner en funcionamiento el mecanismo de *acomodación*, que, merced a la contracción del músculo ciliar, va a conducir al aumento del poder óptico del cristalino para llevar la imagen a la retina.

La función acomodativa se puede realizar tanto cuando se tienen dos ojos,

como en monoftalmía. Lo más importante es que cuando un ojo acomoda, el otro también lo hace aun estando ocluido, y a la vez se producen las respuestas sincinéticas de convergencia y miosis. También es hecho constatado que el poder inductor de acomodación sincinética consensual de cada ojo puede no ser equivalente. En caso de presentar desviación ocular o anisometropía, la *acomodación* bilateral es inducida por el ojo dominante.

La *acomodación* en visión binocular parece ser de 0,5 D superior a la que existe en monocularidad.

La *acomodación* se expresa en dioptrías. El valor de la *acomodación* corresponde a la inversa de la distancia, en metros, del objeto fijado. Es decir, cuando la distancia del objeto fijado es el infinito, la cuantía de *acomodación* en dioptrías será $1/\text{infinito} = 0$; o sea, no hay *acomodación*. Cuando esta distancia es 1 m, la cantidad de la *acomodación* será $1/1 = 1\text{D}$. Si la distancia del objeto fijado es 0,50 m la acomodación precisa será $1/0,50 = 2\text{D}$. Si lo es a 33 cm, el valor de la acomodación corresponderá a $1/0,33 = 3\text{D}$.

Por *punto remoto* (R) se entiende el más alejado que el individuo puede percibir con nitidez. En el emétrope se corresponde con el infinito. El *punto próximo* (P) es el más cercano que se ve enfocado. La distancia que separa el *punto remoto* del *punto próximo* se llama recorrido de acomodación o rango de acomodación, que se expresa en metros. La inversa del recorrido de acomodación se denomina amplitud de acomodación o reserva acomodativa, que, referida en dioptrías prismáticas, traduce la diferencia entre el poder acomodativo a nivel del *punto próximo* con respecto al del *punto remoto*. La fórmula de Donders permite medirla:

$$A = 1/P - 1/R$$

Así, en el emétrope cuyo punto próximo se encontrara a 8 cm, la amplitud de acomodación sería:

$$A = 1/0,08 - 1/\text{infinito} = 12 \text{ dioptrías.}$$

En el miope cuyo punto próximo se encontrara a 30 cm y su punto remoto a 1 metro, la amplitud de acomodación sería:

$$A = 1/0,30 - 1/1 = 2 \text{ dioptrías}$$

Solamente en los primates ha sido demostrada la disminución de la función acomodativa con la edad. En el humano la *amplitud de acomodación* o *reserva acomodativa* es mayor en los niños y va disminuyendo con el tiempo. De 20 dioptrías en los emétopes muy pequeños, conserva aun 12 a 15 dioptrías a la edad de 5 años. En el cuadro de la Figura 48 se reflejan los valores aportados por **Donders** y **Duane**.

La *amplitud de acomodación* es influida por la *profundidad de campo*, la cual es dependiente del diámetro pupilar. Cuanto más pequeño es éste, mayor es la profundidad focal y en consecuencia la *reserva acomodativa*. Ciertos factores inductores de miosis, como es el envejecimiento o el nivel de iluminación, aumentan la amplitud acomodativa.

	Donders	Duane
N = 10 años	Am = 14 dt	Am = 11 dt
15	12	10,3
20	10	9,5
25	8,5	8,6
30	7	7,6
35	5,5	6,5
40	4,5	5,3
45	3,5	3,5
50	2,5	2,1
55	1,75	1,5
60	1	1,2
65	0,5	1,1
70	0,25	1,0

Figura 48. Valores de amplitud de acomodación según Donders y Duane.

No obstante, hay que advertir que es algo distinto la *reserva acomodativa* que pueda obtenerse en un momento dado al explorar al enfermo, que el valor real de la

misma para poder ser utilizada de modo más continuo y permanente. Por ejemplo, después de largo rato de lectura o del trabajo fino y delicado realizado en visión cercana.

Al llegar a la madurez de la vida hay menor capacidad para la visión próxima (*presbicia = ojo envejecido*), debido a varios factores: Por una parte, el aumento de la refringencia de los dos meniscos que abrazan al núcleo es causa de disminución del poder óptico total del cristalino, determinando hipermetropía secundaria; así mismo, por la menor deformabilidad de la lente cristalina, posiblemente debido al mero proceso de envejecimiento; y, también, por la

$$A = 12,5 - 0,2 E \quad (E \text{ representa la edad del paciente})$$

El *punto próximo*, ya referido, se va a ir alejando conforme el individuo se va haciendo mayor. La amplitud de acomodación, de modo regular, va a disminuir según van pasando los años, proceso que como comienza ya en la juventud, no tiene por qué considerarse como involutivo senil. Esta alteración fisiológica del poder acomodativo da sintomatología subjetiva cuando el individuo se percata de falta de confortabilidad para su trabajo, muy especialmente cuando ha de ir aumentando la distancia de lectura. También, como reacción de defensa necesitará aumentar la iluminación del texto, con el fin de que la pupila se contraiga y así, de esta manera, disminuyan los círculos de difusión retinianos. La presbicia no tiene otro tratamiento que la adición a su estado refractivo de lentes convexas con la potencia adecuada para llevar el *punto próximo* a la distancia precisa en la que el paciente pueda realizar adecuadamente su trabajo.

Otros signos que puede acusar el presbita es sensación de "micropsia" y dificultad para el enfoque de objetos lejanos después de haber estado tiempo mirando de cerca, costándole trabajo relajar la acomodación.

La función *convergencia acomodativa-acomodación* es compleja. La ametropía es factor de gran importancia en el síndrome estrábico, que nadie puede minimizar, aunque su papel es oscuro. Demostrado es el hecho de la influencia de la anteposición de

disminución progresiva del poder del músculo ciliar en razón de la involución esclerótica. Todo ello es causa del cuadro presbiópico expresado por el decrecer con la edad de la amplitud de acomodación al alejarse progresivamente del ojo el punto próximo.

Donders concluyó en la siguiente fórmula para determinar de modo aproximado el valor de la amplitud de la acomodación a diferentes edades:

lentes esféricas a los ojos del enfermo sobre la desviación ocular, tanto en endo como en exotropías. Pero no es menos cierto de que la mayoría de los hipermétropes no son estrábitos y de que muchas endotropías cursan con emetropía, e, incluso, miopía. Significa que aparte del defecto refractivo hay, obligatoriamente, otros desórdenes de base.

La estrecha relación entre acomodación y convergencia como mecanismo desencadenante de estrabismo fue expresada por vez primera por **Donders (1864)**.

El movimiento de vergencia íntimamente unido a la acomodación, extremadamente complejo por la añadida relación nerviosa habida entre los centros óculo-motores y el sistema nervioso autónomo que controla el juego pupilar, es medible clínicamente en determinada proporción. **Roelof (1913)** determinó el grado de convergencia que inducía una unidad de acomodación, conociéndose este fenómeno como *relación convergencia acomodativa-acomodación (relación CA/A)*. Esta relación indica el número de dioptrías prismáticas de convergencia inducida por cada dioptría esférica de acomodación utilizada.

Este hecho toma importancia en los estrabismos con incomitancia lejos-cerca. También en los de ángulo variable.

Ahora bien, la complejidad de la *relación acomodación-convergencia* se sobredimensiona al conocerse que en

cualquier movimiento de vergencia se entremezclan y complementan los diferentes tipos de vergencia: *acomodativa*, *fusional* y *proximal*. Todas ellas modulando el tono ocular básico del estado de vigilia (*vergenza tónica*). Esto hace que sea muy difícil aislarlas entre sí y saber el grado y momento en el que intervienen una y otra. Podemos descartar la *vergenza acomodativa* estudiando al presbita o al pseudofaco. Y dejar al margen la *vergenza fusional* explorando la vergencia del monoftalmo, u ocluyendo un ojo para valorar la vergencia consensual. Pero aislar cualquiera de ellas de la *vergenza proximal* y de la *vergenza tónica* es muy difícil con los procedimientos de exploración con que contamos en la actualidad, máxime cuando se ha podido comprobar por EOG y VOG que la *vergenza acomodativa* despertada por cristales esféricos y la *vergenza fusional* provocada por lentes prismáticas, motivan movimientos vergenciales muy tímidos. Sabemos por **Quére** que el movimiento de mayor calidad es el que provoca la *vergenza proximal*. La *vergenza acomodativa* y la *vergenza fusional* no son sino moduladores lentos de control y puesta a punto del resultado final.

Tanto la acomodación como la convergencia se detallan como la inversa de la

distancia de fijación expresada en metros. La unidad de medida en acomodación es la "*dioptría*". La unidad en convergencia es el "*ángulo métrico*" propuesto por **Ernest Nagel**. Definidas de esta manera ambas funciones, significa que el número de dioptrías de acomodación que hay que realizar para fijar un objeto a determinada distancia debe corresponderse al mismo número de ángulos métricos de convergencia. Ejemplo: Si el individuo fija un objeto a medio metro de distancia, la equivalencia será que acomoda (1/0,5) 2 dioptrías y converge (1/0,5) 2 ángulos métricos. Si fija a 30 centímetros, la acomodación será (1/0,3) 3 dioptrías y la convergencia (1/0,3) 3 ángulos métricos. O sea, que la *relación CA/A* debería ser siempre 1.

Sin embargo, en la práctica clínica lo que nos interesa es la *convergencia efectiva*, cuyo valor es acorde con la distancia interpupilar, siendo este valor de convergencia tanto mayor cuanto más importante fuera la distancia interocular. Se utiliza como unidad de *convergencia efectiva* la dioptría prismática, que la expresamos mediante la "*fórmula de Prentice*", donde se introduce la variante nueva de distancia interpupilar (Di):

$$C = Di \times D$$

(En la que **C** es convergencia, **Di** es distancia interpupilar en centímetros, y **D** distancia de fijación en metros, expresada en dioptrías).

(Este tema queda ampliado en el capítulo de Fisiopatología).

RESUMEN FUNCIONAL DEL APARATO MOTOR OCULAR

Son hechos demostrados anatómicamente:

1. Que las estructuras que conforman el sistema óculo-motor son parecidas a las de los sistemas motores espinales. Tal vez más

diferenciadas. Lo normal es pensar que su funcionamiento es similar.

2. Sabemos de la existencia de:

a) Areas centrales generadoras de impulsos motores en el cerebro, susceptibles de inducir desplazamientos oculares en tal o cual dirección. Estos generadores corticales

están situados: a) Frontal (para movimientos de tipo voluntario), b) Occipital (para movimientos ópticamente inducidos), y c) Centros compensatorios posturales de naturaleza refleja dependientes del VIII par craneal).

b) Centros de mirada (horizontal y vertical) a nivel del tronco del encéfalo, con sentimiento más funcional que de estructura anatómica con límites definidos histológicamente.

c) Núcleos de origen del III, IV y VI pares craneales en el tronco del encéfalo.

d) Nervios óculo-motores, que partiendo de estos núcleos se dirigen a la órbita a inervar la musculatura extrínseca ocular.

e) Menos demostrado anatómicamente es el trayecto de las vías cortico-mesencefálicas de naturaleza motora y de las procedentes de los núcleos vestibulares, cuya finalidad es la animación muscular.

DUDAS

1. Habitualmente se nos explica la vía nerviosa que provoca la contracción de la pareja muscular que de modo sinérgico ejecuta el movimiento bi-ocular de versión, pero no se nos dice cosa alguna sobre la vía que, a su vez, lógicamente tiene que existir para inhibir a los músculos antagonistas de aquellos, de acuerdo con la **Ley de Sherrington**. La acción sinérgica parece evidente, pero ¿cómo explicar fisiológicamente la inhibitoria antagónica y a qué nivel se hace?

Ahora bien, el problema es más complejo, pues en razón de las diferentes acciones que cada músculo tiene, primarias, secundarias y terciarias, en virtud de la posición que en cada momento tienen los globos oculares, significaría que permanentemente todos los

músculos oculares de una u otra forma estarían implicados al modificarse sus condiciones inervacionales. Todo ello supondría una complejidad impresionante de vías de interconexión. La gran duda está en saber a qué nivel se llevan a cabo los cambios de información.

2. Cualquier movimiento ejecutado por una pareja muscular, con inhibición de los músculos antagonistas, en razón de sus acciones primarias y secundarias tiene por necesidad que dejarse sentir sobre el resto de la musculatura extrínseca. ¿De qué forma se hace?

3. Cuando desde un centro superior se manda el impulso efector a través de la vía nerviosa a determinado grupo muscular, debe existir otra vía centrípeta que desde el músculo devuelva al centro generador la información del efecto logrado, cerrando de esta manera el circuito (**Lorente de No**).

Este retorno del efecto conseguido regula así mismo la actividad con el fin de encontrar un estado de equilibrio. Entramos, de esta manera, en el concepto de *unidad autorregulada*. Esta acción y efecto autorregulador atañe a la *contracción* y al *tono* muscular. Al movimiento y a la quietud. Al equilibrio conjugado (versiones y vergencias) y al equilibrio recíproco (bi-ocular).

4. Con relación al efecto autorregulador, lo normal es que se haga tanto a nivel horizontal en cada uno de los pisos neurológicos de **Jackson**, como en sentido vertical ascendente. En lo que respecta a la regulación horizontal, los sinergismos y antagonismos, la contracción del músculo efector y relajación de su antagonista, es más lógico pensar que se resuelva en los estratos inferiores (núcleos y músculos) que sería menos complicado su desarrollo que en los niveles superiores (centros supranucleares y corteza cerebral).

5. De modo muy elemental diremos:

El circuito efector óculo-motor más simplificado quedaría constituido por dos tipos de células: las motoneuronas alfa y gamma.

Las células motoras alfa están encargadas de la actividad motora rápida. Sus axones llegan a la *placa motora terminal*, provocando la contracción del músculo.

Las células motoras gamma son las responsables de la actividad postural. Sus axones alcanzan la *placa hústica*, con encargo activo del tono muscular.

En el músculo se encuentran ubicados *receptores sensoriales (extremos en empalizada)* que por vía centrípeta ascendente llegarían hasta las motoneuronas alfa y gamma, con finalidad de informarlas sobre localización espacial y, con precisión, regular su ritmo de descarga de impulsos cerrando el circuito óculo-motor. Es lo que, clásicamente, se conocía como “propiocepción”, y hoy es llamado “feedback” por la moda de introducir barbarismos en nuestro idioma.

Volvemos a decir: este trabajo autorregulador de la acción se lleva a cabo tanto en la función de *contracción* como en el mantenimiento del *tono* muscular.

Obvio es decir que este circuito motor efector del movimiento no sería nada si le faltaran las órdenes superiores procedentes del piso neural superior de **Jackson**.

6. Cada impulso motor llegado a un músculo, o a varios, con el fin de cumplimentar sinérgicamente (**Ley de Hering**) determinada acción o movimiento hacia cualquier dirección del espacio, descompone inmediatamente el equilibrio interno habido en los doce músculos que animan el órgano visual. Al mismo tiempo, ha de iniciarse la regulación interna muscular a todos los niveles neurológicos en razón de las sinergias y antagonismos, buscando nuevos equilibrios en el camino y posición final deseada. Sin olvidar la autorregulación tónica que ha de haber, y que será la responsable del equilibrio recíproco en todos los instantes de la estática y dinámica bi-ocular.

7. Estas unidades que se controlan a sí mismas, estarían en todos los sistemas relacionados con el órgano de la visión: visual, motor, sensitivo y autónomo, y a todos sus más importantes niveles neurológicos (me refiero a los tres pisos o niveles que describiera **John Hughlings Jackson, 1835-1911**). Lógico es pensar que la complejidad será tanto más importante cuanto más superior sea el estrato neural en que nos situemos.

Adviértase también de la interdependencia reguladora que ha de existir entre los sistemas anteriormente citados (visual, motor, sensitivo y autónomo), cuya comunicación ha de ser primordial.

BIBLIOGRAFÍA

- Apt L.**- An anatomical reevaluation of rectus muscle insertions. *Trans Am Acad Ophthalmol Soc* 1980.78:365.
- Berard PV, Quéré MA, Roth A, Spielmann A, Voillez M.**- Chirurgie des strabismes. Ponencia de la SFO. Edición: Masson. París 1984.
- Bloom JN y col.**- A magnetic resonance imaging study of horizontal rectus muscle palsies. *J Pediatr Ophthalmol Strab* 1993. 30:296.
- Bonet M, François P.**- La mácula. Edición: Masson. París. 1976.
- Boyer L.**- Recherches sur l'opération du strabisme. Edición: Germer Baillière. París. 1844.
- Bussacca A y col.**- Biomicroscopie du corps vitré et dur fond d'oeil. Edición: Masson. París. 1957.
- Cadera W y col.**- Cine magnetic resonance imaging of ocular motility. *J Ped Ophthalmol Strab* 1992. 29:120.
- Charpy A y Poirier P.**- Traite d'anatomie humaine. Edición: Masson et CELAM. París. 1899-1907.
- Clark RA, Miller JM, Demer JL.**- Location and stability of rectus muscle pulleys: muscle paths as a function of gaze. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1997. 38:227.
- Clark RA y col.** Posterior fixation sutures a revised mechanical explanation for the fadenoperation based on rectus extraocular muscle pulleys. *Am J Ophthalmol* 1999. 128:702.
- Corsi M y col.** Mophological study of extraocular muscle proprioceptor alterations in congenital strabismus. *Ophthalmologica* 1990. 200:154.
- Delmarcelle Y y col.**- Biometrie oculaire clinique. Edición: Masson. París. 1976.
- Demer JL y col.**- Evidence for fibromuscular pulleys of the recti extraocular muscles. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1995. 36:1125.
- Demer JL y col.**- Inervation for extraocular pulley smooth muscle in monkeys and humans. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1997. 38: 1774.
- Demer JL y col.**- Evidence for active control of rectus extraocular muscle pulleys. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2000. 41:1280.
- Demer JL, Oh SY, Poukens V.**- Orbital layers of the oblique extraocular muscles insert on the orbital connective tissue system. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001.42:S517.
- Druault A.**- Développement de l'organe de la vision et anatomie du globe de l'oeil. Edición Masson. París. 1912. **Duke-Elder S.**- System of ophthalmology. Vol I. The eye in evolution. Edición: H.Kimpton. Londres. 1958. **Duke-Elder S.**- System of ophthalmology. Vol VI. Edición: H.Kimpton. Londres. 1973.
- François J.**- Vascularization of the optic radiations and the visual cortex. *Br J Ophthalmol.* 1959. 43: 394.
- Gamlin PD, Yoon K.**- An area for vergence eye movement in primate frontal cortex. *Nature* 2000. 407:1003.

- Gay AJ y col.**- Trastornos oculomotores. Edición: Toray S.A. Barcelona. 1976.
- Gamlin PD y col.**- Behavior of identified Edinger-Westphal neurons during ocular acomodation.- *J Neurophysiol* 1994. 72:2368.
- Giraud-Teulon F.**- Vision binoculaire. Edición: J.B Bailliére et fils. París. 1861.
- Gómez Oliveros L.**- Lecciones de anatomía humana. Tomo Primero. Edición: Marban. Madrid 1960.
- Guillaumat L, Morax PV, Offret G.**- Neuro-ophtalmologie. Edición: Masson. París. 1959.
- Hamard H. y col.**- Vascularisation arterielle macroscopique du tronc du nerf optique chez l'homme. *J Fr Ophthalmol* 1978. 1:21.
- Hayreh S y col.**- The ophthalmic artery *Br J Ophthalmol* 1962. 46:65.
- Helveston y col.**- The trochlea. A study of the anatomy and physiology. *Ophthalmology* 1982. 89,2:124.
- Horton JS y col.** Magnetic resonance imaging of superior oblique muscle atrophy in acquired trochlear nerve palsy.- *Am J Ophthalmol* 1990. 110:315.
- Hubel DH, Wiesel TN.**- Receptive fields of cells in striate cortex of very young, visually inexperienced kittens. *J Neurophysiol* 1963. 26:994.
- Hubel DH, Wiesel TN.**- The period of susceptibility to the physiological effects of unilateral eye closure in kittens. *J Physiol* 1970. 206:419.
- Hubel DH, Wiesel TN.**- Integrative action in the cat's lateral geniculate body. *J Physiol* 1961. 155:385.
- Hubel DH, Wiesel TN.**- Cells sensitive to binocular depth in area 18 of the macaque monkey cortex. *Nature* 1970. 225:412.
- Hubel DH, Wiesel TN.**- Eye, brain and vision. Librería Científica Americana. Nueva York. 1988.
- Hubel DH, Wiesel TN.**- Receptive fields, binocular interaction and functional architecture in the cat's striate cortex. *J Physiol* 1962. 145:572.
- Hubel DH, Wiesel TN.**- Laminar and columnar distribution of geniculo-cortical fibers in the macaque monkey. *J Comp Neurol* 1972. 146:221.
- Hubel DH.**- Ojo, cerebro, visión. Edición: Servicio de publicaciones de la Universidad de Murcia. Murcia. 1999.
- Iris L.**- Histopathologie oculaire. Edición: Masson. París. 1972.
- Khanna S, Porter JD.**- Evidence for rectus extraocular muscle pulleys in rodents. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001. 42:1986.
- Koorneef L.**- A new anatomical approach of the human orbit. *Mod Probl Ophthalmol* 1975. 14:49.
- Koorneef L.**- New insights in the human orbitario connective tissue. *Am J Ophthalmol* 1997. 95:1269.
- Kupfer S y col.**- Quantitative histology of optic nerve, optic tract and lateral geniculate nucleus of man. *J Anat* 1967. 101:393.
- Larcassin JM.**- Etude anatomique et chirurgicale du muscle petit oblique. *Tesis doctoral*. Burdeos, 1972.

- Larmande A.**- Introduction a una conception cybernetique de la motricité oculaire conjugüée. *Annal Ocul* 1969. 202:689.
- Larmande A. y col.**- Les voies de vergence verticale. *Arch Ophthamol* 1976. 36: 87.
- Larmande P, Larmande A.**- Neuro-Ophthalmologie. Edición: Masson. París. 1989.
- Lazorthes G.**- Vascularisation et circulation de l'encefale. Masson. París. Tomo I. 1976.
- Le Grand Y.**- Optique physiologique. Ediciones de la Revue d'Optique (I y III) y Masson (II). París. Tomo I (1965). Tomo II (1972). Tomo III (1956).
- Lieberman BA y col.**- Histologic studies of the vasculature of the anterior optic nerve. *Am J Ophthalmol* 1976. 82:405.
- Mays LE, Porter JD.**- Neural control of vergence eye movements: activity of abducens and oculomotoneurons. *J Neurophysiol* 1984. 52:743.
- Miller JM, Demer JL, Rosebaum AL.**-Effect of transposition surgery on rectus muscles paths by magnetic resonance imaging. *Ophthalmology* 1993. 100:475.
- Missotten L.**- L'ultrastructure des tissus oculaires. *Bull Soc Belge Ophthalmol* 1964. 141.
- Mühlendyck H y col.**- Histological and structural studies on the ringbands in human extraocular muscles. *Albrecht Von Graefe's Arch Ophthalmol* 1978. 208:177.
- Nordmann J.**- Biologie du cristalin. Edición: Masson. París. 1954.
- Oh SY, Poukens V, Demer JL.**- Quantitative analysis of rectus extraocular muscle layers in monkey and humans. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2001. 42:10.
- Perea J.**- Estrabismos. Edición: Artes Gráficas Toledo S.A.U. 2006.
- Perea J.**- Estrabismos. Edición: Artes Gráficas Toledo S.A.U. 2008.
- Perea J.**- Fisiopatología del Equilibrio oculomotor. Edición: Brosnac S.L. Madrid.
- Polyak S L.**- The retina, the anatomy and the histology of the retina in man, ape, and monkey, including the consideration of visual functions, the history of physiological optics, and the histological laboratory technique. Edición: Univesidad de Chicago. 1941.
- Pouliquen Y.**- Atlas d'histologie et d'ultrastrure du globe oculaire. Edición: Masson. París. 1969.
- Ramón y Cajal S.**- Manual de histología normal y técnica micrográfica. Edición: Librería Pascual Aguilar. Valencia. 1893.
- Ramón y Cajal S y Tello Muñoz JF.**- Elementos de histología normal y técnica micrográfica. Edición: Tipografía artística. Madrid. 1950.
- Rouvière H.**- Anatomía humana descriptiva y topográfica. Edición: Bailly-Bailliere SA. Madrid. 1926.
- Risse JF.**- Exploration de la fonction visuelle. Ponencia de la SFO. Edición: Masson. París. 1999.
- Safran AB y col.**- Neuro-Ophthalmologie. *Ponencia de la Sociedad Francesa de Oftalmología*. Edición: Masson. París. 2004.

- Saraux H, Lemasson C, Offret H, Renard G.**- Anatomía e histología del ojo. Edición: Masson. Barcelona (España).
- Smith B y col.**- Blow-out fracture of the orbit: mechanism and correction of internal orbital fracture. *Am J Ophthalmol* 1957. 44:733.
- Schmid R y col.** Naso-temporal asymmetry and contraction anisocoria in the pupillomotor system. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2000. 238:123.
- Souza-Dias y col.**- Topographic aspects of the insertions of the extraocular muscles. *J Ped Ophthalmol Strab* 1986. 23:183.
- Stériade M.**- Physiologie des voies et des centres visuels. Edición: Masson. París. 1969.
- Taylor J.**- Le mecanisme ou le nouveau traite de l'anatomie du globe de l'oeil avec l'usage de ses differentes parties, de celles qui lui sont contigües. Edición: Miche-Etienne David. París. 1738.
- Testut L, Jacob O.**- Tratado de anatomía topográfica. Edición: Salvat. Barcelona. 1961.
- Testut L, Latarget A.**- Tratado de anatomía humana. Edición: Salvat. Barcelona. 1961.
- Toussaint D.**- La vascularisation retinienne humaine normale. *Bull Soc Belge Ophthalmol* 1961. 129:393.
- Urtubia C.**- Neurobiología de la visión. Edición: Edicions UPC. Barcelona. 2005.
- Vignal C, Miléa D.**- Neuro-Ophthalmologie. Edición: Elsevier. París. 2002.
- Warwick R.**-Representation of the extraocular muscles in the oculomotor nuclei of the monkey. *J Comp Neurol* 1953. Jun 98 (3):449.