

PARTE III

Oftalmología

CÁMARA DE EXPLORACIÓN OFTALMOLÓGICA

La exploración de los órganos visuales, así como del sentido de la vista, generalmente, requiere para su realización unos determinados instrumentos, y que se lleve a cabo en una cámara oscura. Esta cámara, usualmente, suele ser una habitación o sala del conjunto de la clínica oftalmológica de dimensiones adecuadas a las exploraciones a realizar.

Dicha habitación estará decorada con esmero cuidado evitando elementos que reflejen la luz no deseada en cada tipo de exploración que se realice. Las ventanas se taparán con cortinajes negros lo suficientemente amplios para que puedan impedir la entrada de luz procedente del exterior. En caso de que disponga de puertas encristaladas, los cristales serán recubiertos con plástico endurecido, cartonaje u otro material similar, también de color negro, con el fin de evitar que no pueda penetrar luz parásita de cualquier fuente luminosa que pueda perturbar la exploración.

Por último, es importante cubrir con piezas de tela negra los instrumentos, así como los espejos complementarios, si los hay, de los optotipos, ya que éstos tienen un gran poder reflectante.

LA LÁMPARA DE SIEGRIST

Existen determinadas exploraciones oftalmológicas que se realizan mediante dispositivos de iluminación muy específicos. Para otras, aun no siendo en su práctica la iluminación tan específica, sí es necesario que tenga cualidades, que en la mayoría de estas exploraciones se hacen prácticamente imprescindibles.

Éste es el caso de un instrumento que, por sus cualidades, entre otras, la de proporcionar la iluminación adecuada tanto para realizar una exploración externa como refractiva, es valorado muy positivamente en la práctica oftalmológica. Este aparato es la lámpara de Siegrist.



Fig. 1. Lámpara de Siegrist.

Una de las características de esta lámpara es su gran movilidad, al estar su cuerpo totalmente articulado, desde el pie de fijación hasta el final o lugar donde se encuentra insertado el foco. Un sistema con un pequeño y equilibrado contrapeso hace que los movimientos que se realizan, buscando el punto adecuado para la exploración, sean cómodos, precisos y estables. Movimientos que el aparato permite con gran facilidad, tanto los de acortamiento de la longitud del cuerpo, al angularse por medio de su sistema articular, como los movimientos verticales y horizontales, todos ellos tan necesarios. Además, el foco o cabeza luminosa, gracias a la coyuntura de inserción al cuerpo, puede desplazarse mediante una suave rotación, de arriba hacia abajo, derecha e izquierda, con la

ayuda de un pequeño mango dispuesto en el mismo foco. Por otra parte, dado que la lámpara suele generar mucho calor en el foco, un sistema refrigerante impide que se acumule, disipándolo. También dispone de un interruptor de apagado y encendido de la fuente luminosa.

Otra de las características de la lámpara de Siegrist, y con toda probabilidad la más importante, es el diafragma de apertura variable. Por lo general, este diafragma tipo iris, incorporado en la cabeza luminosa, facilita enormemente la labor del autor de una refracción, regulando el diámetro del haz de rayos luminosos, tantas veces como sea necesario en el curso de la exploración, sin ninguna variación en la intensidad de la luz, e impidiendo su dispersión.

La luz procedente de la bombilla colocada en el interior del foco, situada a 1-2 m al lado de la persona explorada, se reúne o enfoca con una lupa de +20 dioptrías sobre la córnea de modo uniforme; esto ocurre así si la lupa se mantiene a unos 5 cm del ojo explorado. Con un movimiento lateral, el cono luminoso se puede desplazar sobre la córnea; aproximando más la lupa es posible enfocar segmentos más profundos como la cámara anterior, el iris, el cristalino, etc., y explorarlos de esta misma manera. La observación del ojo iluminado con una segunda lupa facilita la valoración de las alteraciones apreciadas si las hay.

LOS OPTOTIPOS

Para determinar las posibles alteraciones de la función visual, el médico oftalmólogo utiliza diversos instrumentos, uno de ellos son los optotipos.

Como recordaremos, la retina es la parte del globo ocular en donde se producen importantes fenómenos químicos histológicos y eléctricos, los cuales se traducen en la impresión visual del objeto externo. El estudio de esta parte del ojo ha hecho posible conocer el conjunto del mecanismo de la visión. Ésta puede clasificarse en los siguientes elementos fundamentales:

- La visión central.
- La visión periférica.
- El sentido luminoso.
- El sentido cromático.
- El sentido de profundidad.

Cuando dirigimos la vista a un objeto, la reproducción del mismo se forma en la mácula lútea, situada casi en el polo posterior del globo ocular, compuesta sólo y exclusivamente de conos y bastones y dotada de gran sensibilidad.

La agudeza visual

La capacidad de funcionamiento del ojo, es decir, la agudeza visual central, depende del poder de resolución de la mácula lútea, debido a los conos que contiene. Se determina por la imagen retiniana menor que pueda apreciarse, y se mide por el objeto menor que pueda verse de lejos. Para que la retina pueda distinguir dos puntos separados, los rayos luminosos que provienen de ellos deben incidir sobre la mácula lútea, a una distancia uno del otro que corresponda al ancho de un cono. La reproducción separada se produce cuando en dos conos estimulados permanece otro sin estimular. Por poder de resolución de la retina o *minimun separabile* se entiende la distancia mínima imprescindible entre dos puntos para que éstos sean captados por el ojo de manera individual. Esta distancia mínima o ángulo visual corresponde a 1 minuto de arco, es decir, 1/60 de grado.

La medida histológica de un cono de la región macular es de 0,004 mm; esto representa, pues, la distancia entre dos conos. Por tanto, la retina de un ojo normal debe apreciar una imagen de este tamaño.

Como bien sabemos, cuanto más lejos esté un objeto de los ojos, menor será la representación de su imagen en la retina, es decir, el tamaño de dicha imagen está en función no sólo del tamaño de objeto, sino también de su distancia. Según estas consideraciones, la evaluación de la agudeza visual se realiza mediante la lectura o descripción de un conjunto de letras, números o símbolos de tamaños decrecientes y a una determinada distancia, colocados en unos paneles llamados optotipos.

De acuerdo con lo dicho, la imagen que vemos en un ángulo visual de 1 minuto corresponde al tamaño de un objeto de 0,004 mm. Este ángulo se toma como patrón estándar de la agudeza visual normal. Este principio es el llamado principio de Snellen y se

ha incorporado a los optotipos de prueba denominados con su propio nombre, los cuales son utilizados mundialmente.



Fig. 1. Optotipo de Snellen.

Los optotipos

Como se ha dicho, los optotipos consisten en un conjunto de letras de tamaño decreciente. El tamaño de estas letras ha sido calculado para que el ojo con una visión normal o estándar las reconozca a una distancia determinada, es decir, cada letra está incluida en un cuadrado de tamaño cinco veces mayor que el grueso de las líneas que componen la letra. Como el trazo de la letra es la quinta parte del grueso del lado del cuadrado, éste se verá desde un ángulo visual de 1 minuto de arco para una distancia dada. De acuerdo con el principio de Snellen, la letra entera abarca un ángulo de 5 minutos a la misma distancia, pero para distinguir íntegramente su figura, viendo todas las estructuras que la componen, el ojo tiene que tener una capacidad visual de 1 minuto de arco.

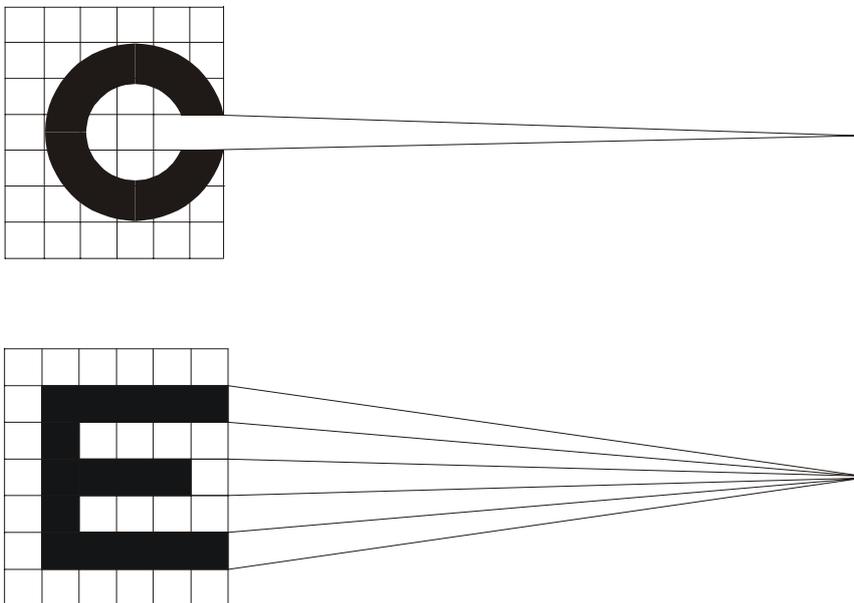


Fig. 2. Principio de Snellen. La distancia entre los trazos de la E es igual que la abertura del anillo, es decir, del mismo valor óptico, un minuto de arco, lo que corresponde al diámetro de un cono. Tanto la longitud como la anchura de cada figura equivalen a 5 minutos de arco. Están formadas dentro de un cuadro que corresponde al quintuplo del grosor de los trazos de las figuras.

Entre los optotipos más simples se encuentran el cuadro incompleto de Wecker, el

cuadro incompleto de Márquez, el anillo quebrado de Landolt y los ganchos de Pflüger. Este último está formado por un gancho en forma de E, optotipo que resulta muy similar al de la E de Snellen. Se presentan sus imágenes en filas con tamaños decrecientes, variando la posición de la abertura de las imágenes de forma aleatoria en cada una de sus filas. Pueden ser interpretados por personas que no conozcan las letras. El individuo examinado solamente tiene que indicar hacia qué lado están abiertos los cuadros, los ganchos o los anillos.



Fig. 3. Diversos optotipos. 1) *Cuadro incompleto de Wecker.* 2) *Cuadro incompleto de Márquez.* 3) *Anillo quebrado de Landolt.* 4) *Gancho de Pflüger.*

La agudeza visual es el coeficiente en el que el dividendo indica la distancia de la exploración, es decir, la distancia real y el divisor la distancia en que se reconoce la letra, es decir, la distancia teórica. En las láminas de exploración está indicada la distancia teórica al margen de cada serie de letras. Simplificando, la agudeza visual queda establecida por la división entre la distancia real y la distancia teórica, formulándose:

$$\text{Agudeza visual} = \frac{\text{distancia real}}{\text{distancia teórica}}$$

Por ejemplo, si una persona lee el signo **F** a una distancia de 5 m, se indicará 5/50, por lo cual el examinado ha reconocido a esta distancia el signo **F**, que el ojo normal está capacitado para distinguir a 50 m. Por tanto, la agudeza visual será de 5/50 ó su equivalente $1/10 = 0,1$ de valor estándar o normal. Si esta letra sólo la distingue a 1 m, la agudeza visual será de $1/50$.

La capacidad visual estándar o normal es la que corresponde a la de 5 m de distancia de la serie de letras o signos de la línea horizontal de los optotipos, marcada en el borde de la misma con el número 5. Formulándose $5/5$, lo que corresponde a $1/1 = 1,0$. Para los niños se emplean diversos dibujos infantiles, que obviamente, con relación a sus tamaños, están basados en el principio del holandés Herman Snellen.

Por lo general, este instrumento suele tener tres bandas, las cuales se distinguen muy claramente. La banda izquierda es de escala de letras de Snellen, la derecha puede ser de signos de Márquez, o bien de signos de Wecker, o también de anillos de Landolt. La central, dividida en dos, contiene generalmente en la parte superior los llamados círculos de Worth, con los que se puede detectar una deficiencia en la visión binocular, y en la parte inferior el disco de astigmatismo o Cuadrante de Green, mediante el cual se puede determinar el defecto visual de refracción llamado astigmatismo, independientemente de otras prácticas o técnicas, como podría ser la esquiocopia.

suele darse cuenta de esta deficiencia, ya que de una manera instintiva acomoda la visión en uno de los dos planos perpendiculares. El astigmatismo por lo general suele estar asociado a la miopía o la hipermetropía, denominándose miópico o hipermetrópico, según se acompañe.

El cuadrante de Green

Una de las formas empíricas para poner de manifiesto el astigmatismo es la exploración mediante el Cuadrante de Green. Se compone de cuatro circunferencias concéntricas las que denominaremos A, B, C y D, identificando como la más cercana al punto centro de las circunferencias la D, por lo tanto, la más distante será la A.

En el espacio que hay entre las circunferencias A y B están dispuestos los números romanos del I al XII, situados en la misma posición que en la esfera de un reloj.

Desde la circunferencia B parten 24 líneas rectas realizadas con un trazado grueso, hasta converger en la circunferencia C. Las líneas mantienen la misma distancia entre sí, medida desde el punto de partida de esta circunferencia. Se sobrentiende que, aun siendo la distancia entre sí desde el punto de partida igual entre todas estas líneas, la distancia es menor al converger en la circunferencia C.

También desde la circunferencia C parten otras 24 líneas rectas, pero éstas son de un trazado mucho más fino, que, enlazando desde el centro de las líneas gruesas que convergen a esta circunferencia, se prolongan de la misma manera que las líneas de la circunferencia antes descrita hasta la circunferencia D, que es igual a un grueso círculo.

Los trazos que limitan las circunferencias, las líneas, los números y el círculo que corresponde a la circunferencia D son de color negro.

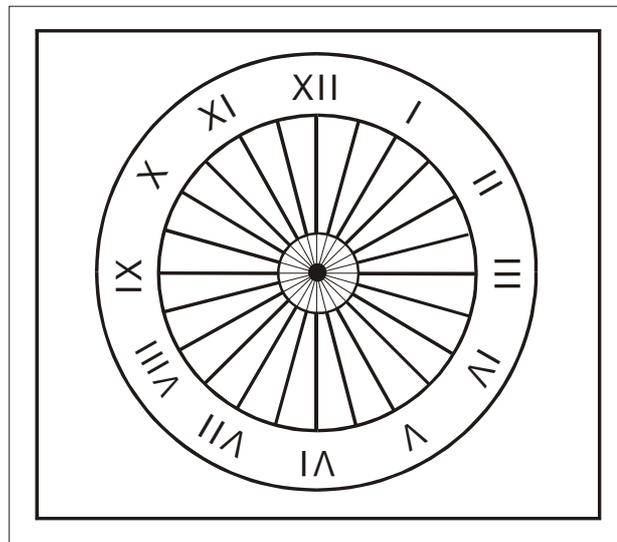


Fig. 5. Cuadrante de Green.

Círculos de Worth

Algunos optotipos disponen en su banda central de cuatro círculos llamados círculos de Worth. Dispuestos a modo de rombo, el superior es de color rojo, los dos laterales de color verde y el inferior de color blanco. La exploración mediante esta prueba indica si la persona examinada posee una visión binocular, es decir, si presenta visión simultánea o fusión.

La exploración se realiza colocando a la persona que se examina unas lentes rojo-verdes, complementarias de los colores de los cuatro círculos de Worth. Por rutina en la exploración se pone la lente de color rojo cubriendo el ojo derecho y la de color verde en el izquierdo.

Los círculos de color complementario no son visibles al mirar por la lente roja y verde. El ojo izquierdo provisto de la lente verde sólo verá verdes los círculos verdes y el círculo inferior blanco, mientras que el ojo derecho con la lente roja no es capaz de distinguir los dos círculos verdes, y solamente verá rojos los círculos superior e inferior. Por lo expuesto se puede deducir con facilidad las diferentes respuestas y su significación.

Al preguntar a la persona examinada cuántos círculos está viendo y de qué color son, las posibles respuestas podrían ser:

1. Dos círculos rojos. Solamente ve el ojo derecho, el ojo izquierdo neutraliza.
2. Tres círculos verdes. El mismo razonamiento, neutraliza el ojo derecho.
3. Cuatro círculos, dos son verdes, uno rojo arriba y otro amarillento mezclado de rojo y verde abajo. El círculo inferior blanco es visto a la vez tanto por el ojo derecho como por el izquierdo.
4. Cinco círculos, tres verdes y dos rojos. Cuando los círculos rojos están a la derecha y los verdes a la izquierda, existe una diplopía homónima. Si los círculos rojos están a la izquierda y los verdes a la derecha, es una diplopía cruzada.

Esta prueba sencilla de realizar, como se ha visto, solamente consigue algunas referencias de los defectos en la visión binocular, que permitirán posteriormente realizar otras pruebas con más objetividad y lograr con ellas un diagnóstico más exacto, con el fin de poder instaurar el tratamiento más adecuado.

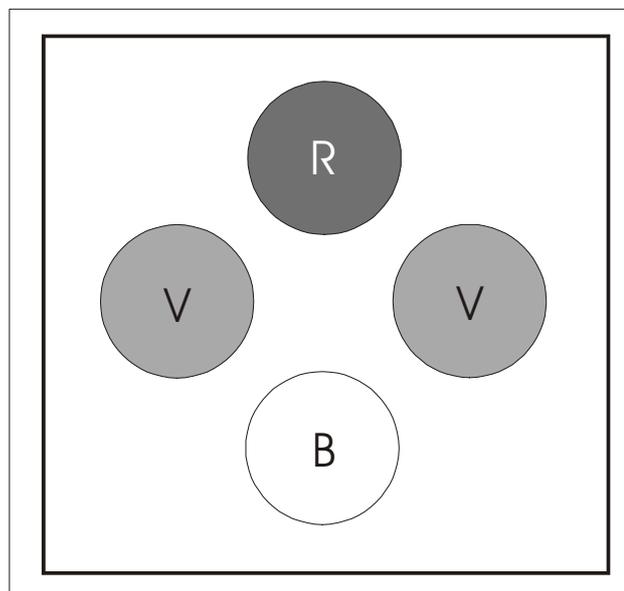


Fig. 6. Discos de Worth.

Otros sustituyen los círculos o luces de Worth por el llamado Cuadro cromático, el cual está formado por filas de cuadrados de tamaño decreciente cuya escala es idéntica a la banda izquierda, es decir, las letras y a la banda derecha, es decir, los signos. Los

cuadrados son de color azul, rojo, verde y amarillo cada uno, estos colores se presentan de forma aleatoria.

Estos cuadrados con los colores indicados también sirven de apoyo para detectar algunas variedades de ceguera para los colores, es decir, discromatopsias, que algunas personas pudieran sufrir.

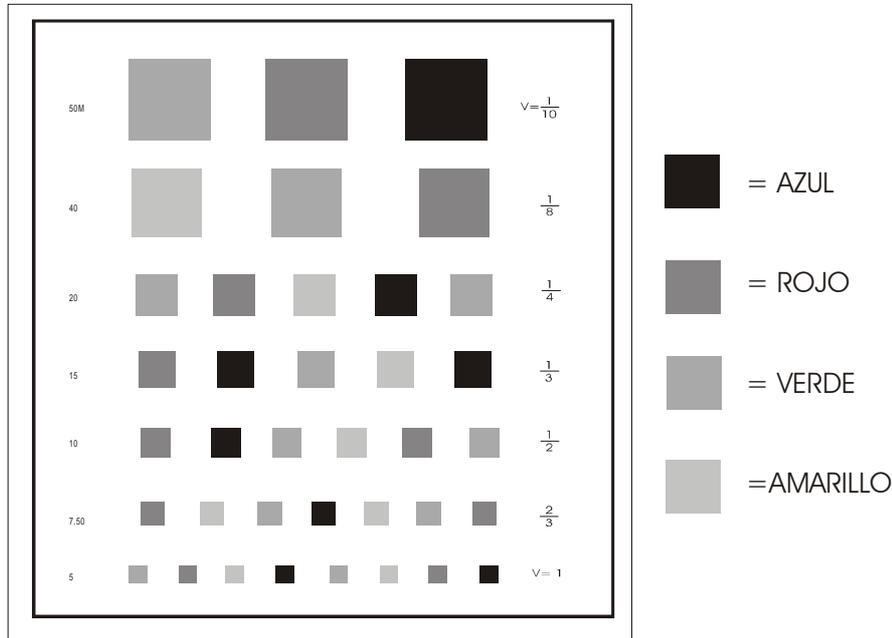


Fig. 7. Cuadro cromático.

Con el fin de obtener la mejor optimización en la lectura de los optotipos, éstos deben ser retroiluminados y fijos, es decir, que lleven luz en su interior y que ésta sea uniforme, esto es, carente de sombras.

Sin menosprecio a otros optotipos que pudieran existir, éstos deberán ser de un material traslúcido, como algunos metacrilatos, o de un cristal esmerilado. Nunca deben ser transparentes, ya que entonces se puede ver la fuente de emisión de luz en su interior, así como su instalación. Tendrán que disponer de un mecanismo o soporte para fijarlos en el lugar donde se realice la exploración, a una distancia de cinco metros entre el individuo a explorar y la imagen a leer o a describir. La exploración de la agudeza visual, es decir, la determinación del *visus* se realiza en cada ojo por separado, cubriendo el ojo que no se explora.

Por razones de espacio u otras, los optotipos pueden estar situados a 2,5 m del individuo a explorar, pero las imágenes tienen que ser reproducidas sobre un espejo. De esta manera, no se ven imágenes reales, sino virtuales, que estarán a una distancia de 5 m, aunque el individuo esté situado a 2,5 m de los optotipos. En este caso, la escala de optotipos debe ser de visión refleja.

El Reglamento General de Conductores indica que los optotipos pueden ser también de proyección. Éstos realizan la misma función que los optotipos ya descritos, pero proyectan las letras o signos sobre una pantalla o en la pared preparada para este fin a la distancia adecuada para la exploración.

El Reglamento General de Conductores, aprobado mediante el **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, en su ANEXO IV, punto 1. CAPACIDAD VISUAL, apartado

CAJA DE LENTES DE PRUEBA

La luz puede ser considerada como corpúsculo, es decir, cuantos de energía $h\nu$, o como ondas electromagnéticas. Esta condición de onda electromagnética hace que sufra en su trayectoria los fenómenos de absorción, reflexión y transmisión, cuando encuentra un cambio en el medio que la soporta. Para simplificar y realizar los cálculos de estas ondas, se puede hacer una abstracción, que en general tienen un buen comportamiento formal, y que parte del concepto de rayo luminoso, considerando como tal a cada una de las trayectorias rectilíneas que sigue la luz cuando viaja en un medio. Este concepto de rayo luminoso ha generado todo un tratamiento de comportamiento de la luz denominado: óptica geométrica.

En la actualidad, la velocidad de la luz en el vacío se toma como 299.792,46 km/seg, sin embargo, cuando encuentra un medio distinto, se transmite a menor velocidad.

Refracción de la luz

Se denomina índice de refracción al cociente entre la velocidad de la luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio. Así pues, el índice de refracción en el vacío es 1 y en el aire es 1,00029. En la mayoría de las aplicaciones resulta suficientemente preciso considerar que es igual a 1. El índice de refracción del agua es 1,33, el del vidrio 1,5, el del cristal 1,7, el del diamante 2,5, etc.

Cuando un rayo luminoso incide sobre una superficie, que separa dos medios de índice de refracción diferentes (n_1 y n_2), y si la luz incide sobre esta superficie con un cierto ángulo α_1 , el producto del índice de refracción por el seno del ángulo que forma con la superficie permanece constante, es decir, $n_1 \cdot \text{sen } \alpha_1 = n_2 \cdot \text{sen } \alpha_2$, siendo α_2 el ángulo que forma la luz transmitida con la superficie. Esta importante ley es la llamada ley de Snell, en honor del matemático holandés Willebrord van Roijen Snell.

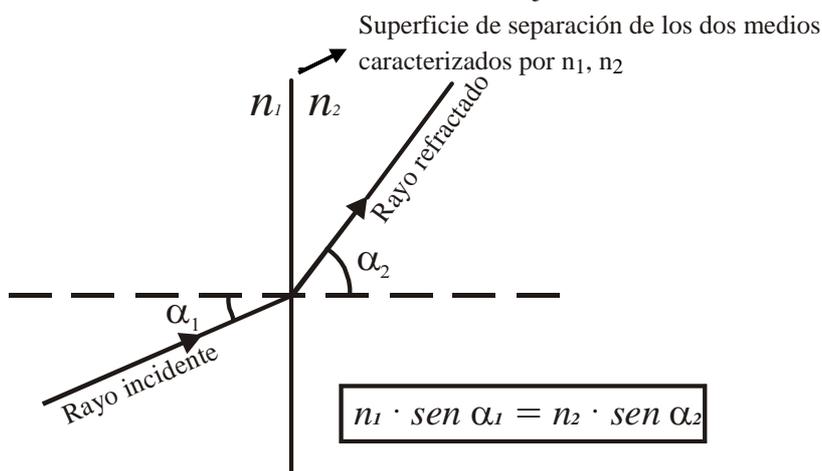


Fig. 1. Ley de Snell.

El índice de refracción tiene cierta dependencia con la longitud de onda, es decir, el color. De esta forma, la luz azul se desvía más que la roja en un cambio de medio, si bien no es necesario, por lo general, tener en cuenta este índice de refracción, pues es pequeño.

Si un rayo de luz incide en un medio, delimitado por dos superficies recíprocamente inclinadas, sufre dos refracciones: una, cuando encuentra la primera superficie inclinada y la otra, cuando encuentra la segunda. Este es el caso de la refracción a través de un prisma, éste desvía hacia su base los rayos que lo atraviesan y su poder de desviación es tanto mayor cuanto mayor es el ángulo formado por dos caras contiguas.

Consideremos ahora un rayo luminoso que encuentre una superficie que separa dos medios de distinta densidad, por ejemplo, el aire y el vidrio, y de forma esférica, es decir, un elemento dióptrico. El rayo es refractado según la ley enunciada anteriormente. Si estimamos un rayo cualquiera, paralelo al eje del dióptrico, será desviado en cierto ángulo. Todos los rayos luminosos paralelos son desviados de tal modo que se encuentran en un solo punto, llamado: foco del dióptrico.

Los rayos se encuentran en el mismo punto al ser desviados en un ángulo distinto, según estén más o menos próximos al eje del dióptrico. Si, en efecto, queremos conocer el ángulo de refracción de un rayo en cierto punto del dióptrico, debemos trazar una tangente a este punto y luego la perpendicular a la tangente en dicho punto. También en este caso, tendremos la relación entre ángulo de incidencia y ángulo de refracción, ya comentada para las superficies planas. Si el rayo está muy próximo al eje del dióptrico sufre una refracción menor.

Consideremos ahora un sistema en el que hay tres medios, por ejemplo, aire, vidrio, aire, y que estén separados por superficies esféricas. Si el medio central, es decir, el vidrio, presenta dos superficies convexas, un haz de rayos paralelos al eje se reúne en un punto llamado: foco real. Si las dos superficies son esféricas, pero cóncavas en lugar de convexas, los rayos divergen. El foco se encuentra en la prolongación de los rayos y no representa el verdadero punto de convergencia, por lo que se llama: foco virtual. En el primer caso, se trata de una lente convexa, es decir, convergente, que se llama: positiva. El segundo caso, se trata de una lente cóncava, es decir, divergente, que se llama: negativa. Las lentes convergentes son más gruesas en el centro que en los bordes, mientras que en las divergentes sucede lo contrario.

Se llama foco de una lente el punto de su eje en el que converge un haz de rayos paralelos. El foco es real si la imagen, es decir, el punto en el que convergen los rayos, puede recogerse en una pantalla, caso de las lentes positivas. El foco es virtual si no puede recogerse sobre dicha pantalla, caso de las lentes negativas, en las que el foco se encuentra en la prolongación de los rayos refractados.

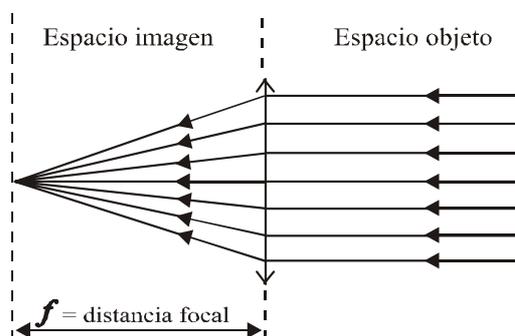


Fig. 2. Lente convergente.

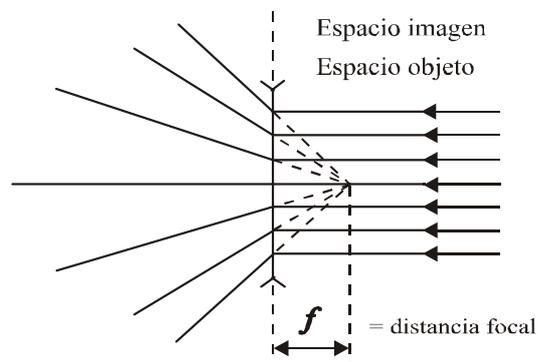


Fig. 3. Lente divergente.

El poder de refracción de una lente puede especificarse de dos formas, una de ellas es dando la distancia focal en unidades del sistema métrico decimal, y la otra en unidades

llamadas dioptrías. La dioptría corresponde al inverso de la distancia focal, medida en metros, es decir, la distancia entre el centro óptico de la lente y el foco. Por ejemplo el poder de refracción de una lente que tiene el foco a 1 m de distancia es de 1 dioptría, y de 2 dioptrías tiene una distancia focal de 0,5 m, así el de una lente con foco a 0,1 metros de distancia es de 10 dioptrías.

Refracción del ojo

Es bien sabido que por medio de la refracción, la luz puede manipularse considerablemente para que, en lugar de proseguir su recorrido normal en líneas rectas definidas, se dirija por vías bien determinadas. Precisamente, la función esencial de todos los sistemas ópticos es variar la trayectoria de los rayos de luz de sus direcciones originales indiscriminadas a vías determinadas estrictamente. Por todo lo dicho, es conveniente que a continuación pasemos a realizar una breve descripción de los elementos refractivos del ojo, así como de los métodos que utiliza para lograr una buena visión.

La refracción del ojo, o bien el estado de refracción del mismo, depende de la relación existente entre su longitud axial, cuyo valor medio oscila normalmente alrededor de 24 mm, y el poder refringente de sus estructuras ópticas o aparato dióptrico.

De las diversas partes de que consta el ojo, los dióptricos oculares corresponden a la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo. El índice de refracción del humor acuoso es 1,33 y el del humor vítreo 1,34, ambos líquidos tienen un índice de refracción que es prácticamente igual al del agua. Por tanto, la refracción tiene lugar realmente en dos estructuras, la cara corneal anterior y el cristalino, la capacidad de refracción total de ambas es de unas 65 dioptrías, de las que 42 corresponden a la córnea y 23 al cristalino.

La córnea

La córnea es un casquete esférico situado por delante de la esclerótica y unido a ella a través del limbo, siendo éste la zona de transición entre la córnea y la esclerótica. Por tanto, tiene la forma de un disco circular con la superficie anterior convexa y la posterior cóncava. Tiene un diámetro vertical normal en el adulto, que oscila entre 11 y 11,6 mm, y un diámetro horizontal entre 12 y 12,6 mm, por lo que es ligeramente más ancha que alta. Su espesor en el centro es de unos 0,47 mm y de 0,8 mm en la periferia, aproximadamente.

La superficie anterior convexa de la córnea está en contacto directo con el aire atmosférico, cuando los párpados están abiertos, y con la mucosa conjuntival de la superficie posterior de éstos, cuando están cerrados. Esta superficie permanece siempre humedecida por el líquido lagrimal, siendo una de las funciones que realiza la de evitar la desecación de la córnea. La superficie posterior cóncava está bañada por el humor acuoso contenido en la cámara anterior ocular.

La peculiar estructura de la córnea se fundamenta en su transparencia y su elasticidad. Está compuesta por cinco capas: epitelio, membrana de Bowman, estroma, membrana de Descemet y endotelio. Sin embargo, desde el punto de vista fisiológico, habitualmente, es más útil hablar sólo de tres capas: epitelio, estroma y endotelio.

El epitelio corneal, con su membrana basal, presenta un grosor entre 50 y 90 μm , tiene 5 ó 6 capas de células estratificadas que se apoyan sobre la membrana basal. Las células de la superficie son planas y escamosas, presentando vellosidades dirigidas hacia la película lagrimal. Estas células son eliminadas de forma continua por el movimiento de los párpados, renovándose cada 7 días. Las células en ala, o foliadas, forman las capas intermedias. Las células próximas a la membrana basal, más altas y en forma de columnas, llevan a cabo la mayor parte de las funciones metabólicas de la córnea.

La función primaria del epitelio es actuar como una barrera selectiva para el flujo de agua, metabolitos y otros materiales necesarios para la homeostasis fisiológica. El epitelio puede ser fácilmente lesionado por pequeños traumatismos, sin embargo, es uno de los tejidos que se regeneran más rápidamente, es capaz de hacerlo en poco más de 3 horas en una erosión puntual y en unos pocos días de una abrasión más profunda. La membrana de Bowman, localizada debajo de la membrana basal, perteneciente al epitelio, no se regenera. Su función es mantener la integridad de la córnea, por ser resistente a la deformación traumática, al paso de cuerpos extraños y a los organismos infecciosos.

El estroma constituye 9 de las 10 partes del espesor de la córnea. Está constituido básicamente por capas de fibras de colágeno dispuestas en láminas paralelas a la superficie corneal embebidas de una sustancia fundamental de mucoproteínas y glicoproteínas. También existen algunas células denominadas queratocitos. Las propiedades biofísicas del colágeno y el efecto de la presión intraocular son responsables de la curvatura regular de la córnea y de su alta calidad como superficie óptica.

La transparencia óptica de la córnea depende de la regularidad de las fibras de colágeno y del nivel adecuado de hidratación. El contenido de agua de la córnea normal es de un 78% de su peso, aproximadamente. A pesar de este contenido de agua, comparativamente alto, la córnea tiende a capturar agua adicional. Una rotura de las capas del epitelio o el endotelio, así como de sus membranas de soporte, conducirá a la penetración de agua en el estroma, provocando, por consiguiente, un edema. Un sistema activo de bombeo, denominado bomba endotelial, en las células de las membranas más externas, en especial, las del endotelio, trabaja para la eliminación del exceso de dicha agua. La membrana de Descemet, de un grosor de entre 10 y 12 μm , es acelular y está compuesta de colágeno. Es considerada como una condensación del estroma que actúa como membrana basal del endotelio.

El endotelio es la cubierta posterior de la córnea y está constituida por una simple capa de células poligonales de unos 5 μm de alto por unos 20 μm de ancho. El número de estas células al nacer es de 400.000 a 500.000, y son reemplazadas con poca frecuencia o no lo son en absoluto como un proceso normal durante la vida adulta. Estas células son capaces de reparar defectos por incremento de su tamaño, puesto que pueden alcanzar más del doble de su tamaño normal. También son las encargadas de evitar la turgescencia, es decir, edemas en la córnea y de contribuir a la formación de la membrana de Descemet.

Una vez comentadas las estructuras más significativas de la córnea, continuemos hablando de la misma en su conjunto. La córnea es avascular y recibe la mayor parte de sus nutrientes por difusión, a través del humor acuoso y la lágrima. Obtiene el oxígeno principalmente, de la atmósfera por medio de la lágrima. Durante el sueño, el oxígeno que necesita proviene de la red vascular de la conjuntiva palpebral. Genera su energía metabólica en forma de trifosfato de adenosina (ATP). La ruta metabólica principal es la glicólisis aeróbica, con la glucosa como sustrato más importante.

Las fibras nerviosas pertenecen al V par craneal y, al igual que las retinianas, son amielínicas, ya que al penetrar en el parénquima corneal pierden sus vainas de mielina, que actuaría de modo perturbador, desde el punto de vista óptico. Se encuentran, sobre todo, en la capa profunda del epitelio, concretamente, en la membrana de Bowman y en las capas superficiales del estroma.

La transparencia del tejido corneal, totalmente necesaria para los fines visuales del aparato ocular, permite que la córnea aparente el color del iris, situado detrás de la misma.

La córnea, además, de dejarse atravesar en virtud de su transparencia por los rayos

luminosos que penetran en el interior del ojo, a través del orificio pupilar excavado en el centro del iris, situado detrás, tiene también la función de proporcionar a estos rayos de luz que inciden en el ojo un ligero grado de convergencia, que la lente del cristalino se ocupará de acentuar, con el objeto de lograr que se concentren en un punto de la retina para producir la imagen nítida de los objetos.

El cristalino

El cristalino es una lente transparente y elástica biconvexa, por lo general, de unas +23 dioptrías, cuyo peso oscila en los 0,3 gr. Presenta dos caras, una anterior y otra posterior, uniéndose en el llamado ecuador. El radio de curvatura es menor en la cara posterior, unos 7 mm, por lo que aparece más abombada que la cara anterior, con un radio de unos 10,5 mm. Su espesor anteroposterior es de 5 mm aproximadamente y de un diámetro horizontal de no menos de 1 centímetro.

El cristalino está situado entre la cámara posterior del ojo, inmediatamente detrás del iris, y la parte anterior del humor vítreo. Tiene la función de concentrar sobre la mácula lútea de la retina los rayos de luz penetrados en el ojo a través del agujero pupilar, situado por delante de la lente. La sujeción en su posición normal se asegura por la llamada zónula ciliar de Zinn.

La zónula ciliar de Zinn es un sistema de fibras que, extendiéndose desde los procesos ciliares al cristalino, lo mantiene fijo enviándole a éste las contracciones del músculo ciliar. Mediante este proceso la lente del cristalino aumenta o disminuye su convexidad. La zónula está constituida por unas 80 fibras de 3 a 9 micras de grosor, con un diámetro de unos 7 mm, que se distribuyen en haces con diferentes orientaciones. Es llamada también: ligamento suspensorio del cristalino.

Recordemos que el músculo ciliar tiene forma de anillo aplanado de un color blanco grisáceo, formado por múltiples fibrillas musculares desplegándose algunas de ellas en sentido circular, mientras que otras se extienden en sentido radial desde el contorno del orificio central del anillo en dirección a la periferia. Si se contrae este músculo en sentido concéntrico provoca el aumento de la curvatura del cristalino, con el resultado de una visión más nítida de los objetos cercanos, puesto que los rayos de luz que provienen de los objetos, aunque inciden en forma divergente sobre el cristalino, se concentran igualmente en la retina al aumentarse la curvatura del cristalino. Proceso del que se hará mención más adelante.

Desde el punto de vista estructural anatómico el cristalino está compuesto por tres formaciones íntimamente relacionadas entre sí: cápsula, epitelio subcapsular y fibras.

La Cápsula es una fina membrana transparente y elástica, similar a las membranas de Bowman y Descemet, que recubre el cristalino, también es llamada: cristaloides. Esta membrana se divide a la vez en dos caras, la anterior o externa y la posterior o interna, encontrándose unidas a los procesos ciliares mediante la zónula.

El Epitelio subcapsular, se encuentra en la superficie anterior y, en él como en los restantes órganos epiteliales, tiene lugar una continua neoformación celular a lo largo de toda la vida. Está constituido por una fila de células aplanadas que, a medida que van madurando, se acercan al ecuador y se transforman en células poligonales, que, a su vez, se transforman en fibras cristalinianas.

Las Fibras no son más que el resultado de la transformación de las células del epitelio subcapsular, algunas de las cuales adoptan una situación en sentido circular concéntrico y otras un sentido radiado desde el centro hacia la periferia.

El estudio cuantitativo de la composición química del cristalino corresponde aproximadamente:

65% Agua.

35,5% Proteínas.

0,7% Leticina.

0,1% Colesterol.

7% Sales inorgánicas (Na, K, Ca, etc.).

El cristalino, al igual que la córnea, no posee riego sanguíneo propio, se nutre por dos sistemas: transporte activo, utilizando el ATP, y por difusión, a partir del humor acuoso, del que recibe, principalmente, los elementos necesarios para su metabolismo, a la vez que elimina sus productos de desecho en este medio. En este proceso, la cápsula del cristalino realiza la función de una membrana semipermeable, en cuanto sólo permite el paso a determinados factores nutricios. Es impermeable a las moléculas gruesas (proteínas) y permite el paso de pequeñas moléculas (glucosa, aminoácidos).

El aumento de concentración de algunas proteínas, lípidos, así como el desajuste del equilibrio hidroelectrolítico, son algunas de las causas que producen catarata, es decir, la opacidad del cristalino.

La vascularización o irrigación del cristalino se produce a través de ramas del círculo vascular mayor del iris, y su inervación se lleva a cabo mediante ramas simpáticas y parasimpáticas del plexo ciliar, vehiculadas por el III par craneal.

Entre las funciones del cristalino hay que recordar la de protección de la retina frente a las radiaciones luminosas y ambientales. Pero la función fundamental y más importante del cristalino es su capacidad de acomodación, ya que sobre la base de este mecanismo permite el enfoque fino de los objetos que se observan. En el desarrollo de este proceso intervienen cristalino, zónula y músculo ciliar.

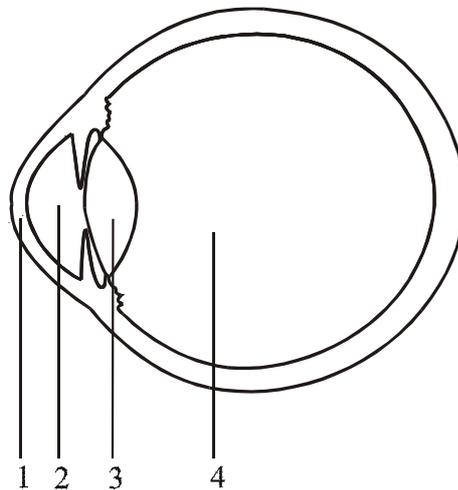


Fig. 4. Los dióptricos oculares. 1) *Córnea.* 2) *Humor acuoso.* 3) *Cristalino.* 4) *Humor vítreo.*

La acomodación

El ojo normal o emétrope está enfocado al infinito, lo que se puede considerar prácticamente como una distancia mayor de 5 m, y cuando se trata de ver objetos más próximos, para que sus imágenes se formen en la retina, los músculos ciliares cambian la

forma del cristalino, imprimiéndole un grado mayor de convexidad; este proceso se denomina: acomodación. Por tanto, la magnitud de la acomodación depende de la capacidad de modificar la forma del cristalino, es decir, transformar su disposición elíptica, dispuesta para una visión lejana, en una disposición esférica para una visión próxima.

Así, con el grado de curvatura normal del cristalino, los rayos luminosos paralelos que provienen de los objetos situados en el infinito se refractan, de tal manera que todos se reúnen en un punto de la superficie posterior de la retina, que coincide con el foco óptico de la lente. En cambio, cuando los rayos luminosos provienen de objetos cercanos, inciden sobre el cristalino en forma divergente, por lo que su reunión después de la refracción consiguiente no se haría sobre la superficie de la retina, sino por detrás de ésta, como ocurre en la hipermetropía. Para evitar la visión poco nítida y confusa de los objetos cercanos que se provocaría, tiene lugar el complejo mecanismo de la acomodación. Consiste ésta, fundamentalmente, como se ha dicho, en la adecuada contracción de los músculos ciliares y la relajación del ligamento suspensorio, por lo que el cristalino va adquiriendo de forma progresiva una mayor convexidad; entonces los rayos luminosos divergentes que provienen de los objetos cercanos, se refractan con un índice mayor y pueden reunirse, de esta forma, sobre la superficie de la retina y no por detrás de la misma.

Mediante la acomodación, que en el ojo emétrope se fija en 4 dioptrías, se puede conseguir sin fatiga la focalización en la retina de objetos situados entre una distancia mínima de unos 25 cm, posición denominada: punto cercano o próximo del ojo, y la distancia denominada: punto remoto o lejano del ojo, que se sitúa en el infinito.

Con el paso de los años se produce una disminución progresiva de las propiedades elásticas del cristalino y, consecuentemente, una pérdida de su capacidad de acomodación, que evoluciona de manera casi regular cada 5 años con una reducción de unos $\frac{3}{4}$ de dioptría. Un individuo de 45 años de edad muestra aún una capacidad de acomodación de 3 dioptrías, por lo que en caso de ser emétrope, puede leer un texto de escritura diminuta a una distancia de 30 cm sin dificultad. En esta edad, sin embargo, comienza a presentarse generalmente las primeras manifestaciones de pérdida de capacidad de acomodación. A los 50 años de edad, el individuo presenta todavía 2,25 dioptrías de poder acomodativo y a los 60 solamente dispone de una acomodación aproximada de 0,75 dioptrías, por lo que verá borrosos todos los objetos que se encuentren a menos de 1 m por delante de sus ojos. Esta condición de pérdida de acomodación, que va decayendo de forma fisiológica, con variaciones individuales, al disminuir la elasticidad del cristalino por la edad, se denomina: presbicia.

Defectos ópticos del ojo y su corrección óptica

La exactitud con la que todo aparato óptico puede formar una imagen nítidamente definida se llama: poder de resolución o poder resolvente, siendo, por consiguiente, un índice de la eficacia del sistema. Todo sistema de lentes tiene defectos inherentes, los dióptricos oculares también los tienen, aunque su proporción es tan pequeña que a efectos funcionales no se tienen presentes, por lo que se los considera defectos ópticos fisiológicos. No obstante, cuando se trata de corregir errores de refracción patológicos, sobre todo, los de mayor cuantía, por medio de lentes, sí que se tiene en cuenta la valoración de estos defectos fisiológicos.

Como se comentará en otras ocasiones, tanto el hombre como los organismos vivos, no están configurados de acuerdo a leyes matemáticas aplicadas con exactitud. Las imprecisiones teóricas en las medidas que muestran en su constitución se ven altamente compensadas por la adaptabilidad y la plasticidad que permite la naturaleza,

fundamentalmente, flexible. El ojo emétrepe no es, como se ha dicho, un sistema óptico perfecto, pero sus propiedades de acomodación, adaptación, definición y diferenciación retiniana lo hacen extraordinariamente único.

Se comentó con anterioridad, que cuando los rayos de luz paralelos provenientes del infinito inciden sobre un ojo fisiológicamente normal, se refractan de tal manera que todos se reúnen en un punto de la superficie de la retina que coincide exactamente con el foco óptico del cristalino. Estas condiciones ópticas que se dan en el ojo en estado de reposo, se denominan: emetropía. Este proceso depende de una exactitud de fracciones de milímetro de medidas, como la longitud axial del ojo, la forma de la córnea y del cristalino, entre otras. Tal exactitud y simetría con esta perfección óptica exige una precisión matemática, que como sabemos no se encuentra en la constitución de los seres vivos. Por lo tanto, la emetropía puede ser normal ópticamente, pero analizada desde el punto de vista biológico no lo es.

Entre los defectos de refracción patológicos más comunes cabe destacar: la hipermetropía, la miopía y el astigmatismo. Todos estos defectos se deben a la falta de proporción debida, entre las diversas partes del ojo consideradas en su conjunto como el sistema dióptrico y la longitud axial del mismo, que en el adulto es de unos 24 mm. Un incremento o disminución de esta longitud normal de 1 mm, produce una diferencia de refracción de 3 dioptrías. Además, existe la presbicia, aunque en realidad, como ya se comentó, es la disminución progresiva del mecanismo de la acomodación. Cuando el ojo sufre cualquier tipo de estos errores de refracción, recibe el nombre de ojo amétrepe.

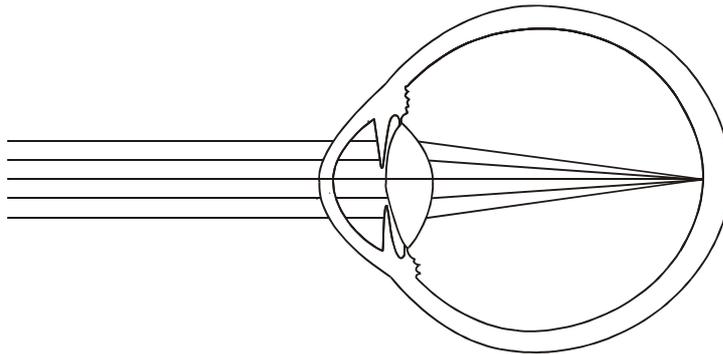


Fig. 5. Ojo emétrepe.

La hipermetropía

Se presenta esta ametropía cuando la imagen enfocada se forma detrás del plano de la retina, es decir, cuando los rayos luminosos paralelos, procedentes del exterior, al refractarse sobre la lente del cristalino de curvatura normal, convergen en un punto situado por detrás de la superficie posterior de la retina en vez de reunirse en dicha membrana retiniana. El punto de convergencia de los rayos luminosos en la hipermetropía se denomina: foco postretiniano.

La causa más frecuente de esta ametropía es por acortamiento de la longitud anteroposterior del ojo, es decir, por la reducción axial del eje del ojo, con lo cual la retina está demasiado cerca del sistema óptico, siendo por esta causa denominada: hipermetropía axial. Otra causa menos frecuente es la provocada por una desproporción de la capacidad de refracción del sistema óptico del ojo, que puede ser por un desplazamiento hacia atrás del cristalino o por la curvatura demasiado pequeña de la córnea o del cristalino, denominándose en estos casos: hipermetropía de refracción.

Generalmente, al nacer el globo ocular es demasiado corto, por lo que todos los ojos son hipermétropes, entre unas 2,5 a 5 dioptrías; después y a medida con que el globo ocular va desarrollándose, desaparece este defecto de la refracción hasta corregirse por completo hacia los 6 u 8 años, cuando alcanza el tamaño normal. Siendo por esta causa que los niños que son emétropes en su nacimiento suelen tener en la pubertad miopía, defecto de refracción que se comentará más adelante. Las hipermetropías pueden disminuir algo en el curso de los años y con rareza exceden de 6 ó 7 dioptrías, que equivalen a la reducción axial del eje del ojo de 2 mm.

La persona que sufre hipermetropía corrige instintivamente su defecto de refracción al incrementar su mecanismo de acomodación del cristalino, que aumenta el poder refringente, imprimiendo un grado mayor de convexidad, y de esta manera, los rayos luminosos que inciden sobre él sufren una mayor refracción y se reúnen sobre la superficie posterior de la retina y no por detrás de ésta. Pero fisiológicamente, este incremento de la capacidad de acomodación compensadora disminuye progresivamente, y con el paso de los años cada vez es menos posible esta acomodación.

La necesidad de estar acomodando constantemente el cristalino, tanto en la visión remota como en la próxima, provoca una serie de espasmos en la musculatura del sistema ciliar, llegando a una hipertrofia del músculo ciliar, y consecuentemente pueden aparecer algunas de las manifestaciones integradas en el cuadro clínico que está definido como: astenopía acomodativa o muscular, tales como cefaleas de predominio vespertino y, sobre todo, tras esfuerzos visuales, enrojecimiento ocular, inflamación de los párpados, es decir, blefaritis, orzuelos, lagrimeo, fotofobia, parpadeo y una visión próxima borrosa transitoria. También puede dar lugar al denominado: estrabismo convergente concomitante, es decir, un estrabismo interno por acomodación.

El grado de la hipermetropía que, por acomodación, se puede compensar se denomina: hipermetropía latente. Se denomina: hipermetropía manifiesta, el grado que ya no puede ser compensado por el ojo. Cabe indicar que cuanto menos edad tiene, quien sufre este error de refracción, es mayor la hipermetropía latente, y cuanto más edad tiene, tanto más aumenta la hipermetropía manifiesta.

Al determinar el diagnóstico de la refracción se debe contar con la hipermetropía global, es decir, la suma de las porciones de la hipermetropía manifiesta y latente; por este motivo, se debe anular previamente la acomodación, mediante la instilación adecuada en el ojo de un fármaco ciclopléjico.

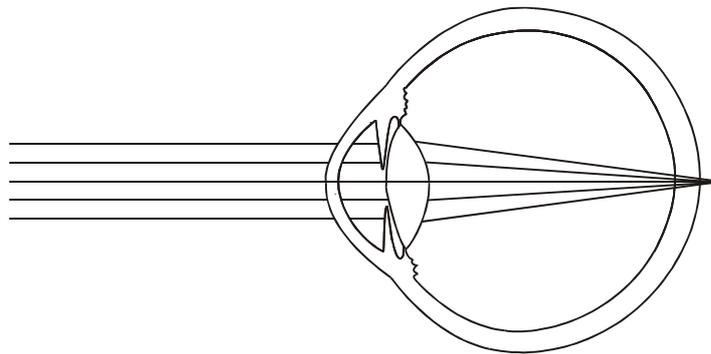


Fig. 6. Ojo hipermetrope.

Tratamiento óptico de la hipermetropía

El tratamiento consiste en la prescripción de lentes esféricas convexas o positivas de

la mayor graduación que se tolere, ya que por su acción convergente hacen que los rayos luminosos se reúnan en la superficie posterior de la retina, es decir, en el plano retinal.

La miopía

En esta ametropía, la imagen que se enfoca en el infinito se forma delante del plano de la retina, llegando a ésta una imagen con falta de nitidez o borrosa, es decir, cuando los rayos luminosos paralelos procedentes del exterior, al refractarse sobre la lente del cristalino, convergen en un punto situado delante de la superficie posterior de la retina, en vez de reunirse en la membrana retiniana. El punto de convergencia de los rayos luminosos en la miopía se denomina: foco prerretiniano.

La causa, generalmente, de esta ametropía puede producirse por dos factores, siendo el más común de éstos el aumento del crecimiento longitudinal del globo ocular, es decir, por aumento axial del eje del ojo, con lo cual el diámetro anteroposterior del ojo es demasiado largo y la retina se encuentra demasiado lejos del sistema óptico, denominándose esta causa: miopía axial. Poco frecuente es la otra causa, por lo que se dice que es rara, y es debida a la desproporción de la capacidad de refracción del globo ocular, que se produce por un aumento de la curvatura normal de la córnea o del cristalino, con el consiguiente aumento de la convergencia de los rayos luminosos, que se reúnen por delante de la retina, esta causa es denominada: miopía de refracción.

El individuo que sufre miopía, por lo general, es capaz de poder leer sin dificultad un texto de escritura diminuta sin usar lentes correctoras y sin que necesite acomodación, incluso, cuando tiene una edad muy avanzada, mientras que obtiene una visión borrosa de los objetos enfocados en el infinito. Esto es debido, como se recordará, a que los rayos luminosos divergentes sólo pueden partir de objetos situados a distancias inferiores a 5 m, el punto remoto del ojo miope no está situado en el infinito. En una miopía de -3 dioptrías, su punto remoto se desplaza a una distancia de 33 cm por delante del ojo y en la de -10 dioptrías se encuentra a 10 cm por delante del ojo, en ambos casos, sólo se percibe con nitidez a distancias cortas, pero no en las remotas. Por otra parte, el ojo miope, según el grado de su miopía, percibe el tamaño de los objetos ligeramente aumentado.

Antagónicamente al ojo hipermetrope, el miope no tiene posibilidad de compensación por acomodación. Logrando mejorar la visión remota, mediante una reducción de la hendidura palpebral, es decir, manteniendo instintivamente los párpados casi cerrados. Así mediante este efecto de diafragmado, se hacen menores los círculos de dispersión incidentes sobre la retina, logrando una visión más nítida. Este desorden ocasiona con periodicidad dolores oculares y cefaleas.

La edad de aparición de esta ametropía oscila, por lo común, entre el nacimiento, para la más grave, y hasta la pubertad. La miopía suele ir aumentando con progresión más o menos rápida y variable de unos individuos a otros, hasta su estacionamiento, teóricamente, cuando se alcanza el total desarrollo corporal. También puede tener un proceso evolutivo en brotes tardíos, en caso de embarazo o si sobreviene una enfermedad grave. Según su comportamiento, se puede clasificar en: miopía simple y miopía degenerativa progresiva o maligna.

La miopía simple es de comportamiento benigno, distinguiéndose las de carácter leve, incipiente o moderado, si no superan las -6 dioptrías. Estas miopías afectan al 10% de la población indoeuropea e individuos de raza asiática y son muy poco frecuentes en la raza negra. En la miopía de grado medio, por lo general, la intensidad está comprendida entre las -6 y las -15 dioptrías. Siendo grave o avanzada, las superiores a -15 dioptrías.

La miopía progresiva degenerativa o maligna es menos frecuente que la miopía

simple. Su evolución inevitable puede alcanzar valores hasta -30 dioptrías o más. La mayor incidencia se da en mujeres de origen judío, árabe o chino. Está clasificada como padecimiento ocular grave.

En el fondo de ojo del individuo que la sufre, se determina una alteración muy intensa por adelgazamiento o distensión en el segmento del polo posterior del globo ocular, que reduce considerablemente la visión, comprometiendo con gravedad su futuro visual. En grados intensos, la esclerótica sufre distensión en todo el polo posterior, dando como consecuencia el llamado: estafiloma posterior, es decir, protrusión o desplazamiento de todo el polo posterior hacia delante, con resultado óptico nefasto. Se puede producir hemorragias con recitividad en la membrana coroidea, favorecidas por desgarros de la membrana de Bruch, conduciendo a la formación de depósitos pigmentarios en la mácula, que produce un deterioro súbito que conlleva graves alteraciones de la visión central. Además, aparece una fluidificación y destrucción del cuerpo vítreo, que se encuentra hiperdistendido. La pérdida de la estructura normal del cuerpo vítreo, con su desprendimiento posterior, asociada a las degeneraciones retinianas periféricas, muy frecuentes en estos enfermos, predispone considerablemente a un desprendimiento de retina. Todo este conjunto de alteraciones se resumen como: síndrome miópico.

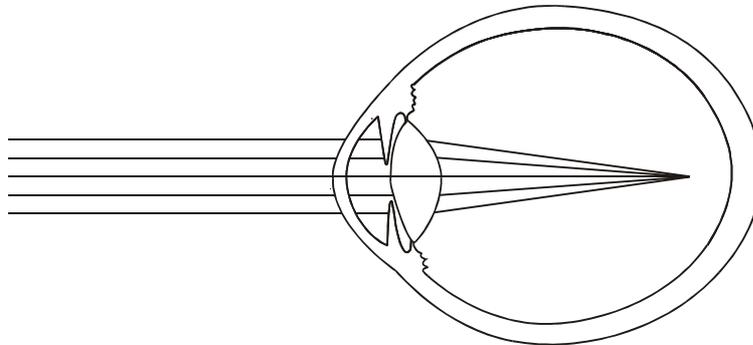


Fig. 7. Ojo miope.

Tratamiento óptico de la miopía

Se prescriben lentes esféricas cóncavas o negativas, puesto que por su acción divergente imprimen a los rayos luminosos paralelos la divergencia precisa que los hacen incidir en el plano retiniano. Como las miopías alteran con notable cuantía la agudeza visual, deben elegirse las lentes más débiles posibles entre las que determinan una máxima agudeza visual, con compensación binocular.

Aunque la corrección con lentes montadas en gafa no influye especialmente sobre la evolución de la miopía, y no existe ninguna medida eficaz que impida su progresión, el uso de lentillas de contacto está justificado, sobre todo, si con ellas, además, de tener la ventaja estética, aportan una mayor agudeza visual, y al estar en contacto con el ojo, están libres de las aberraciones de las gruesas lentes aéreas. Es conveniente que la persona miope lleve permanentemente su corrección, incluso para leer, a fin de que realice los trabajos fisiológicos de acomodación.

Es de sumo interés el mejoramiento del estado general del miope mediante los oportunos tratamientos reconstituyentes, concienciar al individuo en llevar un régimen de vida higiénico, absteniéndose de trabajos físicos pesados, evitando especialmente los nocturnos o los que únicamente se realicen con iluminación artificial. La prescripción de tónicos musculares que puedan tonificar el músculo ciliar, en caso de astenopía, o cuando

los trabajos de cerca produzcan fatiga ocular, es con toda probabilidad conveniente.

El astigmatismo

Un sistema dióptrico, como es el caso del ojo, se dice que es estigmático, si cumple la llamada condición de estigmatismo, la cual enuncia: un sistema es estigmático, si a cada punto del espacio objeto le corresponde uno y sólo un punto del espacio imagen. Esta condición establece una correspondencia unívoca entre el objeto y la imagen, por la cual la imagen será siempre un fiel reflejo del objeto. Si un sistema óptico no cumple esta condición, se dice que es astigmático.

El astigmatismo es un defecto de refracción debido al hecho de que algunas de las superficies refractivas del ojo, principalmente la córnea, no son uniformemente esféricas, porque el grado de su curvatura no es exactamente el mismo en los diversos meridianos de su superficie, especialmente, a lo largo de dos meridianos perpendiculares entre sí, presentando uno de ellos el grado máximo de curvatura, por lo tanto, el mayor poder convergente, y el otro el mínimo grado de curvatura, por consiguiente, el menor poder convergente. Estos meridianos perpendiculares, es decir, tanto el de curvatura más intensa como el de curvatura mínima, se denominan: meridianos principales.

El ojo astigmático como consecuencia de las desiguales curvaturas que presentan los diferentes meridianos, tendrá una refracción distinta, según el meridiano estimado. Conforme a lo dicho, el punto focal, que resulta de la convergencia de los rayos luminosos introducidos en el ojo, no es un punto, sino una línea, denominada: línea focal. Esto es, debido al hecho de que la refracción que sufren los rayos luminosos que inciden sobre la córnea, no es de la misma magnitud en cada uno de los meridianos de la misma, de forma que los rayos luminosos que procedan de los meridianos de mayor curvatura, es decir, de mayor poder convergente, se reúnen antes y forman la parte anterior de la línea focal; mientras que los rayos luminosos que inciden sobre los meridianos de menor curvatura, o sea, menos convergentes se reúnen por detrás, formando la porción posterior de la línea focal.

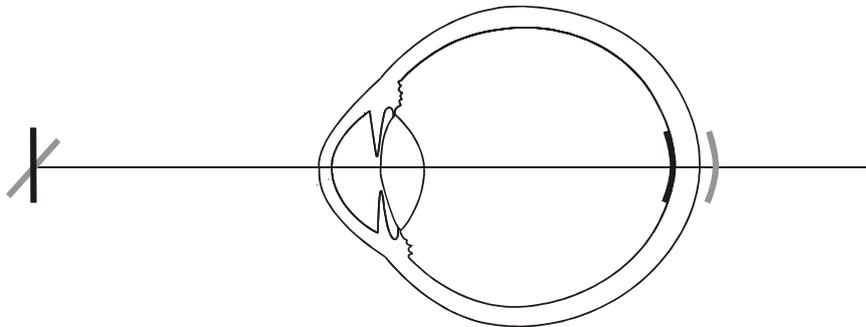


Fig. 8. Ojo astigmático.

En el ojo astigmático el meridiano más refringente es el vertical, o el cercano a éste, por lo tanto, ve distintamente el diámetro vertical del cuadrante, es decir, que las imágenes que se forman en el cuadrante vertical las percibe con toda claridad, mientras que las formadas en el cuadrante perpendicular las verá difuminadas o poco precisas. Los diámetros comprendidos entre los dos extremos tienen una claridad intermedia, siendo menos nítidos cuanto más se separan del diámetro vertical. Consecuentemente, se comprende fácilmente que el ojo astigmático no pueda enfocar simultáneamente los diversos radios de una rueda o los barros que forman una celosía.

El astigmatismo puede ser regular o irregular e hipermetrópico o miópico, según

esté combinado con hipermetropía o con miopía. El astigmatismo regular, generalmente, es de origen congénito y se clasifica en simple, compuesto y mixto, mientras que el astigmatismo irregular, menos frecuente, es originado por procesos patológicos de la córnea, generalmente como consecuencia de una curación irregular de traumatismos o inflamaciones, especialmente úlceras, que determinan una deformación de la superficie de la córnea. Otra causa importante, aunque más rara es el queratocono, es decir, una deformación de forma cónica de la córnea producida por una variedad de estafiloma transparente.

En el caso del astigmatismo simple uno de los focos se sitúa sobre la retina. El otro puede encontrarse por delante o por detrás de ella, de manera que un meridiano es emétrepe y el otro hipermétrepe o miope. Éstos se designan respectivamente como astigmatismo hipermétrepe simple o astigmatismo miópico simple.

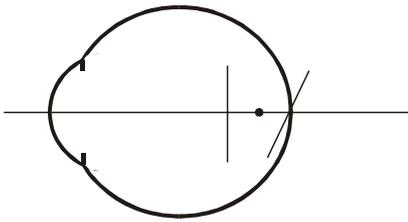


Fig. 9. Astigmatismo hipermétrepe simple.

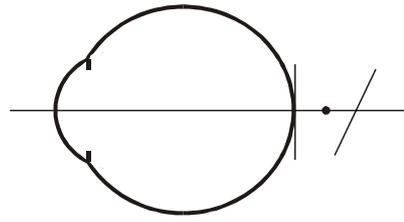


Fig. 10. Astigmatismo miópico simple.

En el astigmatismo compuesto ninguno de los dos focos se sitúa sobre la retina, sino que están por delante o por detrás de ella. El estado de refracción es entonces totalmente hipermétrepe o miópico. El primero se llama astigmatismo hipermétrepe compuesto, y el segundo astigmatismo miópico compuesto.

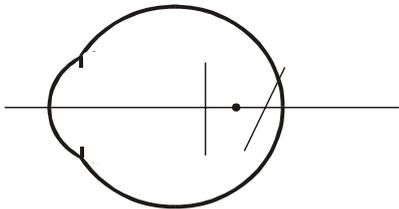


Fig. 11. Astigmatismo hipermétrepe compuesto.

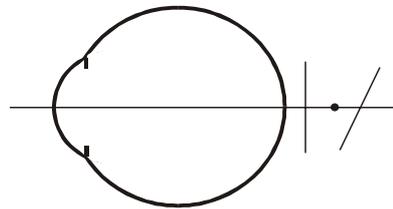


Fig. 12. Astigmatismo miópico compuesto.

En el astigmatismo mixto un foco está delante y el otro detrás de la retina, de forma que la refracción es hipermétrepe en una dirección y miope en la otra.

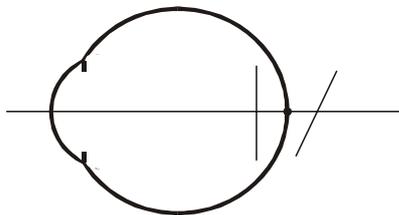


Fig. 13. Astigmatismo mixto.

El astigmatismo, que como se ha visto es un defecto de la refracción esférica, imposibilita la formación de una imagen puntiforme en la retina, por lo que la visión de los objetos enfocados da una imagen borrosa e imprecisa a cualquier distancia, puesto que nunca un punto objeto produce un punto imagen, sino dos líneas focales imagen separadas entre sí.

Este defecto de la refracción tampoco tiene compensación mediante la acomodación. El individuo que lo sufre tiende a contraer los párpados, de esta forma, con la reducción de la hendidura palpebral que obtiene, en caso de astigmatismo regular, generalmente, estacionario durante toda la vida, intenta eliminar los rayos luminosos periféricos, dejando pasar sólo los rayos luminosos centrales. Los esfuerzos infructuosos de tratar de compensar este defecto de refracción, dan lugar a la aparición de síntomas de astenopatía y, sobre todo, deslumbramiento derivado de la refracción irregular de la luz.

El ojo emélope es ligeramente astigmático. Esto es el resultado de, como se ha dicho, que la córnea en su estado fisiológico no es exactamente esférica, al no poseer sus diversos meridianos la misma curvatura. Este astigmatismo es de 1 dioptría y se denomina: astigmatismo regular de grado fisiológico.

Una forma empírica para poner de manifiesto el astigmatismo es la exploración mediante el cuadrante de Green, descrita en el apartado de los optotipos.

Tratamiento óptico del astigmatismo

El astigmatismo regular siempre se debe corregir, si provoca molestias por estenopía o produzca deterioro considerable de la agudeza visual. Se prescriben lentes cilíndricas, que actúan sobre uno de los meridianos principales con una acción de convergencia o de divergencia, es decir, cilindros positivos o negativos, sin modificar para nada el otro meridiano perpendicular, mediante lentes neutras, de esta forma se consigue la capacidad de refracción del ojo solamente en el meridiano que determina la desviación de la curvatura.

En los defectos de refracción combinados, es decir, con hipermetropía o miopía, es imprescindible la prescripción adicionalmente a la lente esférica, la lente cilíndrica necesaria para compensar la diferencia axial, es decir, una lente combinada esferocilíndrica.

La corrección óptica del astigmatismo irregular no es posible mediante lentes aéreas y sólo se realiza mediante lentes de contacto rígidas, que forman una película lagrimal debajo de ellas que regulariza la superficie de la córnea.

Existen diferentes métodos para determinar la corrección necesaria en el astigmatismo. Entre ellos el más conocido es la esquiascopia o queratoscopia, es decir, la investigación del estado de refracción de un ojo mediante el examen de la sombra o de los reflejos provocados por el médico en la retina por medio de la iluminación directa del oftalmoscopio. También se han diseñado varios instrumentos especiales llamados oftalmómetros, cuyo principio está basado en la oftalmoscopia indirecta, que permiten determinar con toda precisión el grado de astigmatismo y su clase mediante la medición de la curvatura de la córnea y, con ello, el poder de refracción de los dos meridianos principales. Entre los oftalmómetros más conocidos, sin desestimar al resto, se encuentran: el de Rodenstock, el de Javal-Schiötz, y el de Littmann-Zeiss.

La presbicia

No se debe confundir la hipermetropía con la presbicia, pues aunque ésta consiste en la visión buena de los objetos lejanos y defectuosa de los objetos cercanos, tiene un origen totalmente diferente. Como se ha visto, la presbicia es la pérdida de la acomodación por el paso de los años. Su tratamiento se realiza por medio de lentes convexas, que por su acción convergente permiten que los rayos luminosos se reúnan en la retina, en la superficie posterior, en vez de reunirse detrás, en la visión de los objetos cercanos.

Cuando se corrija la hipermetropía, miopía y astigmatismo ópticamente, se deberá añadir a la lente de corrección de las citadas ametropías el correspondiente suplemento para la presbicia, si acaso la hay.

CAJA DE LENTES DE PRUEBA

La corrección de las distintas ametropías se realiza, situando delante de los ojos lentes adecuadas que compensen o neutralicen los defectos de refracción. De entre las distintas formas de situar las lentes delante de los ojos, la más generalizada suele ser por medio de una gafa, que las sujeta mediante una moldura o armazón de plástico o metálico, la cual se adapta al puente de la nariz, manteniéndose en posición por medio de dos varillas curvadas o patillas afianzadas alrededor de las orejas.

La prescripción de lentes correctoras es una misión del médico oftalmólogo, que tiene a su cargo el tratamiento médico o quirúrgico de toda patología y anomalías de los ojos. La preparación y el buen ajuste de las gafas con un centrado óptimo de las lentes es condición del óptico u optometrista. Sin embargo, en determinados errores de refracción, acomodación y motilidad del ojo, el ensayo, prescripción y adaptación de las lentes que corrijan tales defectos, así como el acondicionamiento de lentillas de contacto, de prótesis oculares y la práctica de ejercicios ortópticos, sin el uso de drogas, medicina o intervención quirúrgica, también es facultad del óptico optometrista.

Entre los métodos subjetivos para averiguar la potencia necesaria de la lente de la gafa, con los cuales se obtiene una agudeza visual óptima, dando como resultado la neutralización de los defectos de refracción, existen diversos aparatos especiales, como los forópteros. Estos instrumentos se fundamentan en la combinación y aplicación de forma automática de las distintas lentes de la llamada caja de lentes de prueba, que por excelencia es la base para la corrección de todo defecto de refracción en la visión ocular. Sin menosprecio a estos instrumentos, que por su importancia se han mencionado, vamos a hablar de la caja de lentes de prueba.



Fig. 14. Foróptero.

La caja debe disponer de suficiente cantidad de lentes de prueba para poder situar, delante de los ojos, toda combinación razonable de lentes esféricas, cilíndricas y prismáticas. Una caja de pruebas, desde el punto de vista práctico, deberá tener, al menos, lentes esféricas cóncavas y convexas, cuya progresión para cada una de ellas corresponda a 0,25 dioptrías, hasta llegar a las 4 dioptrías; con aumento de 0,50 dioptrías en 0,50 dioptrías hasta las 6 dioptrías; y a partir de ahí su crecimiento individual será de 1 dioptría hasta las 14 dioptrías, así como de 2 dioptrías hasta las 20 dioptrías. Por lo que respecta a las cilíndricas cóncavas y convexas, la caja dispondrá de lentes de 0,25 en 0,25 dioptrías hasta 2 dioptrías y de 0,50 en 0,50 hasta las 6 dioptrías. En cuanto a las lentes prismáticas, cada una de ellas será de 1° , 2° , 3° sucesivamente hasta 10° pudiendo tener, además, dos lentes prismáticas de 15° y dos de 20° . Independientemente, la caja deberá contener algunos accesorios como: discos oclusores opacos, discos con agujero y hendidura estenopeicos, lentes de color, varillas de Maddox, etc. Una caja con estas características posibilita prácticamente todas las pruebas funcionales posibles.

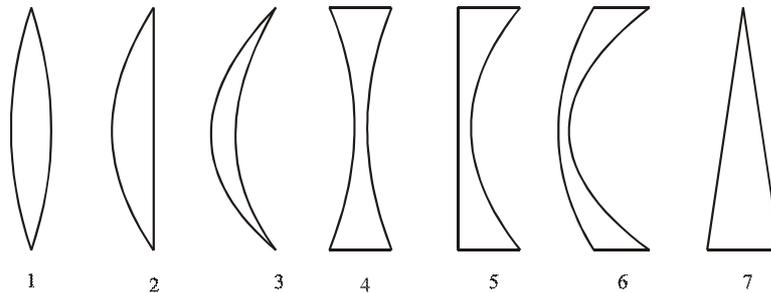


Fig. 15. Sección de las diferentes formas de las lentes. 1) *Biconvexa*. 2) *Planoconvexa*. 3) *Concavoconvexa*. 4) *Bicóncava*. 5) *Planocóncava*. 6) *Convexocóncava*. 7) *Prisma*.

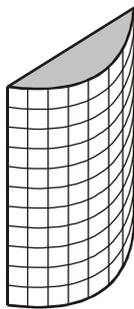


Fig. 16. Cilindro convexo.

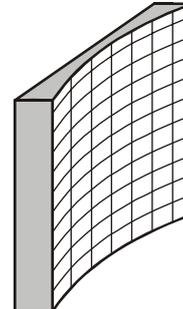


Fig. 17. Cilindro cóncavo.

Existen varios modelos de cajas de prueba, independientemente de la cantidad y características de las lentes que contengan. Los hay desde modelos portátiles, hasta modelos que pueden colgarse de la pared. Pero el modelo más usual es el que está instalado sobre una mesa auxiliar. La configuración de esta caja recuerda un pupitre o buró y tiene, como éstos, la tapa inclinada que, deslizándose en forma de persiana, abre y cierra con gran comodidad, evitando que el polvo se deposite sobre las lentes. El interior se encuentra debidamente forrado y ranurado. Cada ranura tiene inscrita la potencia de la lente que acoja y le corresponda.

En la actualidad, las lentes que contienen las cajas de prueba son finas, de tamaño relativamente pequeño, unos 21 mm de abertura, es decir, de diámetro, protegidas por un aro de metal ligero o plástico de 38 mm de diámetro, con una pestaña en la que tiene inscrita la potencia, posibilitando, además, su manejo. Con el fin de identificar con facilidad

el tipo de lente, su aro de protección es de color, generalmente, rojizo para las cóncavas y verdoso para las cilíndricas. El eje vertical de las lentes cilíndricas y el de las prismáticas están debidamente marcados mediante dos pequeños relieves en forma de flecha, uno arriba y otro abajo, dispuestos en los aros protectores de la lente, cuya utilidad práctica es indicar, como se deduce, el eje principal y, por otra parte, marcar sobre el transportador de ángulos de la gafa de pruebas el ángulo en que se coloca en cada momento.

Otra de las características de suma importancia es que las lentes son perfectamente planoconvexas y planocóncavas, con lo cual, al colocarlas en la gafa de pruebas, pueden disponerse muy juntas una detrás de la otra, concordando en lo posible en cuanto a forma y espesor con la gafa que se vaya a llevar posteriormente, al lograr una buena aproximación a los ojos durante la corrección. En contraposición, no ocurre igual con el empleo de las lentes biconvexas y bicóncavas, mucho más gruesas y de gran abertura, que tenían las antiguas cajas de prueba.

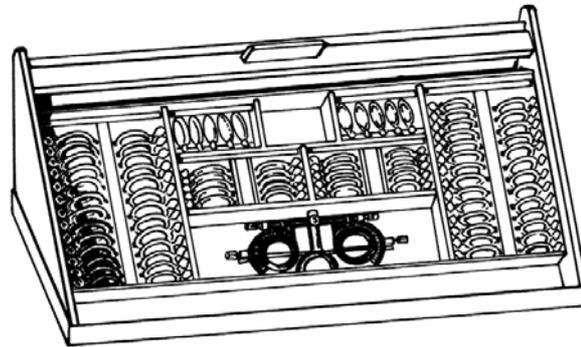


Fig. 18. Caja de lentes de prueba.

GAFAS O MONTURA DE PRUEBAS

Para la colocación de las lentes de prueba, durante la exploración subjetiva de la refracción, se utiliza una montura o gafa de ensayo, comúnmente llamada gafa de pruebas. De este instrumento existen varios modelos, distinguiéndose unos de los otros por una serie de complementos previstos para determinadas exploraciones. Pero en el caso que nos ocupa hablaremos de las características mínimas que debe tener una gafa de pruebas para uso universal.

Su fabricación será de metal ligero, no sobrepasando los 60 gramos de peso. Dispondrá de un soporte cómodo para el puente de la nariz, y permitirá el ajuste a cada ojo por separado, tan necesario para que al colocar las lentes queden a la distancia mínima o estándar del ojo y exactamente centradas. Por tanto, deben ser posibles el ajuste anteroposterior, los laterales y el vertical.

El ajuste de cada ojo se realiza utilizando tres ranuras o soportes, que al menos debe tener la montura y en donde la lente esférica se situará en el soporte más cercano al ojo, la lente cilíndrica en el del centro y el más distal, para colocar un prisma, una varilla de Maddox, etc.

El compartimento destinado al cilindro de la gafa debe poder someterse a una rotación suave y exacta para que no sea difícil lograr la dirección correcta del eje. Recordemos que el cilindro no tiene potencia a lo largo de su eje, su máxima potencia está siempre a 90° del eje, por lo que en la prescripción de un cilindro siempre debe designarse el eje. Para cumplir con tal prescripción, el compartimento o soporte en el cual se sitúa la lente cilíndrica se puede girar, como se ha indicado, sobre la moldura fija graduada para la medición de la posición del eje de la lente, es decir, la moldura dispone de un transportador de ángulos.



Fig. 1. Gafa o montura de pruebas.

La distancia interpupilar es graduable para el ojo derecho y el izquierdo por separado, siendo la ideal de 48 a 80 mm. La medición se realiza mediante una regla milimétrica graduable dispuesta horizontalmente en la gafa. El puente de la gafa y la distancia a la nariz es variable, esto se mide por medio de una regla milimétrica que tiene la gafa en disposición vertical. Esta gafa cuenta con un dispositivo para medición de la

distancia exacta comprendida entre el vértice de la córnea y el vértice posterior de la lente. Este dispositivo es otra regla milimétrica y transparente, situada en orientación anteroposterior y adherida a las pequeñas pestañas salientes de la moldura circular del transportador de ángulos de la gafa de pruebas, lugar donde también está sujeta la patilla.

Por último, las patillas son articuladas y de longitud variable, a fin de que puedan angularse cuando se compruebe la visión cercana mediante lectura. Las charnelas o bisagras deben tener la posición más baja posible en la moldura, lo que permitirá introducir las lentes por el lado de las ranuras o soportes posteriores.

EL FRONTOFOCÓMETRO

La focometría

La medida de la distancia focal es el parámetro más relevante que define una lente. La focometría es la técnica empleada para la medición de la distancia focal de las lentes y, de esta forma, conocer su potencia.

Antiguamente se colocaba adherida a una lente a medir, otra lente de una caja de prueba, procediéndose a sustituir ésta una y otra vez hasta conseguir que el conjunto de ambas lentes formara una lámina plano-paralela, de forma que sus ejes ópticos estuvieran confundidos. Este método conocido como técnica de neutralización, presenta el inconveniente de ser un sistema afocal, al no tener aumento unidad. Esta técnica solamente es aproximada.

En la actualidad para medir las distancias focales se emplea el frontofocómetro. Este instrumento permite, además, conocer la desviación de los meridianos principales, es decir, el astigmatismo y medir efectos prismáticos.

El frontofocómetro y sus partes

El frontofocómetro habitual está constituido por un sistema de enfoque y un sistema de observación. La fuente de iluminación de este instrumento, así como un test móvil, y el sistema de colimación, forman el sistema de enfoque, mientras que un anteojo enfocado al infinito con un retículo incorporado, forman en su conjunto el sistema de observación.

La fuente de iluminación del test debe ser la adecuada para que no se pueda observar su filamento. Como fuente de iluminación lo adecuado es el uso de un condensador. Así mismo, es conveniente el uso de un filtro rojo o bien verde, de esta manera, no existirán aberraciones cromáticas.

El test adecuado debe poder permitir la observación tanto del enfoque como de las diferentes desviaciones posibles. Generalmente, consiste en una serie de puntos formando un círculo y, a veces, una cruz compuesta por varias líneas paralelas muy finas.

El alma del frontofocómetro es una lente colimadora convergente, cuya potencia es del orden de 30 dioptrías. En el foco de dicha lente está situado el apoyo soporte de la lente a medir o lente problema.

El sistema de observación está formado, generalmente, por un objetivo acromático y un ocular, si bien en ocasiones se utiliza una estructura de proyección. Normalmente este sistema dispone de una retícula que permite la medición tanto de las dioptrías prismáticas como de los meridianos principales de las lentes astigmáticas.

El frontofocómetro está limitado por la potencia de la lente colimadora, ésta suele ser del orden de 20 ó 25 dioptrías, es decir, inferior a la potencia de la lente colimadora. En cuanto a la precisión, generalmente, el error es mayor en las lentes de potencia alta o media que en las de baja potencia. Es usual encontrarse con precisiones del orden de 0,25 dioptrías para las primeras y de 0,12 para las segundas, si bien los frontofocómetros de lectura digital tienen escalas que presentan sensibilidad de 0,01 dioptrías, aunque realmente, después

de efectuar varias mediciones sobre la misma lente, no se consigue un error inferior a 0,1 dioptrías, de lo que se infiere que esta es la máxima precisión.

Con referencia a la orientación del test, para determinar lentes astigmáticas nos encontramos con pasos de 1° ó de 5°, si bien el límite queda determinado por la deformación del sistema óptico.

El ajuste ocular para el observador del frontofocómetro

Si el dispositivo de observación es de proyección, serán las lentes correctoras del observador las que se encarguen de acomodar la imagen proporcionada por el frontofocómetro. Si se trata de un sistema de observación antejo-ocular, éste suele disponer de un sistema de ajuste que permite enfocar la imagen tanto al ojo miope como al hipermetrope.

En cualquier caso, debe verificarse, sin colocar ninguna lente en el frontofocómetro, que se observa la imagen con nitidez con la escala de potencias a cero.

Para evitar la estimulación de la acomodación del observador, es conveniente utilizar la siguiente técnica: desenfocar y con rapidez buscar el enfoque, sin realizar movimientos hacia delante y hacia atrás, intentando conseguir enfoque exacto, siendo siempre conveniente hacerlo con los dos ojos abiertos.

Medida de lentes monofocales

Para efectuar la medida de las lentes esféricas, que son empleadas para la compensación de ametropías esféricas, es decir, la miopía e hipermetropía, se procederá de la siguiente forma:

Se coloca la lente problema sobre el soporte, ajustándose la rueda hasta enfocar el test, sin olvidar, como se indicó con anterioridad, calibrar el ocular al observador que realiza la medición, teniendo en cuenta que la lente debe ser colocada sobre el soporte por su parte cóncava, así como asegurarse de que el eje óptico de la lente coincida con el del frontofocómetro, de forma que se vea el test perfectamente centrado en la retícula.

Se debe recordar que, cuando se realiza una medición, hay que desenfocar y enfocar con rapidez, pudiéndose efectuar varias mediciones y realizar una medida aritmética, para poder determinar con la mayor exactitud la potencia de la lente problema.

Para la medición de lentes astigmáticas el frontofocómetro no da información alguna del tipo de superficie, que puede ser cilíndrica o tórica, tan sólo nos proporciona las potencias frontales correspondientes a los dos meridianos principales de la lente.

En la medición se enfoca el test dos veces, apareciendo el test nítido en ambos enfoques, si bien estará deformado en las dos direcciones que son perpendiculares entre sí. Con este test observamos las dos potencias y los ángulos de deformación. El astigmatismo viene dado por la diferencia de las dos potencias frontales.

Los frontofocómetros disponen de un sistema asociado para colocar las lentes de contacto y poder realizar medidas de las mismas, usando el mismo método descrito para las lentes esféricas.

El frontofocómetro en los Centros de Reconocimiento de Conductores solamente se utiliza para determinar la potencia de las lentes y verificar que se encuentran dentro de los límites determinados por el **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, en su ANEXO IV,

punto 1. CAPACIDAD VISUAL, apartado 1.1, Agudeza visual, el cual señala que si se precisa corrección con gafas, la potencia de éstas no podrá exceder de ± 8 dioptrías. Por todo lo dicho, no se profundiza en la determinación de la orientación, ni en las fórmulas que determinan los diferentes tipos de lentes y, por supuesto, no preocupa el marcado para el centrado de la lente a fijar en la montura.

Medida de lentes multifocales y progresivas

El método clásico consiste en medir las potencias focales de la zona de lejos y de cerca, obteniendo cada una de las medidas. Llamaremos P_L a la potencia de lejos, que se obtiene apoyando sobre el soporte la superficie cóncava de la lente en el centro óptico de ésta, que suele ser coincidente con el centro geométrico de la lente, y P_C a la potencia de cerca, que se obtiene colocándola en el centro óptico por donde mira el individuo, alcanzando la adición por diferencia: $A = P_C - P_L$. Hay que tener en cuenta que, generalmente, existen fuertes efectos prismáticos e, incluso, a veces será necesario un compensador de prismas (diasporámetro) para centrar el test y poder realizar la medida.

Para mediciones más exactas existe un procedimiento que se denomina: método de adición efectiva, que por su complejidad es necesario realizar en las ópticas, para luego conseguir una perfecta visión.

Por último, hay que hablar del autofrontofocómetro, que no es más que un frontofocómetro al que han incorporado los avances tecnológicos en automatismos aparecidos en los últimos años. En él no es necesario enfocar y da las mediciones de forma automática. Este instrumento se emplea en la fase de fabricación de elementos oftálmicos.



Fig. 1. Frontofocómetro.

EL CAMPÍMETRO

El campo visual

Se entiende por campo visual la zona del espacio en la que quedan englobados todos los objetos que se perciben fuera del punto de fijación de nuestra mirada. El punto de fijación es aquel en el eje visual en que se ve más claramente un objeto. El ejemplo comparativo del Dr. H. M. Traquair expone que el campo visual es: «como una isla de visión rodeada por un mar de ceguera.»

La mácula lútea es la parte de la retina destinada a proporcionar una auténtica visión clara de los objetos en que fijamos la mirada. Este poder de resolución es debido a los conos que contiene. En el centro de la mácula hay una pequeña excavación o hundimiento, que como recordaremos recibe el nombre de fovea central, siendo este el lugar en donde se encuentran la mayor parte de los conos de la retina, careciendo de bastoncillos. Esta zona es la de mayor agudeza visual. El resto de la retina que no corresponde al segmento macular está formada, además, por bastoncillos entremezclados con los conos, decreciendo estos últimos rápidamente en número, conforme nos alejamos del centro de la retina, hasta llegar a faltar en toda la zona periférica retiniana.

De esta manera, se entiende que, cuando los objetos están situados fuera del punto de fijación de nuestra mirada, la retina nos trasmite una visión no muy exacta, descendiendo el poder de resolución, la percepción para los colores e, incluso, las formas pero, en cambio, la visión es extensa, es decir, con un ángulo muy amplio. La amplitud de este ángulo de visión es llamado campo visual periférico. Recordemos que el campo visual no es un plano, sino una estructura tridimensional.

El campo visual monocular, en el individuo normal, tiene forma de óvalo discretamente irregular, cuyos límites se extienden aproximadamente unos 90° hacia la parte externa o temporal, 60° por la interna o nasal, 60° por la parte superior y 70° por la inferior. Esta diferencia de extensión se explica por la protección del ojo en la órbita, es decir, por el reborde orbitario, la nariz, la mejilla y, consecuentemente, presenta variaciones propias en cada individuo.

El campo visual binocular es la combinación de los campos monoculares, es decir, cuando las porciones centrales de los campos visuales de ambos ojos se solapan en gran medida y son vistas con ambas retinas al mismo tiempo. Con una forma aproximadamente oval, todo el campo visual binocular se propaga lateralmente casi 200° y verticalmente hasta 130°. Su constitución se considera en dos porciones, el campo lateral, comprendido dentro del radio de 30° desde el punto de fijación, y el campo periférico, que comprende el resto del campo visual.

Una forma práctica de representar gráficamente el campo visual es dividirlo en cuatro cuadrantes. Una línea horizontal, que al pasar sobre el punto de fijación, fracciona el campo visual en dos mitades: superior e inferior; estas mitades, mediante una línea vertical, que también pasa por el punto de fijación, divide el campo en cuadrantes. Las mitades superior e inferior del campo visual son de un tamaño casi igual, no siendo así las mitades nasal y temporal, por causa del emplazamiento excéntrico del punto de fijación, siendo la

mitad temporal mucho más extensa que la nasal. Como se desprende, esta excentricidad es dada en gran medida por la disposición del reborde orbitario y las restricciones del campo nasal y ceja.

Remitiéndonos al concepto del Dr. Traquair, al comparar el campo visual «como una isla de visión rodeada por un mar de ceguera,» expone que la isla tiene forma oval, con una costa regular, que se eleva abruptamente desde el mar en escarpados acantilados, continuando éstos por una meseta inclinada subiendo hasta una cumbre excéntrica colocada, que se prolonga hacia arriba en un pico con forma de aguja. Junto al pico hay una excavación o pozo, que se extiende hasta el nivel del mar. Esta es la mancha ciega, también llamada punto ciego o escotoma fisiológico. Igualmente se la denomina: mancha ciega normal de Mariotte.

La mancha ciega es un óvalo vertical con bordes curvos, midiendo aproximadamente $5,5^\circ$ de ancho y $7,5^\circ$ de altura. Con frecuencia su delimitación está situada a 15° temporalmente respecto al punto de fijación y $1,5^\circ$ por debajo del meridiano horizontal.

El límite del espacio dentro del campo de visión, donde puede ser percibido un objeto por el individuo normal, puede ser marcado mediante una serie de círculos o líneas de contorno. Estos círculos, al ser transportados sobre un mapa o gráfico, nos recuerdan las líneas de contorno, que en los mapas rodean una zona situada por encima de una determinada altitud. Estas líneas de isosensibilidad, así definidas, son conocidas con el nombre de isópteras, es decir, en perimetría las líneas que limitan un área de visión en cuyo interior es visible un estímulo de un determinado tamaño. El punto central desde el cual se miden estas isópteras corresponde al eje visual, es decir, al punto de fijación.

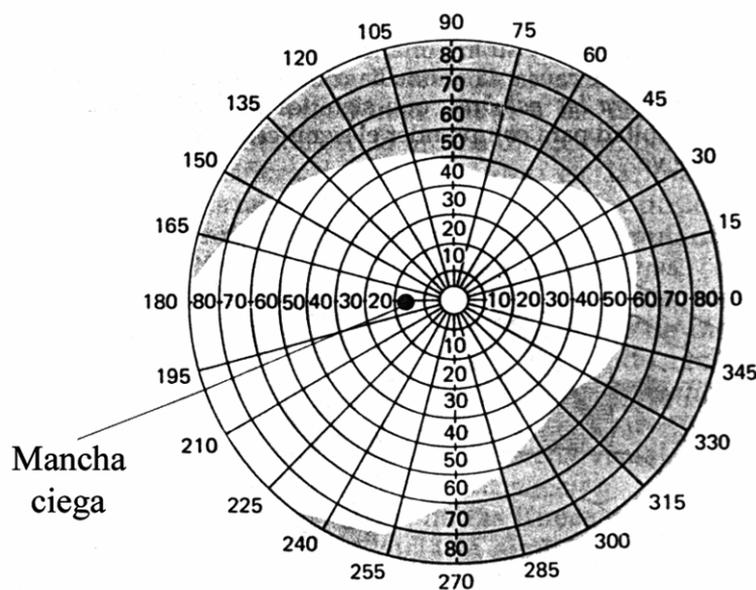


Fig. 1. Gráfico registrando los límites periféricos y mancha ciega que muestra el campo de visión normal para el ojo izquierdo.

La forma y tamaño de las isópteras en el campo visual normal son relativamente

constantes, pero muestran variaciones e irregularidades muy características cuando por una enfermedad queda alterada la vía óptica. La correcta interpretación de estas variantes puede hacer posible la localización anatómica, dentro de la vía óptica, del lugar de la lesión que ha provocado la anomalía.

Las líneas de contorno o isópteras son expresadas como una fracción determinada por el tamaño del estímulo, así como la distancia a que éste se sitúa, es decir, la distancia desde la cual lo percibe el individuo explorado. Se escriben en forma de fracción, en milímetros, siendo el numerador el tamaño del estímulo o índice de exploración. De manera que la isóptera que corresponde a un estímulo de 1 milímetro visto por un individuo a una distancia de 2 metros, se expresa por la fracción 1/2000, y designa el área específica del campo visual que, dentro de la misma, la persona normal debe ver este estímulo. La distancia variará de acuerdo con el tipo de campímetro utilizado.

El tamaño de los distintos estímulos o índices que tienen forma elíptica, es representado en números romanos del I al V. La equivalencia de estos números es el tamaño real en mm². La equivalencia del tamaño I corresponde a 0,25 mm², el II a 1 mm², el III a 4 mm², el IV a 16 mm², y el V a 64 mm². Por regla general, salvo excepciones, se suele utilizar el tamaño estándar correspondiente al tamaño de 4 mm², el cual equivale al tamaño III.

La luminosidad básica del estímulo ha sido fijada en 33 veces mayor que la del fondo donde es presentado el estímulo, siendo esta luminosidad del fondo de 31,5 asb. La luminosidad del estímulo es expresada en cifras árabes del 1 al 4, cuya equivalencia numérica al número 1 corresponde 0,0341 U.L. psb, al 2 a 0,096 U.L. psb, al 3 a 0,315 U.L. psb y al 4 a 1 U.L. psb.

Esta serie de equivalencias entre la intensidad del índice y su tamaño, así como la luminancia del fondo, se han convertido en clásicas en casi todos los campímetros de cúpula. Los valores fueron elegidos por el profesor Hans Goldmann, de manera que, atendiendo al concepto de suma espacial, dos estímulos en los que la suma de la superficie y la luminancia sea igual permitirán obtener isópteras más o menos idénticas, en individuos normales, al menos en el campo visual medio. Así, por ejemplo, las isópteras III/1 y I/3 serán equivalentes.

Existe una gran variedad de técnicas para examinar los campos visuales. Habitualmente, la exploración se realiza con estímulos de diversos tamaños a diferentes distancias, sometiendo a examen diversas isópteras con estímulos que subtienden distintos ángulos visuales, ya que sólo así puede estimarse en forma cuantitativa la agudeza visual relativa dentro del campo visual. Generalmente, la mayoría de los métodos están basados en la respuesta subjetiva de la persona explorada a un estímulo visual. En la campimetría cinética o isóptérica, llamada igualmente topográfica, el estímulo se mueve hasta que el individuo indica que es visible. En la campimetría estática o de perfil, denominada también cuantitativa o de umbral luminoso, se aumenta la intensidad gradualmente del estímulo fijo, hasta que el individuo lo percibe.

Como ya se dijo anteriormente, la isóptera es designada por la fracción: índice (I) dividido por: distancia (D), o numéricamente: 1/330 ó 2/2000 ó por cualquier notación que indique el tamaño del estímulo, así como la distancia a la que se lo usa. Para convertirlo a ángulo visual en grados o minutos se multiplica la fracción por la constante: 180 dividido por: π (3,141592...), que es igual a 57,3. Si quisiéramos convertir la fracción 2/1000, debe multiplicarse por la constante 57,3 y nos dará: 0,114°, siendo igual a 6,84 minutos, es decir,

el ángulo visual subtendido por el índice de 2 milímetros a 1 metro de distancia.

Alteraciones del campo visual

Se denomina escotoma al defecto de una determinada zona del campo visual, en virtud del cual no pueden percibirse los objetos que proyectan su imagen en dicha zona, como resultado de la insensibilidad de una porción correspondiente de la retina. Es decir, es un área de parcial o total pérdida de la visión dentro de los límites del campo visual normal. El escotoma, también llamado mancha oscura, es más o menos extenso e inmóvil, está bien circunscrito dentro del campo visual y es propio de afecciones graves del ojo.

Una correcta comprensión de las alteraciones del campo visual lleva consigo el conocimiento exhaustivo de la anatomía macroscópica y microscópica de la vía óptica, así como su organización funcional. Con el fin de no dejar de describir esta parte tan importante relacionada con los estudios del campo visual, recordar al menos con brevedad y de forma somera la vía óptica es lo más indicado.

La vía óptica es una vía sensorial y corresponde al tipo general de vía aferente que lleva impulsos al cerebro. Se compone principalmente de las siguientes zonas: retina, nervio óptico, quiasma óptico, cintillas ópticas, cuerpos geniculados laterales, radiaciones ópticas y corteza visual.

La retina es el lugar de iniciación de la vía óptica. Cuando los rayos luminosos procedentes del exterior atraviesan los medios oculares, llegando al interior del ojo, son recibidos por la neurona de primer orden, la cual está constituida por los fotorreceptores (conos y bastones). A partir de este punto, los rayos luminosos sufrirán un estímulo tras cambios químicos, histológicos y eléctricos, que hará, finalmente, que transmitan impulsos eléctricos a las neuronas de segundo orden, o células bipolares, a través de los axones, que hacen sinapsis entre ambas, para continuar a las células ganglionares, o de tercer orden, también mediante la sinapsis de las dendritas de estas células, hasta que la conducción de la información sea llevada mediante los axones al inicio del nervio óptico, o sea, la papila, también denominada disco óptico.

Es importante recordar que una línea imaginaria atravesando verticalmente el centro de la mácula, es decir, la fovea, divide la retina en dos mitades: la nasal y la temporal. El rafe horizontal divide a su vez la retina en dos porciones: superior e inferior. Tal y como se comentó con anterioridad, la proyección en el campo visual de estas dos líneas representa los meridianos vertical y horizontal, quedando de esta forma dividido dicho campo visual en cuatro cuadrantes.

La ordenación de las fibras nerviosas en el ámbito retiniano es la siguiente:

- Las fibras procedentes de la mácula, constituyendo el haz papilo-macular, penetran en la papila por su zona temporal, llevando una dirección horizontal. Representan el 65% de las fibras del nervio óptico.
- Tanto las fibras temporales superiores como las inferiores caminando de forma arqueada por encima y por debajo del haz papilo-macular, entran en la papila por la zona superior e inferior. Recordemos que en esta disposición las fibras que se originan en el sector superior no se cruzan nunca a la parte inferior y viceversa.
- Las fibras nasales, adoptando una disposición radial, pasan al nervio óptico por la región nasal de la papila.

El nervio óptico es un fascículo del Sistema Nervioso Central tanto por su génesis, y su contenido rico en sistema glial como por estar envuelto por las mismas capas que el cerebro: piamadre, aracnoides, duramadre y espacio subaracnoideo. No se regenera, como sucede con los nervios periféricos. Este mal llamado nervio óptico, por su microestructura y destino, es conocido por los anatomistas como fascículo óptico. Está formado por 1.200.000 fibras aproximadamente y lo podemos dividir en cuatro porciones: intraocular intraorbitaria, intracanalicular e intracraneal.

La porción intraocular, con dimensiones de 1 mm de longitud y con 1,5 mm de diámetro aproximadamente, es amielínica y atraviesa la esclerótica por la lámina cribosa.

La porción intraorbitaria, de unos 25 a 30 mm de longitud, describe un trayecto ondulado, en forma de «S» itálica, en los 18 mm de distancia media entre el canal que labra en la esclerótica y el agujero óptico. En este punto por el que abandona el globo ocular, su diámetro ha aumentado hasta 3 ó 4 mm, como resultado de la mielinización de estas fibras nerviosas, es decir, la formación de la vaina de mielina que lo rodea. Esta porción mantiene la disposición de sus fibras parecida a la original, pero las fibras maculares han adoptado una posición temporal.

La porción intracanalicular corresponde a su paso a través del agujero óptico, de 8 a 10 mm hacia arriba y adentro.

Y la porción intracraneal, de unos 15 a 20 mm de longitud se dirige atrás, hacia dentro y, ascendiendo en un ángulo de 45°, hacia el quiasma óptico.

El quiasma óptico microscópicamente está formado por la unión y la decusación, o entrecruzamiento parcial, de las fibras nerviosas que componen ambos nervios ópticos. Es una estructura transversalmente ovalada, midiendo generalmente 12 mm de ancho por 8 mm de largo y 4 mm de altura. Su ubicación está situada en el suelo del III ventrículo, y por encima de la silla turca, a una distancia que oscila entre 5 y 10 mm de la hipófisis, aunque puede cambiar esta configuración hacia atrás o bien hacia delante, según variantes anatómicas.

En el quiasma los haces nerviosos adquieren una disposición anatómica peculiar; así, las fibras temporales tanto la superior como la inferior mantienen su organización retiniana y constituyen las fibras visuales directas del quiasma, atraviesan éste sin sufrir la denominada decusación o cruzamiento, es decir, lo atraviesan por el mismo lado dirigiéndose hacia atrás a la cintilla óptica. Sin embargo, las fibras nasales procedentes de las hemirretinas nasales correspondientes sí sufren una decusación, de forma que las que proceden del cuadrante nasal inferior, cruzándose en la parte antero-inferior, forman una curva de convexidad anterior, que empieza a aparecer en la raíz del nervio óptico del otro lado; a este punto se le denomina rodilla anterior de Von Willebrand. Posteriormente, discurren hacia la cintilla óptica de ese lado. Las fibras que provienen del cuadrante nasal superior decusándose en el quiasma, concretamente en la región postero-superior, forman en el inicio de la cintilla ipsolateral la llamada rodilla posterior de Von Willebrand.

Las cintillas ópticas, también llamadas tractos ópticos, se inician en el área posterior del quiasma, divergiendo lateralmente y hacia atrás hasta alcanzar el cuerpo geniculado lateral, después de un trayecto de 50 ó 60 mm. Constituyen la continuación de la vía óptica después del quiasma. En su interior se encuentran las siguientes fibras visuales:

- Temporales superiores e inferiores del ojo homolateral.
- Nasales superiores e inferiores del ojo contralateral.
- Maculares directas.

- **Maculares cruzadas.**

Estos fascículos nerviosos sufren una rotación de 45°, situándose de esta manera las fibras maculares en el centro, las temporales superiores y las nasales superiores en el lado súpero-interno, constituyendo el haz superior. Las nasales inferiores y las temporales inferiores se sitúan en el lado infero-externo, formando el haz inferior. A partir del quiasma ya no se habla de fibras temporales y nasales, sino de superiores e inferiores.

Las cintillas ópticas por sus partes posteriores circundan los pedúnculos cerebrales y alcanzan el tálamo óptico, haciéndose de esta forma la vía óptica intracerebral. Finalmente, las fibras visuales se dirigen hacia el cuerpo geniculado, estableciendo sinapsis, como ya se dijo, con la tercera neurona de la vía óptica.

Los cuerpos geniculados laterales o externos son la estación terminal de las fibras visuales de las cintillas ópticas. Son una estructura ovalada en la que se distinguen seis capas de sustancia gris y blanca dispuestas en forma alternada, enumerándose del 1 al 6 en dirección ventrodorsal.

Las fibras retinianas cruzadas terminan en las capas 1, 4 y 6; y las directas en las capas 2, 3 y 5. Las fibras maculares decusadas terminan en una zona amplia en las capas 4 y 6 y en las capas 3 y 5 las no decusadas. Las capas 1 y 2 reciben únicamente fibras de la periferia retiniana.

Las radiaciones ópticas están constituidas por los cilindroejes de las neuronas de cada una de las capas del cuerpo geniculado lateral, que saliendo de éste en un haz compacto, llamado pedúnculo óptico, irán a la corteza calcarina en el lóbulo occipital, también denominada área estriada.

Estas fibras nerviosas, abriéndose en abanico dentro del lóbulo temporal, toman dos caminos distintos: las fibras que se originan en la parte interna del cuerpo geniculado lateral, que representan la retina superior, se dirigen hacia atrás siguiendo un trayecto casi directo hacia la corteza estriada. Las fibras de la retina inferior corren hacia delante dirigiéndose al lóbulo temporal y, antes de girar hacia atrás en dirección a la corteza estriada, forman una acotadura denominada: Asa de Meyer.

Más adelante, estos dos fascículos convergen para dirigirse al lóbulo occipital y terminar distribuyéndose de forma segmentaria. Las fibras del fascículo superior terminan a lo largo del borde superior de la cisura calcarina y las del fascículo inferior al nivel de su borde inferior.

La corteza visual primaria o estriada está situada en la cara interna de ambos lóbulos occipitales; gran parte está enclavada profundamente en la cisura calcarina. Como ya se ha mencionado con anterioridad, las fibras de las radiaciones ópticas que representan cuadrantes retinianos superiores, terminan en el borde superior de la cisura calcarina y las que representan cuadrantes retinianos inferiores terminan en el borde inferior.

En general, la disposición se encuentra establecida con las fibras maculares en el lóbulo occipital y cuanto más periféricas estén ubicadas las áreas retinianas, más alejada del lóbulo occipital será su representación en la corteza visual.

La representación de la retina nasal más periférica del lado opuesto está en el extremo anterior de la cisura calcarina. Esta porción de la corteza visual es únicamente monocular y representa la parte temporal extrema del campo visual, llamado: media luna temporal.

La proyección visual de la corteza visual se conoce como «área estriada o área 17 de Brodmann», estando situada a lo largo del borde superior e inferior de la cisura calcarina.

Tras describir la vía óptica someramente, queda por indicar que, una vez recibida la información en las áreas correspondientes de la corteza occipital, ésta se analiza en el lóbulo parietal dominante, que habitualmente corresponde al izquierdo, y todo esto por un procedimiento interdependiente que, a través del cuerpo calloso, agrupa ambas informaciones, derecha e izquierda.

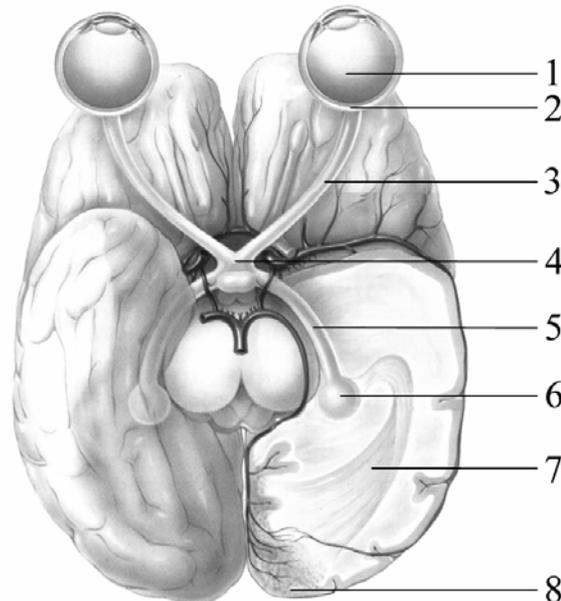


Fig. 2. Vista general de la vía óptica. 1) *Globo ocular*. 2) *Papila*. 3) *Nervio óptico*. 4) *Quiasma óptico*. 5) *Cintilla óptica*. 6) *Cuerpo geniculado lateral*. 7) *Radiaciones ópticas*. 8) *Corteza calcarina*.

Patología de la vía óptica

Cuando la vía óptica, desde su inicio en la retina hasta su terminación en el área estriada de la corteza cerebral, queda afectada por algún trastorno patológico, cuyo resultado erosione algún punto de la vía óptica, se producirá dentro del campo visual, en la mayoría de los casos, un escotoma. Este escotoma puede ser central o periférico, según la localización de la laguna en el campo óptico. En determinadas ocasiones, estos trastornos se manifiestan por la pérdida de la mitad del campo visual, es decir, una hemianopsia, que es una forma de escotoma.

Citaremos algunos de los procesos patológicos que, consecuentemente, derivan en trastornos de pérdida de visión, parcial o total, en alguna área dentro de los límites del campo visual normal, sin menoscabo de otros procesos patológicos. Entre los más conocidos por su frecuencia se encuentran: los neoplásicos, que comprometen la vía óptica; los traumáticos con lesión masiva del cerebro; los metabólicos; los degenerativos; los tóxicos; los inflamatorios y los de naturaleza vascular. Estos últimos son, de hecho, los causantes con más frecuencia de defectos en el campo visual.

Entre los diferentes defectos que afectan el campo visual hay tres básicos, éstos son: la contracción, la depresión y los escotomas.

La contracción

Cuando en la periferia del campo visual, los niveles de sensibilidad a la luz están reducidos, hasta el extremo de que los estímulos no son visibles, se dice que el campo visual está contraído.

Una contracción verdadera es muy poco frecuente y solamente puede verificarse cuando se han utilizado diferentes tamaños e intensidades de estímulos. En la contracción, el área del campo visual defectuoso debe ser totalmente ciega a cualquier estímulo que allí se presente. Las contracciones, por lo general, son defectos periféricos, pero hay que tener en cuenta que un escotoma puede definirse como una contracción si sus límites son perpendiculares, es decir, el mismo tamaño para cualquier estímulo, y que su área no responda a ningún estímulo, sea de la intensidad que sea, que se pudiera presentar en esa área. Un ejemplo de contracción verdadera es la mancha ciega, porque es totalmente ciega a todos los estímulos que se presentan en esa área.

Por lo dicho, se comprende que una contracción verdadera del campo visual se puede diagnosticar sólo después de haberse utilizado todos los estímulos posibles para su examen, incluyendo una luz móvil o, en su defecto, una toalla de baño que se agita, si fuera necesario. Nunca puede afirmarse que hay una contracción verdadera por el hecho de que un objeto de un determinado tamaño es invisible en la porción defectuosa del campo visual, si al mismo tiempo es visible un objeto de mayor tamaño. Sin la menor duda, un gráfico del campo visual que presenta una prueba para una sola isóptera no puede ser definido como un campo visual contraído. Podría serlo, pero para su demostración deben representarse gráficamente otras isópteras.

Actualmente, dentro de las contracciones se han ordenado un tipo de defectos relativamente frecuentes: las hemianopsias. Son siempre bilaterales y afectan total o parcialmente a la mitad de los dos campos visuales, derecho e izquierdo. Estos defectos constituyen una alteración de la vía óptica posquiasmática, con la sola excepción de las hemianopsias bitemporales, donde la alteración está localizada a la altura del quiasma óptico.

También existe un defecto hemianóptico que no es necesariamente bilateral, siendo siempre su origen prequiasmático, concretamente es la hemianopsia altitudinal. Estos defectos son producidos como consecuencia de alteraciones en la vascularización del nervio óptico, y pueden confundirse con gran frecuencia con defectos glaucomatosos.

Otra clase de hemianopsia es la homónima, que es motivada, cuando es total, por una lesión que destruye por completo una porción de la vía óptica posquiasmática, entre la cintilla óptica y el lóbulo occipital. Este tipo de defecto es relativamente raro y no proporciona información topográfica de la lesión, a pesar de que se produce, generalmente, por una destrucción amplia de tejido cerebral en las personas con traumatismos craneocerebrales o que sufren lesiones vasculares. Cuando una hemianopsia homónima presenta una falta de gran congruencia, sólo puede ser ocasionada por lesión de las cintillas ópticas.

Cuando las hemianopsias homónimas son parciales, las mitades de ambos campos visuales no están afectadas completamente. La lesión que la produce afecta sólo parcialmente la vía óptica entre la cintilla y el lóbulo occipital. Las causas más comunes son los tumores y las alteraciones vasculares.

La hemianopsia homónima parcial puede ser congruente o incongruente. Cuando las mitades de ambos campos visuales son simétricas, son congruentes. En la hemianopsia homónima total no es posible determinar el grado de incongruencia, ya que no existe visión en ningún punto de los hemicampos afectados. En las incongruentes las mitades de los

campos visuales son distintas en su tamaño, así como en su forma. Mientras mayor sea la incongruencia, muy anterior se encuentra ubicada la lesión en la vía óptica y viceversa.

Dentro de los defectos clasificados en las contracciones, hay otro tipo de anomalía: las cuadrantanopsias, consideradas como variantes de la hemianopsia homónima parcial.

La depresión

La mayor parte de los defectos del campo visual, tanto los periféricos como los centrales, son causados por la depresión de la agudeza visual dentro de una determinada área del campo visual, pudiendo ser pronunciada, es decir, no absoluta o muy leve. Puede incluir sólo la periferia extrema o bien solamente la porción menor del área de fijación, con una gran variedad de formas casi infinitas.

La depresión del campo visual se puede dividir en: depresión general y depresión local.

La demostración de la existencia de una depresión en el campo visual, se realiza por el estudio, de al menos, dos isópteras. Cuantos más estímulos se utilizan, más ángulos visuales se emplean y más isópteras se trazan, por lo que será más clara la naturaleza de la depresión del campo visual y mayor su valor diagnóstico.

Los escotomas y los defectos periféricos del campo visual se clasifican con gran frecuencia como relativos. Realmente, es que cualquier depresión en el campo visual es relativa, ya que puede existir para un estímulo, pero no para otro mayor.

Cuando la sensibilidad a la luz está disminuida difusamente en todas las áreas del campo visual, existe una depresión generalizada. Por ello, todos los estímulos se hacen menos visibles y, por tanto, los umbrales así como las respuestas del individuo no son normales.

Una determinada enfermedad puede provocar una depresión generalizada por una interferencia en la transmisión de la luz, es decir, por la opacidad de los medios del ojo, tales como una cicatriz en la córnea, una catarata y la turbidez vítrea. Una depresión generalizada no posee valores topográficos que puedan señalar una región determinada de la vía óptica, por tanto, no tienen ningún valor para la localización del lugar donde se ha producido la lesión.

Las depresiones generalizadas pueden presentarse tempranamente en el glaucoma, resultando muy difícil su diagnóstico, debido a que el daño axonal es difuso y la sensibilidad visual suele permanecer dentro de los límites marcados por la normalidad. Para que se pueda producir una reducción de la sensibilidad visual, debe haber una pérdida de, al menos, la mitad de los axones.

Otras situaciones en las que se produce una depresión generalizada son en la miosis intensa, ametropías mal corregidas, neuropatías ópticas, etc. Una depresión generalizada en ojos que son anatómicamente anormales o patológicos (ametropías, retinopatía diabética, uveítis, etc.), no tiene que relacionarse sistemáticamente con una depresión generalizada de origen glaucomatoso, aun cuando exista una presión intraocular (PIO) elevada. Para que se pueda considerar sospechosa de glaucoma debe existir, además, un aumento en la excavación fisiológica del nervio óptico, factores de riesgo, etc.

Las depresiones leves pueden ser detectadas mediante el examen de las isópteras con ángulos visuales pequeños en la porción central del campo de visión, dentro del círculo de 20°.

La depresión localizada es una zona de sensibilidad visual reducida en una región

determinada del campo visual. Este defecto es más frecuente que la depresión generalizada y, ocasionalmente, no suele ser advertido. En otras ocasiones, se puede confundir con escotomas, pero existe una diferencia fundamental, los escotomas están rodeados en su totalidad por una región con una sensibilidad visual mejor, mientras que en la depresión localizada no es así. La interpretación de los resultados será investigada y analizada de acuerdo con la posición, la forma, el tamaño, la intensidad, la uniformidad, los márgenes, así como por el comienzo y su curso.

La posición de los defectos es muy variable. El defecto puede ser periférico y sólo detectable en las isópteras periféricas. Puede ser central, afectando solamente el área de fijación, siendo normal el campo visual que lo rodea. También puede ser la combinación de estos dos, central y periférico, situado en cualquier cuadrante o parte de éste. Podría ser también, bilateral o unilateral.

La forma de la depresión local del campo visual sí tiene un mayor valor diagnóstico que su posición o tamaño. Independientemente de los escotomas, el tipo más frecuente de defecto local es el defecto en sector, siendo monocular o binocular. Puede tener forma de cuña, ser regular o irregular, absoluto o relativo, estar conectado o separado de la mancha ciega y limitado por un meridiano vertical, horizontal u oblicuo.

La forma más frecuente de defecto en forma de sector monocular es la que concurre en individuos con glaucoma, en los que la forma del defecto se determina por la interrupción fisiológica de un haz o varios haces de fibras nerviosas de la retina.

La hemianopsia es el típico defecto binocular en forma de sector, que se subdivide y clasifica de acuerdo con sus características en: homónima total, homónima parcial (congruente o incongruente), cuadrantanopsia homónima, bitemporal, binasal, cuadrantanopsia cruzada, altitudinal, homónima doble, respeto macular y exclusión macular.

El tamaño de un defecto del campo visual no es tan importante como su forma o posición. En los escotomas el tamaño tiene cierta importancia en su diagnóstico, pero tanto en los defectos en forma de sector como en la hemianopsia, el diagnóstico es determinado, en su mayor parte, por la forma del defecto. El tamaño de un defecto glaucomatoso con forma de sector, tiene relativa importancia para estimar el pronóstico de la enfermedad.

En el examen cuantitativo del campo visual, el tamaño del defecto será determinado por la isóptera examinada. Si los bordes del defecto presentan una suave pendiente, el defecto será mayor cuando se utilizan pequeños estímulos que cuando los ángulos visuales sean grandes. Por ello, el tamaño de un defecto no puede ser determinado con exactitud sin el examen de varias isópteras.

El tamaño del defecto del campo visual no es indicativo del tamaño de la lesión que lo produce. Ya que defectos grandes del campo visual pueden ser por consecuencia de pequeñas lesiones en áreas de la vía óptica, donde los haces de fibras nerviosas están juntos e, inversamente, una lesión grande en las radiaciones ópticas puede producir un defecto pequeño en los campos de visión.

La intensidad de un déficit en el campo visual se determina por la agudeza visual dentro de su área. La deficiencia puede tener variaciones desde la ceguera total a todos los estímulos, incluyendo la luz, hasta la pérdida visual mínima que se pueda detectar dentro de la isóptera examinada.

La pérdida de visión total dentro del área del defecto no suele darse. Si se presenta un estímulo suficiente, se descubrirá que en la gran mayoría de los defectos se tiene cierta

agudeza visual, no importando su debilidad. De esta forma, un defecto, que puede tener gran intensidad ante estímulos de 1 a 10 mm, a una distancia de 330 mm puede no aparecer empleando un estímulo de 20 mm.

Un defecto del campo visual es considerado absoluto cuando ningún estímulo inferior o del mismo tamaño de su área es visible dentro de ésta. De esta manera, un escotoma con un diámetro de 100 mm a una distancia de 1 m puede ser reconocido como absoluto si todos los estímulos de hasta 100 mm son visibles dentro de sus márgenes. No es posible medir la intensidad del defecto más allá de este punto. La mancha ciega es el mejor ejemplo de intensidad absoluta en un defecto del campo visual.

La intensidad de un defecto puede ser tan débil como para que éste sea detectado dentro de las isópteras con más sensibilidad. El ejemplo más adecuado para ello es el que nos da la depresión prematura en el área de Bjerrum en el glaucoma de ángulo amplio. Esta área de pérdida visual, en raras ocasiones, es observada por el individuo que la sufre.

La uniformidad de la pérdida de visión dentro de un defecto del campo visual puede variar cuantiosamente o, por el contrario, ser uniforme en todo el defecto. En perimetría los métodos cuantitativos son los más apropiados para analizar un defecto adecuadamente, no sólo con relación a su tamaño e intensidad, sino también a su uniformidad.

Un defecto en el campo visual con forma de sector, que comprende un cuadrante de 90° en la isóptera 2/1000, podría presentarse como un escotoma en cuadrante en la isóptera 5/1000, es decir, dentro del defecto en forma de sector, junto a la fijación, puede expandirse un área más densa de pérdida visual.

Una falta de uniformidad podría ser sencillamente la consecuencia de los bordes en declive del defecto, como en la zona paramacular con mayor pérdida de visión, en el escotoma centrocecal de la ambliopía por tabaquismo.

Los márgenes de los defectos en un campo visual pueden ser en declive o escarpados. Tienen gran importancia para el pronóstico y diagnóstico de la enfermedad que produce los defectos.

Los márgenes de un defecto en el campo visual en declive suelen indicar, generalmente, una lesión que activamente es progresiva, como bien pudieran ser los márgenes en declive que tiene el escotoma centrocecal de la ambliopía por tabaquismo.

Los márgenes escarpados o perpendiculares indican que la lesión está inactiva o curada, como sucede en el escotoma resultante de una coriorretinitis curada.

El comienzo y el curso de una pérdida en el campo visual pueden presentar una gran trascendencia para el diagnóstico de la patología que produce la pérdida en el campo visual. En términos generales, el inicio repentino de un defecto es el resultado más frecuente por lesiones vasculares como la hemorragia, la embolia, la trombosis o traumatismos e infecciones. Las lesiones que se difunden con lentitud, como los tumores, producen un comienzo gradual y progresa lentamente el defecto del campo visual.

Los escotomas

Como recordaremos, los escotomas son áreas de sensibilidad visual disminuida dentro de una región del campo visual, rodeadas por zonas con una sensibilidad normal o relativamente normal.

Si trasladamos esta descripción a la isla de visión que también ha definido el Dr. Traquair, un escotoma representa una depresión, desnivel o agujero sobre la superficie de la

isla, rodeado por un contorno normal. Por ello, se suele describir como un lago, fosa o pozo, según represente su forma, su profundidad, sus bordes pronunciados u otras particularidades. Sus líneas de contorno, o isópteras, lo rodean totalmente y, por lo general, no suelen propagarse casi nunca hasta la costa de la isla de visión.

La superficie de la colina visual que rodea al escotoma puede ser deprimida o de una altura normal. Empleando la perimetría estática en el examen de los escotomas, éstos son representados en su grafismo como pendientes agudas o superficiales en la línea que limita la colina visual. Los escotomas pueden ser mínimos o prolongarse a través de la profundidad de la colina hasta el mar de ceguera.

Cuando el área deprimida de un escotoma se prolonga hasta la periferia del campo visual, se suele decir que el escotoma se ha abierto paso, y se compara a un lago con un río de márgenes variables desembocando en el mar de ceguera.

De los escotomas que se clasifican por su posición dentro del campo visual, los más importantes son los que su ubicación está dentro de los 30° centrales, su importancia es debida a las grandes posibilidades que ofrecen para su diagnóstico.

Los escotomas también pueden clasificarse, dependiendo de su profundidad, en relativos y absolutos. Si a una determinada intensidad de un estímulo, el escotoma no se manifiesta, pero al aumentar la intensidad del estímulo, el escotoma se hace visible, nos encontramos ante un escotoma relativo. Contrariamente, cuando un estímulo no es visible con independencia de su intensidad o su tamaño, estaremos en presencia de un escotoma absoluto.

Los escotomas, igual que los defectos en sector en el campo visual, pueden ser unilaterales o bilaterales y se analizan de acuerdo con sus características, que por lo general son las mismas que las de los defectos en sector: posición, forma, tamaño intensidad, uniformidad, márgenes, comienzo y curso, así como su unilateralidad o bilateralidad.

La posición presenta una peculiar trascendencia para el diagnóstico. Los escotomas son centrales y periféricos.

Los escotomas periféricos, generalmente, son el resultado de zonas de tejidos destruidos, localizados en la retina periférica. Esta destrucción de tejidos, por lo general, es provocada por coroiditis u otras formas de retinopatías. Cuando estos escotomas son bilaterales o hemianópticos, generalmente, son debidos a lesiones de la porción anterior de los bordes de la cisura calcarina.

Los escotomas centrales se subdividen en: central, pericentral, paracentral y cecal.

El escotoma central afecta sólo al área de fijación y al campo inmediato que la rodea.

En el escotoma pericentral, el área de fijación es relativamente clara, mientras que en el campo que la rodea hay una agudeza visual deprimida.

En el escotoma paracentral, el área de agudeza visual deprimida se encuentra a un lado de la fijación que no está comprometida. Estos escotomas pueden ser clasificados según su posición en: superior, inferior, nasal o temporal con relación a la fijación, es decir, según el cuadrante en que se encuentran.

El escotoma cecal afecta al área de la mancha ciega normal y puede representar un aumento de la misma. Hay tres tipos de estos escotomas: el centrocecal, que se extiende desde la mancha ciega hasta la fijación; el angioscotoma, con casi infinitas variedades y formas; y el glaucomatoso del haz de fibras nerviosas de la retina, que se encuentra

alterado.

La forma de un escotoma es muy importante, aun no teniendo en cuenta su posición. Hay que tener cuidado al examinar un defecto escotomatoso para determinar con gran exactitud sus límites por medio de métodos perimétricos cuantitativos, ya que los caracteres de la enfermedad pueden reducirse solamente a la forma característica del defecto. Es frecuente descubrir un área de pérdida visual relativa en el campo nasal superior o inferior, examinando sólo la isóptera 5/1000; ahora bien, cuando esta área se examina con estímulos decrecientes, se observa que se prolonga alrededor de la fijación y dentro de la mancha ciega, como un escotoma arqueado o un defecto glaucomatoso.

El escotoma de Seidel tiene un escaso valor diagnóstico, es un escotoma de Bjerrum, cuando se examinan descuidadamente los signos o síntomas específicos que establecen el diagnóstico de la enfermedad glaucomatosa.

Un escotoma central, con los contornos imprecisos que cruza la fijación, así como los meridianos vertical y horizontal, puede tener una isla de mayor densidad dentro de su área, con forma hemianóptica recortada lo suficientemente como para tener valor diagnóstico. En este caso, la prueba que más burdamente se realice con ángulos visuales amplios tiene mayor importancia diagnóstica que el estudio de las isópteras menores.

Los escotomas circulares, uniformemente o irregularmente redondos, pueden ser periféricos, centrales, unilaterales o bilaterales. Por lo general, son las consecuencias de lesiones con localización en el interior de la retina, como puede ser el escotoma irregular de la coriorretinitis. También se encuentran en individuos con alguna enfermedad del nervio óptico, como lesiones del haz de fibras nerviosas de la papila y la mácula.

El escotoma ovalado se suele presentar como el óvalo horizontal de un escotoma centrocecal.

El escotoma anular es un defecto parcialmente circular que rodea el punto de fijación, expandiéndose hasta la periferia, pudiéndose encontrar dentro o fuera del área llamada de Bjerrum. Un caso típico es el observado en la retinitis pigmentaria.

El escotoma de haz de fibras nerviosas, denominado también como escotoma arqueado, cimitarra, cometa, de Bjerrum y de Seidel, tiene como principal característica que sigue el curso de las fibras nerviosas de la retina, tomando forma arqueada rodeando el punto de fijación, desde la mancha ciega hasta el meridiano horizontal en el campo nasal, donde termina en un escalón horizontal o nasal, siendo éste intensamente marcado.

Este escotoma puede adoptar una gran variedad de formas y posiciones, según sea el grado de compromiso que tenga con las fibras nerviosas de la retina, el tamaño e intensidad del estímulo visual empleado para su examen, así como la atención y cuidado que se tenga en su estudio. Este defecto es propio de individuos con glaucoma.

Los escotomas hemianópticos están limitados por el meridiano vertical del campo visual, siendo en verdad defectos hemianópticos centrales. Generalmente, son bilaterales, sólo en caso de defectos bitemporales pueden ser unilaterales. Igual que en la hemianopsia periférica, pueden ser homónimos congruentes o incongruentes, cuadrantanópticos, temporales, de cuadrantes cruzados, centrales o paracentrales.

Un detallado estudio de los márgenes, intensidad y uniformidad de este escotoma en la determinación de su forma, resulta muy importante para la localización y la patología de la lesión que produce el defecto.

El tamaño de un escotoma no es tan importante como la forma o la posición para el

diagnóstico, no obstante, su valoración puede indicar la gravedad de la lesión que lo produce. El tamaño puede variar desde una pequeña área de visión deprimida inferior a 1° , hasta un área de ceguera total, que bien puede abarcar todo el campo visual.

Por otra parte, el escotoma también puede variar su tamaño de un día para otro, según progrese la enfermedad que lo provoca o bien su regresión. Una compresión del globo ocular, con su consecuente alteración en la presión sanguínea de la retina y en la presión intraocular, produce variaciones tanto en el ancho como en el tamaño de un angioscotoma con progresión.

Los escotomas de gran intensidad, con márgenes escarpados, suelen presentar un tamaño relativamente constante, mientras que los de baja intensidad varían mucho su tamaño en concordancia con los estímulos que se aplican en su examen. Cuando los márgenes son suavemente inclinados, el defecto se refleja muy pequeño en la isóptera 5/1000 y, por el contrario, muy grande si se utiliza un estímulo de 1 milímetro.

La intensidad del escotoma varía desde una ceguera absoluta a un mínimo detectable de pérdida visual, a la vez que cambia su intensidad en distintas porciones de su área, siendo esto su mejor característica. Los escotomas de gran intensidad y uniformidad suelen ser muy raros, pero son fácilmente demostrados hasta con los métodos más rudimentarios de perimetría. Son mucho más comunes los defectos que hacen necesarios minuciosos métodos cuantitativos en la determinación de su verdadero tamaño, profundidad y uniformidad.

Los márgenes de un escotoma son, por lo general, en declive, pero algunas veces son bastante escarpados. En términos generales, los márgenes escarpados son indicadores de pocos cambios, mientras que los márgenes en declive son indicadores de procesos más activos. Para el pronóstico de un escotoma tiene un cierto valor el análisis de los márgenes.

El comienzo y su evolución suelen tener gran importancia, ya que presentan una marcada variación entre las distintas enfermedades que provocan el defecto. De esta manera, el escotoma que se inicia por una ambliopía progresiva por tabaquismo, presenta un curso muy lento, mientras que el escotoma central, como consecuencia de una esclerosis múltiple, puede aparecer en horas y desaparecer en el día.

Igual que en los defectos periféricos del campo visual, se puede afirmar que, generalmente, las lesiones vasculares producen un inicio más rápido de los escotomas, siendo más variable el curso en las lesiones inflamatorias, así como los defectos por causa de la presión de tumores son los menos variables.

Finalizando la descripción a modo de recordatorio de los defectos en el campo visual normal, no se debe pasar por alto un defecto de una importancia relevante por sus características y variaciones, se trata del angioscotoma.

Su nombre de procedencia griega —angeion (vaso) y skotos (oscuridad)— indica: «escotoma que los vasos retinianos parecen proyectar».

Es una prolongación de la mancha ciega, puede ser considerado como el escotoma cecal, pericecal o paracecal. Esta prolongación o extensión sigue el curso de las ramificaciones del árbol vascular de la retina. Es variable en su tamaño, ancho, comienzo, densidad y curso, siendo solamente constante con respecto a su posición.

Estos defectos se descubren con cierta facilidad en las isópteras 1/2000 y 2/2000 sobre una pantalla tangente. Se detectan más rápidamente en el polo superior e inferior de la mancha ciega, donde los vasos sanguíneos retinianos se encuentran más próximos y tienen

mayor diámetro.

Escotomas estos que son consecuencia de las alteraciones más precoces del campo glaucomatoso, es decir, están íntimamente vinculados con las fluctuaciones de la presión intraocular en la mayoría de los individuos que sufren glaucoma en su estado más incipiente.

Por todo lo expuesto con anterioridad, se puede comprender que, analizar e investigar detalladamente las características de los escotomas, así como los defectos periféricos del campo visual normal, de acuerdo con su posición, forma, tamaño e intensidad del déficit en el campo visual es de gran importancia, ya que no sólo se podrá saber la localización dentro de la vía óptica del lugar de la lesión que está provocando el defecto, sino su posible causa y su correcto tratamiento, así como su pronóstico.

La perimetría

La finalidad primordial de la perimetría es la evaluación de la agudeza visual en todas las regiones que comprende el campo visual de un individuo. La determinación del campo visual se puede realizar mediante una extensa variedad de métodos que pueden ser aplicados, en la actualidad, por medio de sofisticados instrumentos de medida de gran fiabilidad, mediante un determinado periodo de tiempo muy corto, o bien por unas pruebas muy sencillas, que no precisan de aparatos especiales para su exploración. Seguidamente comentaremos algunas de las propiedades de los métodos exploratorios e instrumentos más conocidos comúnmente.

Pero antes de empezar la descripción de algunos de los distintos métodos de exploración, así como de los más conocidos aparatos empleados para el estudio del campo visual, resultaría apropiado hacer un comentario sobre los términos «perimetría» y «campimetría».

El término campimetría se ha reservado, tradicionalmente, para los estudios del campo visual central, y el de perimetría para la investigación y determinación de los límites y continuidad de la totalidad del campo visual.

Por otra parte, dentro de la metodología de la exploración del campo visual, es imprescindible el conocimiento de un concepto, que también recordaremos brevemente, llamado «umbral diferencial de detección» o bien «umbral de contraste», que marca la diferencia mínima entre un fondo con iluminación uniforme y un estímulo superpuesto que sea lo suficientemente capaz de provocar la detección del estímulo. Se utiliza el concepto de umbral como la inversa de la sensibilidad, es decir, un detector muy sensible es aquél que tiene un umbral muy bajo y uno muy poco sensible, el que tiene un umbral muy elevado.

El ojo humano está especializado en percibir pequeñas diferencias en la excitación de los distintos fotorreceptores de la retina, diferencias en intensidad o en composición espectral de la luz procedente del campo visual, pero hay que diferenciar dos niveles de percepción: la simple detección y la resolución o reconocimiento.

La sensibilidad del ojo a la detección de pequeñas diferencias de iluminación llega hasta detectar la presencia de una fina línea que, en la imagen retiniana, tenga un grueso inferior a una décima parte del diámetro de un fotorreceptor. Esta línea provoca en los fotorreceptores sobre los que proyecta su imagen, un estímulo del 1% inferior al de los fotorreceptores colindantes, siendo esta diferencia suficiente para que la línea sea detectada.

Se entiende como resolución el reconocimiento de la imagen por parte del individuo y, en todo este proceso, toman parte complejos mecanismos psíquicos. Las imágenes mal definidas se pueden llegar a precisar por un proceso de adivinación, ya que se tiende a

distinguir lo esperado. Contrariamente, las imágenes inesperadas son de difícil definición. La investigación de la agudeza visual es el método con el cual se calcula el poder de resolución visual de un individuo, pudiendo ser concebido como una forma especial de campimetría.

Cuando nos situamos en un local absolutamente a oscuras, tenemos la sensación de estar percibiendo una iluminación muy tenue, que se podría explicar como destellos dispuestos sin orden ni control. Esta impresión es el resultado dado de la actividad espontánea de la retina y del cerebro, pero también está presente en otras zonas de la vía óptica y es conocida como «ruido retiniano y cerebral». Esta actividad espontánea se debe al hecho de que siempre existe una cantidad de rodopsina, que como bien sabemos es el pigmento visual fotosensible de los bastones también llamado eritropsina. Las propiedades fotoquímicas en los bastones, se conocen con bastante precisión; se trata de un cromóforo, 11-cis-isómero del aldehído de la vitamina A, ligado a una lipoproteína, la N-fosfatidiletanolamina, conociéndose con el nombre genérico de opsina. Cuando se degrada sin recibir ningún fotón, es decir, energía luminosa, en otras moléculas de composición más sencilla, como el retineno, es acompañada dicha degradación, asimismo, de una recombinación espontánea de ambas moléculas en otras zonas de la retina y del cerebro, dando como resultado el ruido retiniano y cerebral. El ruido retiniano y cerebral siempre debe ser distinguido por el observador de un estímulo luminoso verdadero.

Si en estas condiciones de oscuridad nos envían un fotón a la retina, su energía provocará acaso la degradación de alguna molécula de rodopsina, pero la modificación estructural que resulte en los detectores, es decir, los bastones, no será lo suficiente para provocar sensación, puesto que no se distingue del ruido retiniano y cerebral. Se calcula que son

necesarios unos seis fotones aproximadamente, confluyendo con simultaneidad sobre un grupo de receptores contiguos, para que el estímulo sea percibido. Al estímulo mínimo, que puede ser detectado en la oscuridad absoluta, se le conoce como: umbral luminoso absoluto.

En la práctica oftalmológica, resulta muy difícil estudiar el umbral luminoso absoluto, ya que no es posible obtener un ambiente de oscuridad completa. La sola presencia de un punto de fijación hace que no se pueda producir este requisito y, por tanto, se buscan otras configuraciones para el estudio de la capacidad de detección de estímulos en el campo visual normal.

Si proyectamos sobre las retinas de un individuo, desde todas las direcciones de su campo visual, un flujo continuo y uniforme de fotones, todos los fotorreceptores serían estimulados de idéntica forma y, consecuentemente, el individuo no vería nada. Si uno o varios receptores recibieran un número de fotones distinto de los demás, su actividad podrá ser distinguida de la del fondo. La cantidad de fotones necesarios dependerá de la iluminación ambiente y establece el parámetro básico en la investigación de la campimetría, denominándose, como con anterioridad se dijo: umbral luminoso diferencial o umbral de contraste.

De esta manera, la degradación desigual del pigmento visual en zonas contiguas, elabora una respuesta distinta en los fotorreceptores, la cual es informada al sistema nervioso central. Pero como hemos visto anteriormente, estos receptores no son todos iguales, como sabemos, tenemos receptores que están especializados en la visión con niveles muy bajos de iluminación, los bastones, y receptores para niveles más elevados, los conos.

Recordemos que para facilitar la función de los bastones, por esencia en la retina, se ha dispuesto de un sistema mediante el cual varios de estos receptores producen respuestas

convergentes hacia una misma célula ganglionar. Por consiguiente, el campo receptivo de los bastones será relativamente grande y, consecuentemente, en condiciones de adaptación a la oscuridad, es decir, visión escotópica, se consigue la detección de estímulos de muy baja intensidad. No obstante, por esta razón, desciende el poder de resolución, es decir, la capacidad de reconocimiento, o sea, la agudeza visual está muy empobrecida. Por lo tanto, si se explora el campo visual de un individuo en condiciones de adaptación escotópicas, se estará midiendo solamente la función de los bastones, lo que equivale a una sola parte del mecanismo receptor retiniano.

El segundo grupo de fotorreceptores, los conos, está especializado en la visión a intensidades luminosas más elevadas. Cada cono, en el ámbito de la fóvea, transmite la información solamente a una célula ganglionar, por lo que las condiciones de la función del cono son más desahogadas que las del bastón. Por ello, no sólo se ocupa de una mejor representación de las imágenes, o traducido a un sentido práctico, a una mejor agudeza visual, sino también distingue la longitud de onda de la luz que lo excita, permitiendo la identificación del color.

El nivel de adaptación de la retina a la oscuridad o a la luz, es decir, visión fotópica, puede ser un factor importante en el examen del campo visual. En estado de visión fotópica, los bastones dejan de funcionar, la actividad sólo corresponde a los conos. La adaptación a la luz es un proceso que se realiza rápidamente, apenas se consigue en 1 ó 2 minutos, mientras que la adaptación completa a la oscuridad se consigue en poco menos de una hora.

En los límites de iluminación en los que se encuentra la adaptación completa a la luz, así como la adaptación completa a la oscuridad, hay una zona intermedia en la que la retina está realizando un esfuerzo para obtener un equilibrio con los cambios de iluminación, de forma que en la zona intermedia de iluminación se activan tanto los conos como los bastones. A esta zona intermedia, en el examen campimétrico, se la denomina: mesópica. La visión mesópica está considerada como la ideal para la exploración del campo visual, dado que en tales condiciones se pueden estudiar simultáneamente los conos y los bastones. Este examen permite descubrir con mayor exactitud los defectos patológicos que en un estudio menos fisiológico, fotópico o escotópico.

El cono necesita más luz que un bastón para lograr su excitación, pero esto no representa que su umbral de contraste sea peor. Para la mejor comprensión de esto, es conveniente recurrir a un procedimiento matemático del umbral de contraste. Si todo el campo visual tiene una iluminación uniforme, que representa la letra I, los fotorreceptores estarán estimulados todos por igual, pero si en este estado o condición, un grupo de receptores recibe, además, una mayor cantidad de luz en progresión creciente, que llamaremos «incremento de I», llegará a un instante en el que se obtiene el umbral de contraste y el punto luminoso será percibido sobre el fondo. El umbral de contraste es representado por la relación o cociente entre el «incremento de iluminación» frente al fondo, es decir, «incremento de I frente a I».

Este cociente es mayor en adaptación escotópica que en adaptación fotópica, ya que, en términos relativos, la sensibilidad al contraste es mejor en condiciones de adaptación fotópica, que se mantiene constante aproximadamente en casi todo el ámbito en que actúan los conos. Acontecimiento conocido como «ley de Weber-Fechner», según la cual, la sensación crece con el logaritmo del estímulo. Incremento de $I/I = \text{constante}$.

No obstante, en la adaptación fotópica baja, esta ley no se cumple con exactitud, y tenemos que considerarlo, por ser esta zona la utilizada habitualmente en la exploración del campo visual. En tal circunstancia, se admite la ley de Rose de Vries, representada por:

«incremento de I dividido por el valor de I elevado a 0,5 es constante».

Por otra parte, es importante la valoración del tamaño de las pupilas. Es bien sabido que una miosis, es decir, una contracción de la pupila provocará una disminución en los niveles de sensibilidad, tanto de los campos centrales como de los periféricos, aun en personas sin patología. Esto es, parcialmente importante en el glaucoma tratado con medicamentos mióticos, ya que el campo visual puede reducirse hasta un diámetro de 1 mm, generando depresiones e incrementando la profundidad de los defectos existentes. Por lo tanto, es de suma importancia la valoración del tamaño de las pupilas. Una miosis intensa puede provocar una depresión generalizada o defectos relativos en determinadas áreas del campo visual, similar es a los que se presentan en las ametropías mal corregidas.

Recordemos, también, que la iluminación de la retina crece proporcionalmente con la superficie de la pupila y suele medirse en trolands. El troland (trol) es la unidad de iluminación de la retina y corresponde a la iluminación producida por una superficie que tiene una luminancia de una candela por metro cuadrado (cd/m^2), cuando el área de abertura de la pupila es de un milímetro cuadrado. Esta unidad también se conoce con el nombre de fotón o luxón.

Se debe tener en cuenta también que el efecto que ejerce la miosis es independiente de la intensidad del fondo, es decir, que prescindiendo de intensas miosis o midriasis, es decir, dilatación anormal de la pupila, patológicas o farmacológicas, su efecto no es considerable.

El diámetro pupilar oscila entre 2 y 8 milímetros; no tiene un tamaño constante, ajustándose en cada caso a la luminancia y distribución de la luminancia del campo visual.

Gráficos

El registro del campo visual se realiza por medio de unos gráficos, que indican la proyección plana de una superficie hemisférica, donde se marcan los resultados obtenidos de la exploración del campo visual, mediante las líneas de contorno o isópteras. De esta manera, el campo visual es reproducido gráficamente como un conjunto de círculos irregulares, con zonas donde las isópteras se acercan e indican una empinada pendiente hacia el cerro, —recordemos la isla de visión del Dr. Traquair— y otras donde están muy separadas. Habrá depresiones y grandes segmentos en los que el gráfico del mapa indica que el cerro de visión está erosionado. Estos segmentos pueden definirse como erosiones de la costa, defectos en el sector o bien depresiones semejantes a hondonadas que se extienden desde el centro hacia fuera, depresiones centrales o excéntricas o pozos que se registran como escotomas.

Todas estas variaciones en el campo visual normal son indicadas mediante grafismos que son transportados sobre un mapa o gráfico, en el que están señalados los meridianos examinados, las distancias desde el punto de fijación en grados y la posición relativa, así como el tamaño de la mancha ciega fisiológica.

Algunos oftalmólogos suelen variar sus gráficos con arreglo a sus necesidades personales, pero sólo en detalles sin importancia, y los fabricantes de los aparatos perimétricos realizan los gráficos, adecuándolos a las características de cada aparato en particular.

Los gráficos perimétricos suelen usarse sobre el perímetro, es decir, en un pantógrafo incorporado a este instrumento. Estos gráficos llevan impresos unos círculos concéntricos, indicando el círculo más externo un campo de 90° ó 100° que son atravesados por

meridianos. Los que se utilizan para la pantalla tangente, o de Bjerrum, tienen círculos más amplios y un límite externo de 30° a 35°.

Por norma general, los gráficos deben ser de gran simpleza, con una cantidad mínima de meridianos, círculos de grados y números impresos en ellos. No es necesario numerar cada círculo en cada uno de los meridianos, ni tampoco éstos mismos que suelen estar

impresos a intervalos de 30°, aunque algunos médicos oftalmólogos este espacio lo acortan a 15° de uno al otro.

Los gráficos suelen ser, generalmente, monoculares, es decir, un solo ojo. Algunos también suelen realizarse binoculares, ojo derecho e izquierdo, pero en cualquier caso, deben indicar a que ojo corresponden. Se imprimen según ve la persona a examinar el campo visual y no de acuerdo con la anatomía de la vía óptica.

De hecho es muy importante que los gráficos dispongan de espacio suficiente para que la información sea indicada sobre los parámetros utilizados en la prueba, tales como:

- Isópteras examinadas.
- Tamaño del estímulo y distancia de la persona examinada al punto de fijación. Se señala como una fracción, en milímetros, en la que el numerador muestra el tamaño del estímulo y el denominador la distancia existente al punto de fijación.

De esta forma, se indica con claridad que la fracción 3/2000 corresponde al estímulo utilizado y a qué distancia.

- Iluminación de fondo.
- Estrategia de la prueba.
- Corrección de la agudeza visual utilizada.
- Fecha y hora del inicio, así como el tiempo que se tardó en realizar la prueba.

También es importante incluir los datos más significativos de la persona examinada, como bien podrían ser:

- Nombre y apellidos.
- Fecha de nacimiento.
- Agudeza visual.
- Diámetro pupilar.

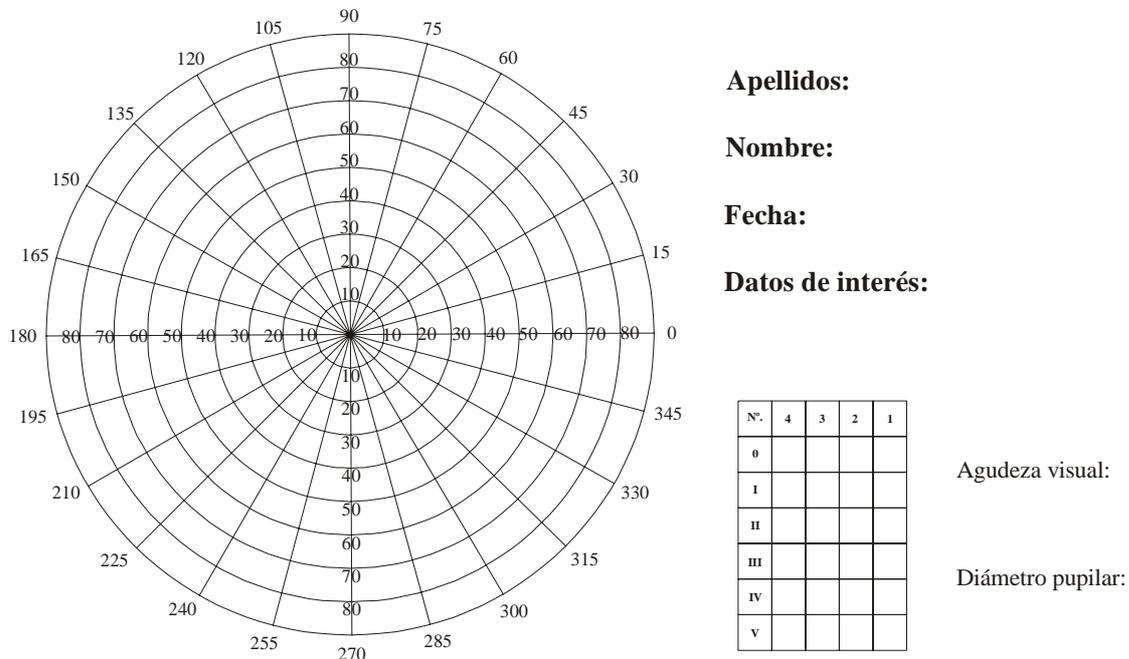


Fig. 3. Modelo generalizado de gráfico monocular para registro empleado en perimetría.

La prueba de confrontación

Una vez definidos, de forma tan generalizada, algunos conceptos que se pueden considerar básicos para la interpretación de los distintos métodos de exploración del campo visual normal, pasamos a comentar un examen tan sencillo y simple que no precisa de ningún tipo de instrumentos. Esta exploración es la llamada: prueba de confrontación, también llamada prueba paralela. Prueba que se ha convertido en parte del examen físico de rutina que practican muchos médicos y la mayoría de los neurólogos y neurocirujanos. Es también usada por el optometrista y el oftalmólogo como una prueba rápida y cualitativa del campo visual, proporcionando información de defectos muy grandes situados en el campo visual periférico. Pero tengamos presente que es prácticamente inútil para diagnósticos de gran sutileza, es decir, para defectos pequeños o centrales.

Por lo general, la prueba de la confrontación se realiza con el individuo y el examinador sentados o bien de pie, situados uno frente al otro, a una distancia aproximada de medio metro y con los ojos al mismo nivel. Se deben tapar con la mano un ojo, tanto el individuo como el examinador, de tal forma que los ojos no ocluidos queden enfrentados. De esta forma, los límites externos del campo visual de los ojos que quedan abiertos se solapan en un plano vertical situado entre ambos. Se pide al individuo que fije la mirada de su ojo en el ojo no ocluido del examinador, éste también fijará con su mirada el ojo no ocluido del individuo. A continuación, el examinador, si empieza por la exploración del ojo derecho, extiende su brazo izquierdo, moviendo los dedos, que desplaza hacia la izquierda hasta no verlos más. Si explora el ojo izquierdo, tenderá su brazo derecho. Se pregunta a la persona que se está explorando, si aún ve mover los dedos y, si no los ve, se los va acercando hasta que le sean perceptibles. Al desplazar así la mano en todas direcciones, es decir, por los diferentes cuadrantes del campo visual monocular, el examinador explora y com-para, al mismo tiempo con el suyo, el campo visual del individuo. La comparación de la percepción propia del examinador con un campo visual íntegro, permite a éste extraer conclusiones sobre posibles estrechamientos groseros del campo visual de la persona que se está explorando.

En la práctica de esta técnica se pueden introducir útiles variantes, como hacer que el individuo identifique el número de dedos, en este caso sin movimiento, que el examinador presenta, separadamente, en cada uno de los cuadrantes del campo de visión. Se pueden sustituir los dedos por objetos inmóviles, por ejemplo, un bolígrafo o una torunda de algodón. Tengamos presente que la apreciación del campo visual para un objeto inmóvil, no es necesariamente la misma que para un objeto móvil.

El examen de confrontación correcto se realiza con la persona a explorar de espaldas a la luz, que debe ser de intensidad variable, realizándose la prueba en cada ojo por separado y, si es posible, detrás del explorador deberá colocarse un fondo oscuro y uniforme. También es necesario explicar a la persona a examinar la naturaleza de la prueba.

Pantalla tangente

Mediante la pantalla tangente, también llamada pantalla de Bjerrum, por ser este médico perimetrista quien estableció los principios básicos del método que viene empleándose en oftalmología desde principios de siglo XX, manteniéndose vigente en la actualidad, es posible la exploración adecuada de los 30° centrales del campo visual, por ser éstos los que habitualmente proporcionan más información.

Las pantallas tangentes suelen estar, por lo general, diseñadas y construidas en forma individual, atendiendo a las necesidades de espacio y de acuerdo a los deseos del médico que las va a emplear. Consisten en una superficie cuadrada de paño negro, como bien pudiera ser el terciopelo. En esta superficie están señalados para su reconocimiento unos círculos concéntricos mediante líneas discontinuas blancas, pero estos círculos pueden ser marcados también con un bordado de hilo negro mate. En ambos casos el punto céntrico de los círculos suele ser un pequeño disco blanco mate, siendo éste el punto de fijación, cuyo tamaño dependerá de la agudeza visual central de la persona a explorar, evaluada al menos por medio de los optotipos, el estado de los medios de refracción, etc.

Los círculos concéntricos de la pantalla tangente están marcados a intervalos de 10°, 20°, 30° y 40°, cuando se realiza la exploración a una distancia de 1 metro, y a 5°, 10°, 15° y 20° para efectuar la prueba a 2 m. Estos círculos son cruzados por meridianos, los cuales están marcados a una distancia de 30° uno del otro.

La técnica consiste en que el médico explorador mueva unos estímulos o índices, en

forma de pequeños discos de tamaños diversos, siendo éstos de 1 a 5 mm, confeccionados de material plástico o papel, con una de sus caras pintada de color blanco mate y la otra de color negro también mate. El explorador coloca uno de los estímulos o índice, según convenga su tamaño, mediante un sencillo sistema de sujeción, en el extremo superior de un portaíndices, que no es más que una varilla pintada de color negro mate para impedir durante su uso que adquiera brillo y reflejos. El portaíndices es suficientemente rígido para que no pueda producir vibraciones cuando se desplaza a través de la pantalla tangente. Su longitud está entre los 75 y 90 cm.

La persona a examinar se sentará con naturalidad en una silla con el respaldo recto y, mediante un soporte especial para ello, apoyará el mentón a 1 m de distancia de la pantalla tangente, o bien a 2 m, según interese al médico explorador. La exploración se realizará primeramente en un ojo y posteriormente en el otro. El ojo que ha de explorarse se fija en el punto central marcado en la pantalla y el otro permanecerá tapado.

El médico explorador, después de explicarle a la persona a examinar la naturaleza de la prueba y de lo que de ella se espera, acuerda con ésta un sistema de señales para indicar la aparición y desaparición del estímulo que se le presenta en la pantalla tangente. Mientras se instruye al paciente sobre la técnica, mediante los estímulos adecuados, colocados en el portaíndices o varilla, el médico va ubicando la mancha ciega, que como recordaremos está situada con frecuencia 15° temporalmente respecto al punto de fijación y $1,5^\circ$ por debajo del meridiano horizontal, que señalará en la pantalla mediante alfileres de color negro. La desaparición de un estímulo dentro de la mancha ciega es, para la persona que se está explorando, la demostración de lo que significa la carencia o ausencia del estímulo.

Una vez localizada la mancha ciega y trazado su contorno, la exploración se encamina en busca de defectos en la percepción normal del campo visual. Haciendo desaparecer el estímulo a intervalos regulares, cambiando con rapidez la posición de la varilla y, por otra parte, rodándola muestra su cara pintada de negro, y esto causa la desaparición del estímulo, al sobreponerse con el negro de la pantalla.

Como la persona explorada debe mantener la posición, la fijación y la atención, percibirá la pérdida del estímulo de inmediato y así lo hará saber. De esta forma, el explorador señala con alfileres negros los puntos de ocultación y reaparición del estímulo, con el fin de poder observar el crecimiento o hallazgo del defecto a medida que avanza en la exploración. Por lo general, se comienza explorando los meridianos oblicuos y, si son normales, se examinan los meridianos verticales y horizontales.

La gran ventaja de esta técnica es que, en un periodo de tiempo más bien corto, se puede realizar un examen efectivo de esta zona comprendida en los 30° centrales del campo visual.

El defecto principal de las pantallas tangentes está en que es necesario una corrección o modificación de la posición angular del estímulo con relación al eje de la mirada, pues, como bien sabemos, dos puntos separados por una misma distancia angular están más cerca entre sí sobre el plano de la pantalla, si están situados próximos al punto de fijación, que si lo están cerca de los bordes.

La iluminación adecuada y uniforme de la pantalla tangente es muy compleja de conseguir. Por su complejidad, requiere una instalación que, además, de incómoda, resulta enormemente costosa. En la práctica, se puede conseguir una buena distribución de la iluminación adecuada y bastante uniforme, por medio de simples focos dirigidos desde arriba de la pantalla tangente y colocados ligeramente hacia un costado. Si por medio del

examen fotométrico resulta que la luz es muy brillante, ésta puede graduarse logrando la intensidad conveniente, al filtrarla a través de discos plásticos o de papel de distintos tamaños, pegados en el centro de las lámparas. También es posible variar la intensidad de la iluminación,

mediante un sencillo reóstato colocado en el circuito eléctrico.

Otro método de realizar el examen del campo visual con la pantalla tangente es aquél en que ésta no está marcada, limitándose a ser una superficie cuadrada de paño negro. Puede usarse a distinta distancia de la persona a examinar, siempre que dos de las distancias sean múltiplos de 2, es decir, 500 mm y 1 m, 1 y 2 m, 1,5 y 3 m y 2 y 4 m. El punto de fijación podrá alejarse en cualquier dirección desde el centro y debe poder variarse de 1 a 100 mm. La exploración se realiza del mismo modo que con la pantalla que esté marcada, los límites del campo visual se señalan con alfileres o con tiza y se transportan a un gráfico por medio de una regla tangente. Cuando el examen se realiza a 0,50 m, la amplitud del campo aumenta a 50°.

La regla tangente se puede calcular y construir muy fácilmente para cualquier distancia dada, por mediación de la escala tangente y la fórmula siguiente:

$$\text{Valor tangencial} \times \text{distancia en mm} = \text{radio del círculo en mm}$$

TANGENTES ÚTILES EN PERIMETRÍA

Grados	Valor tangencial	Grados	Valor tangencial	Grados	Valor tangencial
1	0,017455	19	0,344328	40	0,839100
2	0,034921	20	0,363970	41	0,869287
3	0,052408	21	0,383864	42	0,900404
4	0,069927	22	0,404026	43	0,932515
5	0,087489	23	0,424475	44	0,965689
5,5	0,096289	24	0,445229	45	1,000000
6	0,105104	25	0,466308	46	1,035530
7	0,122784	26	0,487732	47	1,072369
7,5	0,131652	27	0,509525	48	1,110612
8	0,140541	28	0,531709	49	1,150368
9	0,158384	29	0,554309	50	1,191753
10	0,176327	30	0,577350	51	1,234897
11	0,194380	31	0,600861	52	1,279942
12	0,212556	32	0,624869	53	1,327049
13	0,230868	33	0,649407	54	1,376382
14	0,249328	34	0,674508	55	1,428148
15	0,267949	35	0,700207	56	1,482561
15,5	0,277324	36	0,726542	57	1,539865
16	0,286745	37	0,753554	58	1,600334
17	0,305731	38	0,781286	59	1,664279
18	0,324920	39	0,809784	60	1,732051

En todos los casos, la exploración del campo visual con la pantalla tangente debe ser realizada por el oftalmólogo o con su rígida supervisión, ya que aunque un técnico descubra un déficit en el campo explorado, sólo el oftalmólogo está cualificado para analizar e interpretar correctamente sus características, a fin de obtener la máxima información posible e instaurar las medidas más adecuadas para paliar, en la medida de lo posible, dicho déficit.

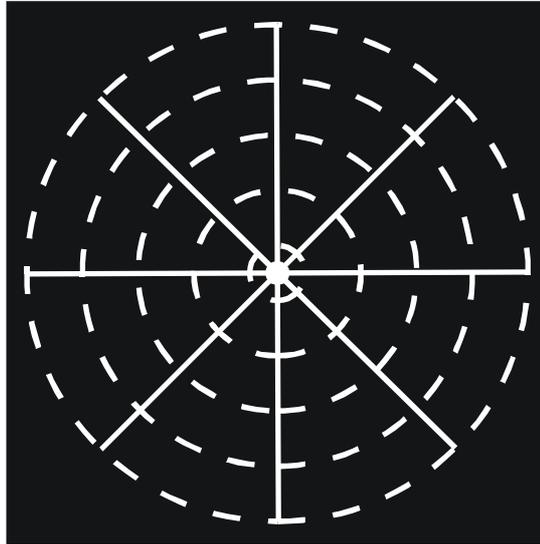


Fig. 4. Pantalla tangente o pantalla de Bjerrum.

El perímetro de arco

El origen real de la exploración instrumental del campo visual, se lo debemos a Purkinje, que en 1825 construyó el primer arco perimétrico. Precisamente fue con un perímetro de arco, en el que solamente variando el tamaño del estímulo, el Dr. Traquair en 1920 nos dio a conocer su definición de «una isla de visión...» con mayor sensibilidad central y menor periférica. También es destacable que en 1918 Igersheimer describiera, con uno de estos equipos, los angioscotomas.

Desde entonces, casi todos los estudiantes formales de perimetría han ideado, mediante sus investigaciones, sus propios modelos de los que, siguiendo el origen de la exploración instrumental del campo visual, han realizado algunas variaciones. Por ello, el instrumento es conocido con el nombre de los autores de estas modificaciones, como bien pudieran ser: el perímetro de arco de Förster y Aubert, el de Förster-Landolt, el de Ferree-Rand, el de Aimark y, como no, los perímetros de mano de Schweigger y el de Traquair y, así, algunos más.

Es notable que los instrumentos que han perdurado haya sido en virtud de su simplicidad, economía y manejabilidad y, por ello, el perímetro de arco es, aún en la actualidad, un instrumento en uso.

El perímetro de arco está formado por una lámina metálica semicircular con forma de arco, atornillado a un soporte. Este armazón en forma de arco es capaz de rodar, es decir, dar vueltas a lo largo de 360° alrededor de un eje central. De esta manera, mediante la rotación, se pueden examinar de forma sucesiva todas las áreas dentro del segmento hueco del campo visual. La lámina que forma el arco por su cara externa está grabada con una escala graduada con valores múltiplos de cinco, en grados y que en ambos lados llega a los 90° ó 100°.

En el extremo opuesto del soporte de la lámina semicircular, está situada una mentonera apropiada para que la persona a examinar apoye la barbilla y pueda fijar con el ojo a explorar el punto de fijación situado en el centro del semicírculo. Dicho punto de fijación es coincidente con el eje central donde da vueltas el arco. Dispone también de dos oclusores, uno para cada ojo, empleándose cada uno de ellos en el ojo que no se esté explorando. La distancia entre el ojo y el punto de fijación, o sea, el radio de este arco, es de 330 mm. La persona a examinar permanece sentada en una silla con respaldo recto, mientras se le realiza la exploración primeramente en un ojo y posteriormente en el otro.

Este perímetro ofrece la ventaja de que resulta muy sencillo graduar la posición del estímulo en grados de excentricidad con respecto al punto de fijación, debido a que intenta representar el campo visual esquemático semiesférico, que posibilita al girar la exploración de una semiesfera.

En los comienzos de la exploración del campo visual con este instrumento, los estímulos o índices eran de discos de papel o bolas, unidas a una varilla o portaíndices, igual que si se tratara de los de la pantalla tangente y, por medio de esta varilla, se hacían avanzar a lo largo de cada uno de los meridianos del campo visual que se exploraba. Posteriormente, se acopló un portaíndices con la forma de un carril, que se deslizaba a lo largo del arco. En algunas exploraciones se tenía que quitar el portaíndices mecánico del instrumento debido al ruido que producía al moverse, el cual distraía a la persona examinada, imposibilitando la concentración necesaria en la realización de la exploración.

En la actualidad, los estímulos son discos luminosos de distintos tamaños, proyectados sobre la superficie de la lámina metálica semicircular, pintada de blanco mate. Mantiene los principios de un auténtico perímetro de proyección de cúpula, siendo muy adecuado para examinar los extremos del campo visual periférico, pero con la desventaja, por supuesto, de que no es posible mantener una proyección constante de luminancia entre el estímulo y el fondo, como es el caso de los perímetros de cúpula hemisférica.

La persona explorada, en cuanto percibe el estímulo sin apartar el ojo del punto de fijación, advierte al médico que realiza la exploración, mediante un sistema de señales preestablecidas, cuándo el estímulo aparece y cuándo desaparece, que marcará con un punto en un gráfico apropiado. La unión de los diversos puntos dará la representación gráfica en el plano de la superficie de la retina que ha funcionado tras el estímulo dado.

En cualquier momento del examen, debe ser posible que el estímulo desaparezca o aparezca a voluntad del médico oftalmólogo, mientras se mantiene inmóvil en un punto. Ello se consigue al estar pintada la cara posterior del estímulo, que está sujeto a la varilla, de color blanco mate y, dando la vuelta con rapidez, se sobrepone al color blanco con que está pintada la superficie de la lámina semicircular que forma el arco. Al estar las personas examinadas sometidas con determinada frecuencia a la desaparición y aparición del estímulo, se puede evaluar con facilidad la rapidez de sus respuestas y comprobar la exactitud de su fijación.

La iluminación de la sala donde se realice la exploración con el perímetro de arco debe ser tenue, pero con la intensidad necesaria para que el médico oftalmólogo pueda observar con frecuencia el ojo a explorar y su fijación.

Actualmente, un perímetro de arco en el que se han realizado algunas variaciones y, con ellas, se ha modificado, en parte, el examen del campo visual con grandes ventajas, es el perímetro de arco auto-registrador, según Maggiore. La idea que preside la construcción de este aparato es completamente nueva.

Sirve para examinar los sentidos luminosos y cromáticos en la visión periférica, en

estado de adaptación a la luz y a la oscuridad, para determinar los límites del campo visual y para examinar los escotomas, la fatiga, etc.

A diferencia de otros perímetros, en los que la presentación y el desplazamiento mecánico de los estímulos distrae, inevitablemente, la atención de la persona que se está examinando, en este perímetro los estímulos son proyectados sobre la superficie interior de la lámina que forma el arco, permitiendo que la maniobra para presentar y desplazar los estímulos pase inadvertida para el examinado, de tal modo que la observación pueda efectuarse sin que las indicaciones del examinado sean influidas por circunstancias accesorias a la prueba.

En una prolongación del soporte de la lámina metálica, con la que está formado el arco semicircular, se encuentra adherida una caja, en cuyo interior está el sistema de iluminación compuesto, principalmente, por una bombilla o lámpara eléctrica.

Inmediatamente delante de esta caja, también se encuentran tres discos Recoss. En uno de estos discos hay cuatro aberturas circulares de distintos diámetros que, al ser proyectados sobre el arco del perímetro, dan lugar a unos estímulos con forma ligeramente elíptica de 10, 5, 3 y 1 mm de diámetro. Un segundo disco contiene una abertura libre, para la luz blanca, y cuatro filtros de cristal rojo, amarillo, verde y azul, lo más iguales posible a los llamados colores de Heidelberg. En el tercer disco, independientemente de una abertura libre, están colocados tres cristales ahumados de una permeabilidad relativa de 1/41, 1/16 y 1/64, con el fin de atenuar la intensidad de los estímulos cuando así lo considere el médico explorador.

Enfrente de los discos se encuentra el sistema de iluminación del arco. Concretamente, delante de este sistema, se encuentra el proyector de los estímulos, compuesto de un espejo, que refleja sobre el arco los estímulos de distinta intensidad, tamaño y color, que han sido creados mediante los sistemas ya descritos: la caja de iluminación y los discos Recoss.

Mediante un fino cable de acero inoxidable, que se desliza a través de un sistema de poleas, el explorador mueve el espejo reflector, de tal modo que los estímulos puedan ser proyectados sobre cualquier lugar del arco, que en ambos lados llega hasta los 100°.

La lectura de la posición de los estímulos se realiza mediante una escala graduada, que se encuentra sobre el tambor de mando del espejo reflector. Un dispositivo de intermitencia, cuyo funcionamiento no emite ruidos, permite que los estímulos desaparezcan y aparezcan instantáneamente. Los resultados de la exploración son registrados automáticamente con un lápiz negro, de color o con aguja pasador sobre el esquema del campo visual, es decir, sobre un gráfico adecuado, mediante un pantógrafo que el perímetro lleva incorporado.

La distancia necesaria de 330 mm entre el ojo explorado y el arco del perímetro, está garantizada por la unión en la córnea de un círculo luminoso facilitado por un medidor de distancia. De esta manera, y mediante la observación del círculo luminoso en la córnea, el médico oftalmólogo advierte cualquier desviación de la mirada de la persona explorada del punto de fijación central.

La lámina metálica que forma el arco del perímetro, de tono blanco mate, puede girar alrededor de su eje horizontal, encajando mediante ranuras dentadas de 30° en 30°. De este modo, puede examinarse el ojo en todos los meridianos.

El médico oftalmólogo puede manipular cómodamente desde un mismo puesto

todos los dispositivos, al mismo tiempo que controla al examinado y ve la anotación sobre el gráfico. Del examen con este perímetro se puede deducir si el campo visual es más amplio para un estímulo blanco que para uno de color, o si disminuye al disminuir el diámetro del disco luminoso que actúa de estímulo.

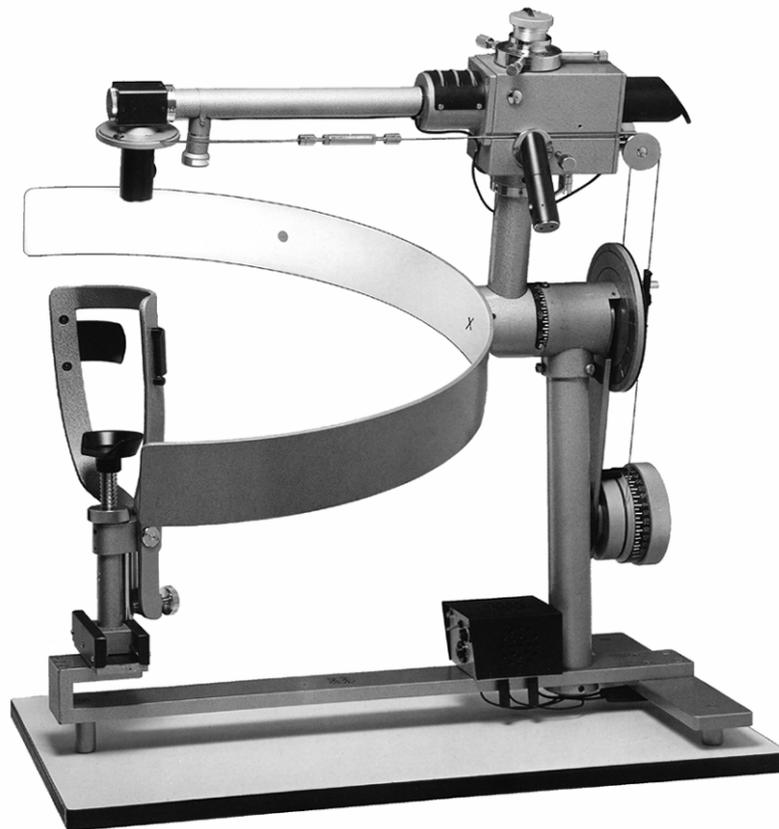


Fig. 5. Perímetro de arco auto-registrador, según Maggiore.

El perímetro de cúpula manual de Goldmann

Los primeros antecedentes de los perímetros de cúpula fueron los diseñados en el año 1872 por Von Scherk y Jeaferson. Este último describe en 1873 un perímetro de cúpula semiesférica, en el que, mediante un espejo, se proyectaban en su interior estímulos luminosos. Pero hasta el año 1945 no se conocieron tantos componentes deseables como los que dotó el profesor Hans Goldmann, de la Universidad de Berna, al perímetro de proyección, que lleva su propio nombre, y con el cual cambió completamente la exploración del campo visual en todo el mundo.

El perímetro manual más ampliamente utilizado es el de Goldmann. Con él se efectúa la perimetría cinética. Es un perímetro de proyección de registro automático, que ha sido reproducido prácticamente en todo el mundo. Consiste en una cúpula de casquete semiesférica, cuyo interior está pintado de blanco mate y cuyo radio es de 300 mm. Una lámpara, protegida por una cubierta, proporciona la iluminación de un área periférica circunscrita arriba y dentro de la concavidad. Parte de la luz emitida por esta lámpara es enviada al sistema de proyección del estímulo por medio de un brazo de palanca hueco, en cuyo interior se encuentra dicho sistema de proyección. Un instrumento fotométrico especial mantiene en una relación constante el cociente entre la intensidad del estímulo y la iluminación del fondo de la cúpula, de tal manera que las ligeras variaciones en la luminosidad de la lámpara afecten igualmente a ambos.

El movimiento del brazo de proyección es producido por un pantógrafo controlado por una pequeña palanca, que se desliza sobre un platillo vertical de vidrio opaco, iluminado desde atrás en la parte posterior del perímetro. Este platillo de vidrio lleva el registro gráfico. Cada posición de la pequeña palanca corresponde exactamente con la posición del círculo de luz, es decir, del estímulo proyectado sobre el hemisferio.

El registro automático de la exploración del campo visual, se efectúa cuando la persona explorada percibe el estímulo preseleccionado que el médico oftalmólogo proyecta en el interior de la cúpula, y aprieta un pulsador con forma de botón que hace sonar un timbre vibrador, cuyo sonido es la respuesta al oftalmólogo como que se ha detectado el estímulo. Cada vez que se aprieta el pulsador, se registra en el pantógrafo automáticamente, marcando un gráfico de referencia y estableciéndose la representación gráfica en el plano de la superficie de la retina que ha funcionado tras el estímulo detectado y, de esta manera, se va configurando la prueba.

Por medio de un lento movimiento de la palanca, a lo largo de la superficie del gráfico pueden examinarse los campos visuales hasta 95° a cada lado del punto de fijación. La observación en todo momento de la posición y dirección del ojo examinado se realiza por medio de una lente telescópica que atraviesa la parte posterior del hemisferio, permitiendo esta constante observación y, así mismo, el control del ojo que se explora. En esta lente telescópica hay incorporado un punto de fijación iluminado y de tamaño variable. El diámetro de la pupila del ojo examinado puede medirse por medio del retículo montado en el ocular de la lente telescópica.

Los estímulos proyectados tienen forma elíptica, siendo de distintos tamaños, que varían de 1/16 mm² a 64 mm², y se cambian fácilmente por medio de un sistema de teclado. Una serie de filtros neutros permiten la reducción geométrica de la luminosidad de los estímulos, desde 100 a 3,16 mililamberts (1 mililambert = 10 apostilbios). Por supuesto, la luminosidad básica del estímulo está fijada en 33 veces mayor que la del fondo, siendo el dispositivo fotométrico, incorporado al instrumento, el que asegura la relación de esta proporción. El perímetro puede equiparse con un filtro de color rojo, verde o azul. Si un perímetro no mantiene constante este contraste entre la luminosidad del fondo y la del estímulo, no sirve para efectuar una perimetría relativa exacta, lo que no se logró con los perímetros de proyección anteriores.

En este instrumento se encuentra situado, inmediatamente delante de la cúpula hemisférica, un dispositivo apropiado para apoyar la cabeza con una mentonera ajustable, tanto vertical como lateralmente. De esta manera, a la persona a examinar, que permanecerá sentada en una silla con respaldo recto, le será sencillo colocar la barbilla, apoyándose sobre la mentonera y, con ello, facilitar que pueda fijar con el ojo a explorar el punto de fijación, que en este perímetro, como se ha dicho, es de tamaño variable y está iluminado.

La prueba exploratoria se realiza en los dos ojos, primero uno y luego el otro, mientras que el ojo no explorado permanece cerrado. Para que sea precisa la exploración del campo visual con el perímetro de Goldmann, se debe añadir la corrección para visión de cerca, es decir, de la hipermetropía y, además, requiere que esta exploración sea realizada en una habitación o cámara oscura.

Hay que destacar que, debido a lo importante que resulta el mantener la proporción constante entre la luminosidad del fondo de la cúpula y la del índice, siempre que se realiza una exploración del campo visual, debe efectuarse un ajuste fotométrico del instrumento cuando la persona a explorar se encuentre sentada frente al perímetro, ya que la ropa más clara o más oscura, o bien su propio cutis, puede alterar en cierta medida la luminosidad del fondo. También la adaptación a la iluminación de fondo del perímetro es indispensable

antes de comenzar la exploración.

Como este instrumento presentaba el inconveniente de tener limitaciones para la exploración del espacio foveal, debido a la abertura de unos 2° de la lente telescópica situada en el centro de la cúpula para el control de la fijación, y resultaba muy difícil realizar con él perimetrías de umbral, se realizaron pequeñas modificaciones que lo han hecho más versátil, con la incorporación de la exploración de la frecuencia crítica de fusión y un mecanismo que permite la exploración de la perimetría estática, de perfil o de umbral, hasta una excentricidad de 60° , aumentando para ello sus escalas de luminancias.

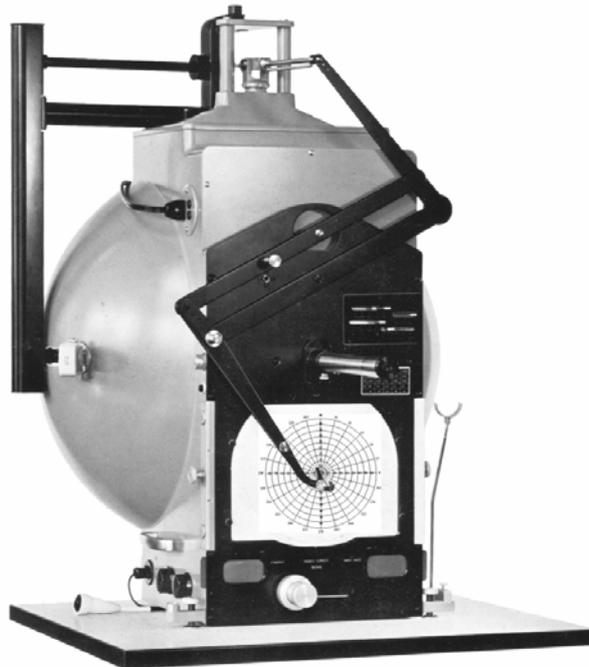


Fig. 6. Perímetro manual de Goldmann.

El perímetro de cúpula manual de Tübingen

Después del perímetro de Goldmann y, concretamente en la década de los años 50, los profesores H. Harms y E. Aulhorn, de la célebre Universidad de Tubinga, Alemania, popularizaron el método de la perimetría estática con el perímetro de Tubinga, conocido igualmente con el nombre de Tübingen. Este aparato consiste en un perímetro de cúpula semiesférica de 300 mm de radio.

Con el método de la perimetría estática no se pretende precisar contornos o líneas de isosensibilidad. El concepto por el que se fundamenta este método es la determinación cuantitativa del umbral de contraste punto a punto. Esto se logra manteniendo el estímulo inmóvil o estático en una serie de exposiciones en distintos meridianos situados en la concavidad del perímetro. Los estímulos son círculos de luz proyectados, parecidos a los del perímetro de Goldmann, con la particularidad que estos estímulos permanecen estáticos y su luminosidad es aumentada progresiva y cuantitativamente, hasta que la persona examinada sea capaz de percibirlos.

Una vez que el estímulo es detectado, se desplaza hacia otra posición en el meridiano y, nuevamente, se aumenta la luminosidad desde 0 hasta su visualización, repitiéndose, generalmente, a intervalos de 1° , dentro de los 15° centrales del campo visual,

y con intervalos de 5° en el campo visual periférico. Puede variarse el estímulo con relación a su tamaño, de la misma manera que con el perímetro de Goldmann. Habitualmente, el examen se realiza a lo largo de cuatro meridianos, 90°, 180°, 135° y 45°, siendo de esta manera una cobertura del campo visual adecuada para la exploración. A medida que se va explorando cada meridiano del campo visual, es registrado por medio de un pantógrafo sobre un gráfico especial, que comentaremos más adelante.

El perímetro de Tübinger utiliza una adaptación más baja que el de Goldmann, unos 10 asb., y una escala comprimida de estímulos (0,1 unidades logarítmicas en lugar de 0,5). Permite hacer, además, perimetrías cinéticas con la misma exactitud y eficacia que aquél. La densidad luminosa máxima del estímulo es de 1.000 asb., y puede ser reducida hasta 0,00001 asb., en 80 fracciones logarítmicas (00 a 79 dB.), con la ayuda de discos de filtros grises.

Escala en dB

-00
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70

Densidad luminosa equivalente

1000	asb.
100	asb.
10	asb.
1	asb.
0,1	asb.
0,01	asb.
0,001	asb.
0,0001	asb.

Así mismo, permite el estudio de la frecuencia crítica de fusión, la adaptación y la agudeza visual, tanto central como periférica.

Por los inconvenientes para reproducir la isla de Traquair, o lo que es lo mismo, el campo visual en forma tridimensional, se buscó una representación bidimensional. Para ello, la disposición de los puntos a estudiar se realiza siguiendo los meridianos del campo visual, trazando sobre unos ejes de coordenadas una especie de sección de la isla, en la que las abscisas representan la excentricidad y las ordenadas la sensibilidad, o intensidad luminosa que produce la sensación.

Generalmente, en estos gráficos se utiliza una escala logarítmica de intensidades luminosas calibrada en apostilbios (asb.), o en candelas (cd) por metro cuadrado, haciendo corresponder esta escala con otra lineal, inversa, representando la sensibilidad en decibelios (dB). De esta manera, una sensibilidad de 10 dB indica que se necesitan 100 asb., para

detectar el estímulo, 20 dB que son necesarios 10 asb., es decir, menor cantidad de luz, 30 dB que precisa tan sólo 1 asb., etc...

La representación gráfica de las exposiciones del estímulo en el campo visual es, por tanto, una porción transversal, de la isla de visión, o bien un estudio del perfil de esta porción transversal que muestra su pico, ladera, mancha ciega, así como cualquier depresión anormal de la superficie. Por esto, precisamente, se diferencia de la perimetría cinética o isoptérica, que registra los contornos del cerro de visión. Lo que se mide y registra por medio de la perimetría estática es el umbral de la luz en las diversas áreas del campo visual.

La prueba exploratoria, colocación de la persona a examinar, control, registro, etc., así como otros componentes afines al diseño o características constructivas del perímetro de Tübingen, no difieren en gran medida del perímetro de Goldmann.

El perímetro automático o computarizado

Las exploraciones del campo visual mediante los métodos manuales, tenían los inconvenientes de que se concentraban, principalmente, en los sistemas de medición y se ignoraba el cansancio de la persona explorada, así como la velocidad de medición, es decir, el tiempo que se tardaba en realizar el examen. Ante tal inconveniente, se fue imponiendo la necesidad de conseguir métodos de exploración razonablemente exactos y rápidos. De esta manera, el médico oftalmólogo podía dedicar más tiempo al estudio de otras patologías no menos interesantes, evitando a la persona examinada una larga espera y, de esta forma, mejorar la eficacia del examen.

Como resultado de esta necesidad y por la naturaleza cuantitativa de los datos, así como la posibilidad de poder realizar un análisis computarizado de los mismos, se estimuló y promovió la necesidad de desarrollar métodos estadísticos en la valoración de los resultados y, de esta forma, poder determinar si estos resultados conseguidos son normales o anormales, o bien, si la secuencia de los campos visuales que se obtenían representaban estabilidad o cambio. Este interés dio como resultado instrumentos y programas muy sofisticados y precisos.

Tomando como referencia los perímetros manuales y, concretamente, el de Goldmann y el de Tübingen, se logró la construcción de perímetros computarizados. Aunque el verdadero giro de la perimetría ha sido el poder adaptar una sofisticada programación con un diseño específico para realizar las tareas que debería llevar a cabo el médico oftalmólogo, como el *software*, capaz de dirigir el soporte físico, mecánico, óptico y electrónico, es decir, el *hardware*, presentando estímulos mediante un sistema de proyección en el lugar elegido, con el tamaño, intensidad y secuencia predeterminada.



Fig. 7. Modelo de perímetro automático o computarizado empleado en la perimetría cinética. 1) Vista frontal mostrando la mentonera y los oclusores. 2) Vista posterior con

los controles para uso del médico perimetrista.

El soporte físico de estos instrumentos está construido, por un sistema de generación de estímulos y una pantalla de cúpula hemisférica, o plana tangencial, en la que son proyectados estos estímulos, mediante un ritmo preestablecido, sobre el fondo de la pantalla con iluminación controlada.

Estos perímetros están conectados, por un sistema mecánico de comunicación llamado *interfase*, a la computadora. El componente primario de la computadora, o unidad mínima de información, es el «*bit*», formado por los números 0 ó 1 en el sistema binario, cuya representación es la de un interruptor que puede estar en dos posiciones, encendido o apagado (0-1, on-off). La combinación inteligente de tal interruptor conforma las partes vitales de la computadora. Con la combinación compuesta de 8 bits se establece la unidad denominada «*byte*», que es una secuencia de los 8 bits representando cualquier letra, número o símbolo de escritura. Por lo tanto, un byte es una secuencia de 8 ceros o unos, tal como esta: 10110010. Para determinar qué secuencia de 8 bits corresponde a cada signo de escritura, se utiliza un código estándar llamado ASCII, que define exactamente que byte corresponde a cada carácter. La velocidad con que se transfiere la información dentro, desde o hacia el ordenador, se mide en bytes por segundo o baudios.

La computadora se construye en torno a una unidad, que en la terminología informática suele denominarse con las siglas C.P.U., (del inglés Central Process Unit), la cual es la unidad central de proceso o microprocesador, que constituye el elemento central y fundamental de la computadora. Está compuesto por una unidad para operaciones lógicoaritméticas y una unidad de control, que dirige el trabajo y codifica e interpreta las instrucciones introducidas mediante los mecanismos de introducción de datos a ella, siendo el más habitual el teclado. Por lo tanto, su cometido será ejecutar los programas contenidos en cualquiera de sus memorias, pudiendo recurrir a otros sistemas de archivo de información, como el disco magnético, más conocido como disco duro, el cual es la unidad de almacenamiento de información más importante.

En el caso de la exploración clínica del campo visual, los procedimientos de trabajo han de ser configurados en un grupo de programas que, introduciéndolos a la computadora, permita a ésta operar de la forma que se requiera.

La iluminación de fondo de los perímetros automáticos difieren de uno a otro, aunque por lo general utilizan 31,5 asb. La mayoría también emplean el estímulo de tamaño estándar de 4 mm², equivalente al tamaño III del perímetro manual de Goldmann. La distancia ojo pantalla suele ser entre 300 y 330 mm.

Como se recordará, en la perimetría cinética varía tanto la intensidad como el tamaño del estímulo. En la perimetría estática computarizada se analiza el campo visual por un método estático, sólo variando la intensidad de la luminancia del estímulo y presentándolo en varias zonas estratégicas del campo visual. Por lo tanto, no existe la necesidad de hacer conversiones de los resultados obtenidos para adecuarlos a estímulos de distintos tamaños. Los estímulos que se detectan indican una función visual normal, y los que pasan desapercibidos reflejan áreas de disminución de la sensibilidad del campo.



Fig. 8. Modelo de perímetro automático o computarizado empleado en la perimetría estática.

Después de los ajustes iniciales para la realización del examen, la persona examinada no tiene más que apretar un pulsador, unido a un cordón flexible, cada vez que perciba un estímulo. Éste no será registrado como si lo hubiera visto, más que en el caso de buena fijación. Para evitar los falsos positivos, tiene lugar automáticamente una nueva presentación de los estímulos al final del examen.

Recordemos también que un buen control en la fijación es lo más importante, siendo imprescindible para que el diagnóstico sea fiable. La fijación se podría conseguir si el estímulo se moviera junto con los movimientos del ojo, pero esto, hoy por hoy, no es posible en la práctica médica. Por ello, existen diferentes formas de monitorizar la fijación en la perimetría computarizada, con sus ventajas e inconvenientes. Comentamos seguidamente algunas de las formas de fijación más extendidas con las que estos aparatos perimétricos están dotados.

En la mayoría de los perímetros computarizados, mediante una vídeo-cámara conectada a un monitor integrado al aparato, se puede comprobar constantemente si la colaboración de la persona examinada es adecuada o no, observando los movimientos oculares, parpadeos, etc.

Otros autoperímetros emplean una técnica más sofisticada. Se motoriza la mancha ciega con un sistema denominado Heijl-Krakau. Éste valora la calidad de la fijación durante la prueba, proyectando periódicamente el estímulo sobre la mancha ciega. Si la persona examinada ve el estímulo, significa que ha realizado un movimiento ocular, y el estímulo se está proyectando en otro punto de la retina que no es la mancha ciega. Como la mancha ciega es de unos 5° por 7° , cualquier movimiento que supere estos valores será detectado e indicado en la pantalla del monitor incorporada al aparato.

Algunos perímetros, además, de disponer de la vídeo-cámara y el monitor de control, constan de un sistema automático que interrumpe el proceso exploratorio cuando detecta cualquier anomalía en la fijación. Este sistema evita la acumulación de errores, con el inconveniente de que puede prolongar el tiempo de la prueba cuando se producen falsas pérdidas de la fijación.

Los gráficos o datos que salgan en la pantalla pueden ser impresos, mediante la impresora incorporada a la computadora, siendo fáciles de visualizar e interpretar. Pueden obtenerse diagramas con formas distintas, para facilitar la observación de un esquema representativo del campo visual, y hacerlo entender a la persona examinada.

Actualmente, existen autoperímetros muy sofisticados con los que es posible detectar alteraciones precoces del campo visual, al estar equipados con un software que cubren todos los aspectos del examen, analizando tanto cuantitativa como cualitativamente la totalidad del campo visual, desde el «screening» al examen de posición, siendo los

diferentes programas de fácil acceso y manejo.

CAMPÍMETRO DE CÚPULA ASCAM

En los centros de reconocimientos para aspirantes y titulares de los permisos de conducción, o de armas, no necesariamente se tienen que realizar exploraciones del campo visual, para obtener diagnósticos de las posibles enfermedades que produzcan alteraciones de la disminución del mismo, e instaurar el tratamiento adecuado a las distintas patologías que lo afectan. Por tanto, no es imprescindible que dispongan de un campímetro tan sofisticado como los últimos que se han descrito, teniendo en cuenta que una de las actividades concretas que se realizan en estos centros es verificar que la persona a examinar posea, al menos, el umbral del campo visual que indica la legislación específica para este reconocimiento oftalmológico.

En la actualidad, la legislación, con relación a la exploración del campo visual, en los Centros de Reconocimiento de Conductores afirma mediante:

El **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, en su ANEXO IV, punto 1. CAPACIDAD VISUAL, apartado 1.2, Campo visual, establece:

Grupo 1.º A1, A, B, B+E y LCC.

Si la visión es binocular, se debe poseer un campo visual binocular normal.

Si la visión es monocular, el campo visual monocular no debe ser inferior a 120 grados en el plano horizontal ni existirán reducciones significativas en ninguno de los meridianos del campo.

No se admiten adaptaciones, restricciones y otras limitaciones en personas, vehículos o de circulación en permiso o licencia sujetos a condiciones restrictivas.

Grupo 2.º C1, C1+E, C, C+E, D1, D1+E, D, D+E.

Se debe poseer un campo visual binocular normal. Los campos visuales monoculares no serán inferiores a 120 grados en el plano horizontal ni existirán reducciones significativas en ninguno de los meridianos del campo.

No se admite visión monocular.

No se admiten adaptaciones, restricciones y otras limitaciones en personas, vehículos o de circulación en permiso o licencia sujetos a condiciones restrictivas.

La **Disposición transitoria séptima, Aptitudes psicofísicas**, de este mismo Real Decreto determina que los titulares del permiso de conducción obtenido con anterioridad a la entrada en vigor del presente Reglamento que, al solicitar la prórroga de la vigencia de su permiso, no reúnan las aptitudes psicofísicas establecidas en el anexo IV del mismo, podrán prorrogarla siempre que lo soliciten y acrediten reunir las establecidas en los anexos I y II del **Real Decreto 2272/1985, de 4 de diciembre**. Este Real Decreto en su ANEXO 1, punto I SENTIDO DE LA VISTA, apartado B) Campo visual, dispone:

Permisos A-1, A-2, B-1 y LCC.

(Actualmente: Grupo 1.º A1, A, B, B+E y LCC).

No se admiten reducciones horizontales por debajo de 60 grados en el lado temporal y de 35 grados en el nasal.

Permisos B-2, C-1, C-2, D y E.

(Actualmente: Grupo 2.º C1, C1+E, C, C+E, D1, D1+E, D, D+E).

Puede tolerarse una reducción no superior al 10% del normal global.

El **Real Decreto 2487/1998, de 20 de noviembre**, por el que se regula la acreditación de la aptitud psicofísica necesaria para tener y usar armas y para prestar servicios de seguridad privada, en el APARTADO I correspondiente a la CAPACIDAD VISUAL, indica en el punto que denomina Campo visual:

Licencia tipo **M y L**.

Se admite una reducción mayor al 10% en un ojo o en ambos, más la valoración de la Agudeza visual.

Licencia tipo **S**.

No se admiten.

Se admite la presencia de escotomas en la licencia tipo **M**, más la valoración de la agudeza visual. En la licencia de tipo **L y S** no se admiten.

Con el fin de realizar la comprobación del campo visual, en la mayoría de los Centros de Reconocimiento de Conductores, se utiliza un campímetro de cúpula tipo Goldmann, diseñado y fabricado en España poco tiempo después de la creación de estos centros de reconocimientos. Este campímetro, del que hablaremos, cumple todas las especificaciones, permitiendo la exploración con gran rapidez sin ningún tipo de molestias y, por ello, sin cansancio. Mediante un «*screening*» perimétrico, se verifica el campo visual que deben poseer los distintos grupos de conductores de vehículos, así como el de las personas poseedoras de armas de fuego para usos deportivos, o que presten servicios de seguridad privada, permitiendo, por otra parte, realizar campimetrías más complejas en el examen del campo visual.

Debido precisamente a su gran implantación describiremos este instrumento, que el fabricante denomina: Campímetro de Cúpula ASCAM.



Fig. 9. Campímetro de Cúpula ASCAM, utilizado generalmente en los Centros de Reconocimiento de Conductores. 1) *Vista frontal mostrando la mentonera y los ocluidores.* 2) *Vista posterior con los controles para uso del médico perimetrista.*

Este campímetro está basado en los mismos principios que el ya descrito campímetro de Goldmann. Está formado por una cúpula semiesférica, construida en

metacrilato translúcido de color blanco. Situada en la parte superior de la periferia y dentro de la concavidad, está dispuesta una lámpara protegida por una cubierta, que proporciona la intensidad luminosa en el interior de la cúpula. Esta lámpara está controlada mediante una unidad de regulación electrónica, situada en la parte posterior, concretamente, en la base de apoyo o sujeción del campímetro, y mantiene uniformemente constante dicha intensidad luminosa, e impide reflejos, así como resplandores, que imposibilitarían realizar el examen del campo visual con la necesaria fiabilidad en la precisión de medida. Esta intensidad luminosa, que es constante, puede ser regulable y, de esta forma, conseguir la penumbra justa de la visión mesópica, es decir, la visión donde se activan los fotorreceptores de la retina, tanto los conos como los bastones, actuando simultáneamente. La visión mesópica ésta considerada como la mejor u óptima en las exploraciones del campo visual.

El estímulo es producido mediante un foto-emisor incorporado a una lente, situado en un pequeño cilindro de acero con forma de lápiz. Este cilindro porta estímulos se encuentra dispuesto en un soporte instalado sobre dos varillas paralelas con forma de raíles, que actúan tanto como sistema transportador del lápiz como de soporte del mismo. El transportador del lápiz estímulo se desliza por los raíles, a lo largo de 360° , alrededor de un eje central, pudiendo de esta forma situar el estímulo en todos los meridianos del campo visual a explorar. Junto al transportador y unido a éste, siguiéndole en sus desplazamientos, se encuentra fijada una pequeña lámina plástica transparente graduada en múltiplos de 5° hasta un máximo de 90° , que permite en cada meridiano la medición del ángulo donde ha sido situado el estímulo.



Fig. 10. Cilindro porta estímulos instalado en un soporte que a la vez actúa como transportador a lo largo de 360 grados, alrededor del eje central, así como la varilla graduada de 5 en 5 grados, para la medición del ángulo de campo visual en cada posición acimutal.

Dispone de otra unidad de regulación electrónica, la cual se encuentra emplazada junto con la unidad de regulación de la intensidad luminosa del interior de la cúpula. Esta otra unidad controla la intensidad luminosa de los estímulos, hallándose unida mediante un cable conductor a un mando con el que se activan los estímulos.



Fig. 11. Unidad de regulación de la intensidad luminosa en el interior de la cúpula, junto con la unidad que también regula la intensidad luminosa del estímulo, así como los dos pulsadores, uno para la persona explorada que indica mediante el mismo cuando visualiza el estímulo, y el otro sirve para que el médico explorador active el estímulo luminoso.

Para controlar el tamaño del estímulo, en el transportador hay dispuesto un sistema de fijación que, al ser insertado en los anillos del lápiz portador del estímulo, permite alejar o acercar el sistema óptico, obteniéndose de esta forma un mayor o menor tamaño del estímulo.

Dispuesto en la parte central coaxial a la periferia, existe un pequeño orificio, que se une a un visor para el control del médico oftalmólogo de la fijación, que al propio tiempo se emplea como punto de fijación de la persona a la cual se está examinando.

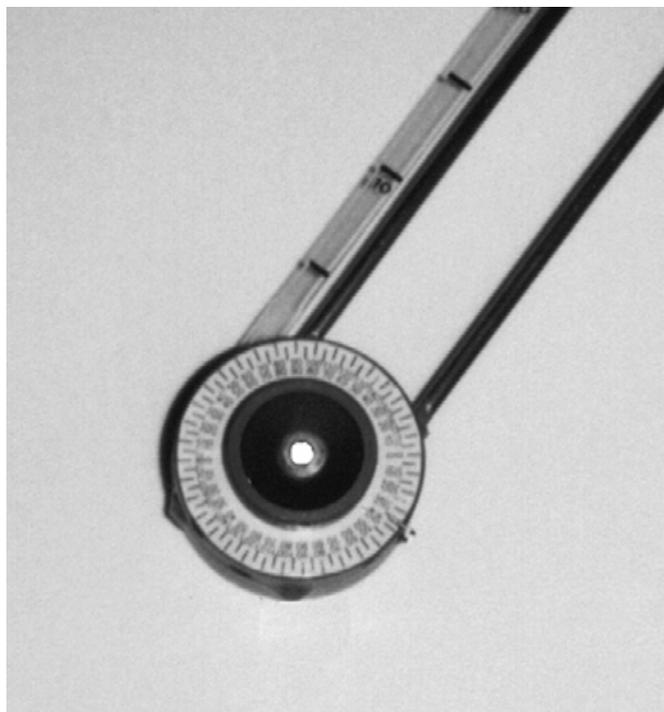


Fig. 12. Orificio situado en el centro de la cúpula, sobre el transportador de acimut, para el control del médico explorador de la alineación de la pupila de la persona explorada y controlar

en todo momento, que se dirige la visión al punto que determina el centro del campímetro o punto de fijación.

Tanto el sistema de posicionamiento de la persona a explorar, como el de indicar la respuesta por éste al estímulo cuando lo percibe, es análogo al del campímetro de Goldmann y está dotado, como éste, de ocluidores para ambos ojos, así como regulación de la altura, etc.

Una particularidad del campímetro ASCAM es debida a que la campimetría cinética no se realiza mediante la proyección del estímulo en el interior de la cúpula, sino que el estímulo es retroproyectado sobre la superficie externa de la cúpula de metacrilato blanco translúcido. De esta forma, es posible la realización de una campimetría «a mano alzada». Es decir, de una forma tan rápida como sencilla, el médico explorador verifica el campo visual, efectuando traslaciones del estímulo luminoso sobre la cúpula, con un dispositivo portátil del que está dotado este campímetro. Este dispositivo trasladador del estímulo es totalmente independientemente del sistema transportador del estímulo luminoso, convenientemente graduado, empleado para la realización de mediciones con exactitud.

EL OFTALMOSCOPIO

Recuerdo anatómico

Como sabemos, el fondo de ojo está constituido por la retina y sus formaciones, es decir, la papila, la mácula o mancha lútea y los vasos sanguíneos.

La papila está situada casi en el centro de la retina, ligeramente desplazada hacia el lado nasal, y es el lugar de salida de las fibras nerviosas ópticas, que después de dividirse en una serie de ramificaciones se van a unir a las diversas células sensibles de la retina.

La mácula, que se encuentra situada hacia el lado temporal de la papila, es la zona en que la porción sensorial de la retina está formada por conos solamente y, por ello, en esta región se obtiene la visión más exacta de los objetos, siendo la que entra en funcionamiento cuando fijamos un punto. En su interior se distinguen clínicamente varias áreas de importancia, como la fovea, la foveola y la zona foveal avascular.

Los vasos arteriales de la capa vascular de la retina se diferencian de los venosos porque son menores y de color más claro.

La oftalmoscopia

Con este término de derivación griega, que significa literalmente «observación del ojo», se entiende en oftalmología una serie de exámenes con el objeto de averiguar las condiciones anatomofuncionales del interior del ojo y del fondo ocular.

Por tanto, la exploración oftalmoscópica es principalmente un medio de averiguar el estado del fondo de ojo y de descubrir la opacidad de los medios oculares. Por otra parte, también proporciona en ocasiones una información útil de la naturaleza de defectos de refracción, aunque los datos no sean exactos y no pueda confiarse en ellos como evaluación definitiva.

Esta exploración también permite la obtención de datos útiles, no sólo para el diagnóstico y tratamiento de enfermedades de la parte posterior del ojo, por el médico especialista en oftalmología, sino también de otros síndromes o enfermedades generales del organismo de interés para el médico internista o generalista, para valorar y seguir el curso de las mismas, mediante las alteraciones que se pueden observar por medio de la exploración del fondo de ojo, como la leucemia, tumores cerebrales, la diabetes, la hipertensión, el glaucoma, etc.

Para poder realizar una exploración del fondo de ojo, es necesario que un haz de rayos luminosos se introduzca en la pupila del ojo, se refleje en la retina y, posteriormente, se dirija a estimular el ojo del observador. Para realizar esto, la fuente luminosa, el ojo del observador y el ojo observado deberían estar en un mismo plano. Esto no es posible, ya que la cabeza del observador entorpecería los rayos luminosos de la fuente. Este impedimento se subsana colocando la fuente luminosa lateralmente y dirigiendo los rayos luminosos al ojo observado mediante un espejo. El observador mira a través de un orificio dispuesto en el centro del espejo o del orificio del cabezal del oftalmoscopio, situado por lo general en la parte superior central del instrumento.

En función del principio óptico en que se basa la exploración oftalmoscópica, ésta

puede ser directa e indirecta. Antes de comentar estos dos métodos exploratorios, vamos a recordar algunos de los más significativos defectos de refracción, y cómo algunas de las estructuras del ojo se ven comprometidas en estos errores refractivos.

En la investigación de los defectos de refracción ocular se observa que los rayos luminosos paralelos que inciden sobre el ojo, después de la desviación que sufren en sentido convergente por la córnea y el cristalino, no se reúnen en la parte posterior de la retina, sino delante o detrás de la misma, es decir, cuando el foco no está situado en la retina (foco retiniano), sino delante o detrás de la misma (foco pre o postretiniano).

Como la retina es la formación más importante para la función visual, se comprende el porqué ésta resulta imperfecta cuando los rayos de luz no se reúnen, como en el ojo normal, en un punto de la superficie posterior de la retina situado a continuación del cristalino, sino delante o detrás.

Se dice que la refracción del ojo es normal o emetrópica, cuando los rayos luminosos paralelos provenientes de un objeto situado en el infinito, en la práctica a más de seis metros, se enfocan exactamente en un solo punto de la superficie posterior de la retina, en el ojo en estado de reposo, es decir, sin acomodación. Este estado se conoce con el nombre de emetrópia.

Cualquier variación de este estado constituye las ametropías, es decir, errores de refracción, que pueden ser esféricas como: la miopía y la hipermetropía o no esféricas como: el astigmatismo.

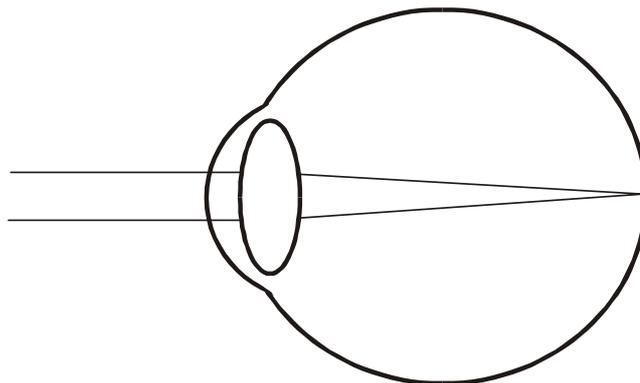


Fig. 1. Emetrópia.

La miopía

El nombre de miopía se le da al defecto visual del ojo caracterizado por la unión de los rayos luminosos paralelos procedentes del exterior, formando su foco en un punto situado por delante de la superficie posterior de la retina. Por tanto, sólo son bien visibles los objetos cercanos, mientras que los lejanos llegan a la retina, formando una imagen borrosa. Para ver los objetos nítidos se necesita acercarse a ellos, de tal modo que los rayos lleguen divergentes y la imagen se forma, así, más atrás en la retina.

La miopía puede ser de índice, por aumento del índice de refracción de los medios, córnea o cristalino, y axial, por aumento de la longitud anterioposterior del ojo, siendo ésta la más frecuente.

El tratamiento será la prescripción de lentes esféricas cóncavas, es decir, negativas, que imprimen divergencia a los rayos luminosos para reunirlos coincidiendo con el plano retinal.

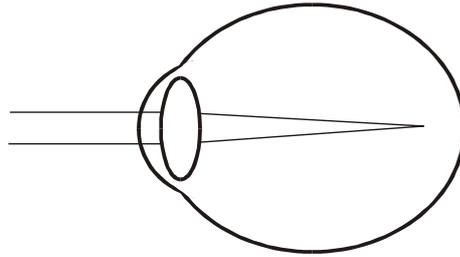


Fig. 2. Miopía.

La hipermetropía

La hipermetropía es un defecto de la visión opuesto a la miopía, en el cual los rayos luminosos paralelos procedentes del exterior van a reunirse en un punto situado por detrás de la superficie de la retina, por lo que existe dificultad para ver los objetos cercanos.

El tratamiento consiste en prescribir lentes esféricas convexas, es decir, positivas, que hacen converger los rayos luminosos en el plano retinal.

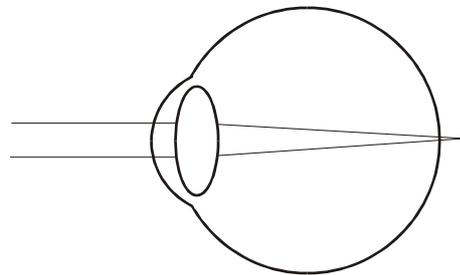


Fig. 3. Hipermetropía.

El astigmatismo

El astigmatismo es la ametropía en la que el radio de curvatura de alguna de las superficies refractivas del ojo no es uniforme, lo que significa que en algunos de los meridianos de esa superficie la convergencia, por ejemplo, no es igual que en los otros. Si un meridiano produce una visión clara, el otro por definición la producirá borrosa. El ojo astigmático es efectivamente oval, así como la imagen que produce. Este error de refracción se ha comentado con mayor detalle, en el apartado en que se describen los optotipos, al detallar el Disco o Cuadrante de Green.

Para la corrección óptica del astigmatismo se necesita una lente cilíndrica, convexa o cóncava que corrija sólo aquellos meridianos en donde haya error.

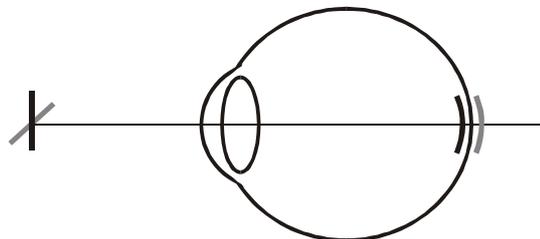


Fig. 4. Astigmatismo.

La oftalmoscopia indirecta

El fundamento del método de la oftalmoscopia indirecta es hacer al ojo intensamente miópico, para lo cual se aplica una lente convexa de unas 13 dioptrías, que se

sujeta con la mano entre el ojo a explorar y el ojo del médico oftalmólogo. Esta lente forma una imagen invertida real del fondo del ojo en el aire, entre la lente y el médico. En otras palabras, la imagen de la retina nasal se observa en el lado más externo, la temporal en el lado interno, la parte superior abajo y la inferior arriba. Por otra parte, la imagen de la retina está

amplificada unas cinco veces, lo que permite realizar un buen estudio. Si se emplea una lente más fuerte de la indicada, la imagen es menor y más brillante; si la lente es más débil, la amplificación es mayor y menor la iluminación. Se debe tener en cuenta que si el ojo observado es miope, hace falta una lente de inferior valor dióptrico, mientras que si es hipermetrope, el valor dióptrico se aumentará.

En la oftalmoscopia indirecta clásica o unocular, el médico explorador permanece sentado ante la persona a examinar a un metro de distancia y dirige al ojo de ésta una luz que parte de un espejo cóncavo del oftalmoscopio de reflexión o de un oftalmoscopio eléctrico ajustado adecuadamente. Manteniendo su ojo en el reflejo rojo, interpone la lente de condensación en la vía del haz de luz muy cerca del ojo del examinado y la desplaza lentamente hacia sí mismo hasta ver claramente la imagen de la retina. Para observar la papila cuando se explora el ojo izquierdo, la persona examinada debe mirar, como punto de fijación, la oreja izquierda del médico y, cuando sea el ojo derecho, el punto de fijación será el dedo meñique de la mano derecha del médico, que lo extenderá mientras sostiene el oftalmoscopio sobre el ojo derecho.

Las principales ventajas de este método son que permite ver el fondo de ojo a través de opacidades parciales de medios, como una catarata, y permite la visión espacial al ver la retina simultáneamente con los dos ojos. Sin embargo, tiene las desventajas de que las estructuras se ven de menor tamaño y la dificultad de realizar la exploración, que sólo puede practicarse con provecho por un especialista hábil.

Por este método de oftalmoscopia indirecta puede adquirirse una idea de la refracción en función del tamaño de la imagen observada. Cuando la lente de condensación se mantiene a menos de 9 cm del ojo, como suele ser lo habitual, es decir, cuando su foco principal está más cerca del ojo que el foco anterior, la imagen de la papila en la miopía será menor de lo normal, en la hipermetropía mayor y en el astigmatismo aparecerá oval y cambiará de forma a medida que se desplace la lente. Por tanto, cuando se coloca ésta muy cerca del ojo y la alejamos lentamente, si la imagen de la papila no cambia de tamaño, el ojo es emétrope; si disminuye es hipermetrope; y si aumenta es miope.

La técnica moderna de oftalmoscopia indirecta binocular no difiere en su fundamento de la directa, pero tiene la gran ventaja de una iluminación en relieve y una visión estereoscópica de la imagen retiniana al ser observada de manera binocular, además, de la posibilidad de observar la periferia retiniana.

La oftalmoscopia directa

Mediante este método, la imagen del fondo de ojo obtenida es mucho mayor que la que se obtiene con la oftalmoscopia indirecta, lo que permite observar detalles del fondo de ojo, como por ejemplo, los cruces arterio-venosos. Además, es una imagen recta, es decir, que lo que se observa arriba corresponde a la zona superior del fondo de ojo y viceversa. Sin embargo, la imagen se obtiene monocular, por lo que no se dispondrán de detalles de relieve y, además, no es posible visualizar la periferia retiniana. En la práctica de la oftalmoscopia directa es necesario un acercamiento estrecho del médico y de la persona explorada.

Los rayos luminosos que parten del fondo de ojo de la persona examinada penetran

directamente en el ojo del médico explorador. Si la persona es emétrope, estos rayos serán paralelos y alcanzarán un foco en la retina del médico. Si es hipermétrope, los rayos divergirán, y solamente alcanzarán un foco en la retina del médico si el ojo de éste acomoda o con la ayuda de una lente convergente. Si es miope, son convergentes y tienen que hacerse divergentes interponiendo una lente cóncava para que se forme un foco similar. De esta manera, en la emetropía la imagen de la retina se ve claramente en el oftalmoscopio sin lente alguna; en la ametropía para ver la imagen con claridad tiene que utilizarse una lente correspondiente al error de refracción, y, por tanto, la potencia de esta lente será la medida de dicha refracción.

Para lograr una evaluación correcta, la acomodación de la persona examinada y la del médico tienen que estar completamente relajadas, lo que no siempre resulta fácil, a menos que se emplee para la persona examinada un ciclopléjico, normalmente suele ser ciclopentolato o tropicamida, y el médico sea capaz de relajar su acomodación a voluntad. También hay que corregir todo error refractivo que el médico pueda tener, y si esto no es posible, debe conocerse este error y descontarse del resultado que se obtenga.

Cuando la acomodación de la persona examinada y la del médico están relajadas, habiendo corregido el error de refracción del médico si lo hay, y cuando el espejo del oftalmoscopio se mantiene en el foco anterior del ojo, es decir, unos 17 mm delante de la córnea, si la zona de la papila se ve con claridad en todas direcciones, el ojo es emétrope. Si no es así, se colocan ante el ojo del médico lentes convexas de potencia creciente, y la más fuerte con que se obtenga una imagen clara será la medida de la hipermetropía del ojo examinado. En cambio, si las lentes convexas hacen la borrosidad más intensa, se emplean lentes cóncavas, y la más débil con la que se pueda ver el fondo de ojo nos da la medida de la miopía. Si existe astigmatismo, el trazado de los vasos capilares será desigualmente borroso en distintas direcciones y, cuando se coloquen lentes esféricas en el oftalmoscopio, sólo se verán con claridad los trazados perpendiculares al meridiano que se ha corregido. Por tanto, se encuentra la lente que hace nítidos los vasos capilares en un meridiano, y luego la que los hace en el que está en ángulo recto con el primero; la combinación de ambos puede interpretarse como la corrección esferocilíndrica de la refracción.

EL OFTALMOSCOPIO

El oftalmoscopio, aparato ideado por el físico y fisiólogo Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz en 1851, permite explorar el interior del ojo en el curso de una oftalmoscopia. Este instrumento se clasifica en dos grupos: los oftalmoscopios de refracción o de imagen invertida, y los oftalmoscopios de reflexión o eléctricos, los cuales dan una imagen directa.

Oftalmoscopio recto o de reflexión

Este oftalmoscopio dispone de dos ruedas, una de las cuales sirve para enfocar la retina por medio de un sistema de lentes esféricas cóncavas o negativas, y lentes convexas o positivas, es decir, divergentes y convergentes, que permiten el enfoque exacto. El oftalmoscopio no contiene lentes cilíndricas.

Los valores de corrección de las lentes de esta rueda, por lo general, se sitúan en valores desde -35 dioptrías hasta +20 dioptrías a intervalos pequeños y prácticos. El valor de dioptrías escogido para compensar el error de refracción puede leerse en una ventanilla iluminada y con aumento, dispuesta en el instrumento en el lado del médico por debajo del

orificio, a través del cual éste mira. Los números rojos representan los valores de las lentes negativas y los números negros representan los de las lentes positivas.

La otra rueda se emplea para cambiar la forma o el tamaño del haz de rayos luminosos, es decir, para seleccionar un juego con los distintos diafragmas, que permiten examinar con facilidad el fondo de ojo. Las aberturas diafragmáticas por lo general son:

- Abertura pequeña, que proporciona una visión más fácil del fondo de ojo a través de la pupila no dilatada.
- Abertura grande o estándar, para examinar la pupila dilatada y el reconocimiento general del ojo.
- Abertura de fijación, que proporciona unas finas líneas cruzadas y graduadas para medir la fijación excéntrica o para localizar lesiones u otras anomalías.
- Filtro libre de rojo, que excluye el espectro rojo de la luz del campo de reconocimiento para facilitar la identificación de venas, arterias y fibras nerviosas.
- Filtro de cobalto, este filtro azul usado con colorante de fluorescencia permite la fácil visualización de las pequeñas lesiones, abrasiones y cuerpos extraños.
- Ranura que se usa para determinar diversos niveles de lesiones y tumores.

La luz de la lamparilla se envía al ojo que se examina mediante un pequeño espejillo colocado inmediatamente debajo del orificio, a través del cual, como se indicó anteriormente, mira el médico, pero su localización, obviamente, está en la parte de la persona que se examina. Con este oftalmoscopio la retina no aparece invertida y está aumentada incluso unas 20 veces.

El oftalmoscopio está montado sobre un mango, cuyo interior alberga el sistema de energía eléctrica compuesto por una batería, generalmente de cadmio-níquel o por pilas de tamaño estándar. Este mango está diseñado convenientemente para recargar la batería mediante una conexión directa al enchufe o salida de cualquier voltaje. La fuente luminosa de este instrumento está formada por una lamparilla halógena de fuerte luminosidad.



Fig. 5. Oftalmoscopio recto o de reflexión. 1) Lado del médico. 2) Lado del paciente.

Oftalmoscopio de imagen invertida o de refracción

El oftalmoscopio de imagen invertida o de refracción consta en esencia de una fuente de luz y un visor binocular, que se encuentran en un soporte con forma de casco, que se coloca en la cabeza del médico explorador, y de una lente de poder dióptrico variable, según sea la magnitud de la imagen que se desea obtener.

En el cabezal iluminador se aloja una lámpara halógena de 6 V, que produce un campo iluminado blanco muy potente de aproximadamente 8 cm de diámetro, a una distancia de 30 cm. El revestimiento del cabezal está provisto de aletas de refrigeración para conseguir una óptima disipación térmica. También se encuentra acoplada una óptica de iluminación de gran calidad y precisión, que asegura una iluminación homogénea y que, mediante un sencillo sistema de regulación por medio de un mando rotativo de precisión, se puede ajustar la apertura del haz luminoso en $\pm 4^\circ$ y, con ello, poder hacer visibles hasta los más mínimos detalles al eliminar con eficacia los posibles reflejos. Se puede acoplar un filtro de interferencia libre de rojo por medio de una palanca integrada de fácil acceso, con él se puede ver las mínimas modificaciones vasculares. También se puede acoplar un filtro azul, para visualizar con la aplicación en el ojo de un colorante de fluorescencia lesiones, abrasiones o cuerpos extraños.

El visor binocular está provisto de lentes de 2 dioptrías para ayuda de acomodación. La distancia entre pupilas puede ajustarse entre 50 y 72 mm con los oculares de desplazamiento individual. Un sistema mecánico sincroniza los ajustes paralelo y de convergencia para una clara definición tridimensional y, de esta forma, mirando e iluminando de forma coaxial, se puede efectuar una exploración estereoscópica, incluso a través de una pupila de 2 mm.

Un transformador de sobremesa de conexión a la red con interruptor provee de energía eléctrica la alimentación del cabezal de iluminación.

La superficie de la lente complementaria de este oftalmoscopio tiene un tratamiento especial que elimina virtualmente los reflejos, así como la sutil definición de la misma

permite obtener unas claras y precisas imágenes de la retina con una corrección excelente de la aberración, siendo las imágenes que se obtienen carentes de distorsión, incluso en la periferia. La montura de la lente es de aluminio robusto y ligero, que permite una perfecta adaptación a la mano.



Fig. 6. Oftalmoscopio de imagen invertida o de refracción y lente complementaria.

EL DESLUMBRÓMETRO

El sentido luminoso

En la exploración del sentido luminoso, independientemente de realizarse en la práctica oftalmológica mediante distintas pruebas con distintos aparatos, se emplea un instrumento denominado deslumbrómetro, que se describirá seguidamente, así como su adecuada forma de empleo, ya que si no se emplea correctamente, la exploración nos inducirá a un diagnóstico equivocado. Pero, antes de ello, repasaremos brevemente qué es la hemeralopía.

Esta alteración, denominada también ceguera nocturna o nictalopía, se caracteriza por el hecho de que la visión permanece normal en pleno día, así como en lugares bien iluminados mediante luz artificial, no aconteciendo esta circunstancia en las horas crepusculares o en ambientes con una deficiente luminosidad.

El término hemeralopía, del griego «vista diurna», se utiliza erróneamente, pues aunque etimológicamente significa falta de aptitud para ver a pleno día, se emplea en sentido contrario, es decir, disminución de la visión a la luz crepuscular o de escasa intensidad.

Sabemos que la pupila es el orificio o abertura central del iris, por la que penetran al ojo los rayos luminosos, permitiendo la visión de los objetos. Esto es posible, gracias a un minúsculo músculo dispuesto en forma de anillo, rodeando el orificio central de la pupila, llamado esfínter del iris, constituido por dos órdenes de fibras musculares: las fibras musculares concéntricas de acción constrictiva y las fibras radiales de acción dilatadora. Estas fibras musculares confieren a esta abertura su carácter contráctil y expansible, logrando la adaptación a las diferentes intensidades de luz. Los movimientos de la pupila son de acción refleja, cuyo estímulo es el efecto de la luz por la excitación pupilomotriz de la retina, la cual hace que este esfínter se comporte como un diafragma.

Múltiples son las causas que hacen que la capacidad de adaptación a la luz por el globo ocular sufra alteraciones como retinitis de diversa etiología, ciertas atrofas del nervio óptico, avitaminosis A, etc., no reaccionando ante un gran flujo luminoso, perdiendo la pupila su capacidad contráctil, es decir, miosis, pudiendo ser esta falta contráctil total o parcial. En este caso concreto, la falta del proceso de adaptación a la luz hace reducir o perder la capacidad de visión de los objetos.

El vigente Reglamento General de Conductores aprobado mediante el **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, en su ANEXO IV, punto 1. CAPACIDAD VISUAL, apartado 1.4, Sentido luminoso, indica que no se admiten umbrales luminosos superiores a 3,5 U.L., pbs., a los treinta segundos ni una recuperación al deslumbramiento superior a cincuenta segundos, a cinco metros de distancia, con flujo luminoso de 1.000 a 1.500 lux. No deben existir alteraciones de la visión mesópica (hemeralopía). Y así, también lo indica el **Real Decreto 2272/85, de 4 de diciembre**, en su ANEXO 1, punto I SENTIDO DE LA VISTA apartado D) Sentido luminoso.

El **Real Decreto 2487/1998, de 20 de noviembre**, por el que se regula la acreditación de la aptitud psicofísica necesaria para tener y usar armas y para prestar servicios de seguridad privada, en el APARTADO I correspondiente a la CAPACIDAD

VISUAL,

determina en el punto que denomina, Sentido luminoso, que la hemeralopía sólo se admite en la licencia tipo **M** y en la de tipo **L** no se admite durante las horas de cambios de luz. En la licencia de tipo **S** no se admite. La nictalopía solamente se admite en la licencia tipo **M**.

EL DESLUMBRÓMETRO

Aparato que, al ser accionado sobre la persona a la que deseamos provocar un deslumbramiento, emite un flujo luminoso de una intensidad constante a la distancia que se determine.

El deslumbrómetro que se usa en los Centros de Reconocimiento de Conductores tiene unas características muy definidas, con el fin de que el médico oftalmólogo pueda emplearlo con la seguridad de realizar la prueba tal y como se exige por el Reglamento General de Conductores.

Emitirá un flujo luminoso de 1.000 a 1.500 lux, a una distancia muy determinada del aparato y a la cual deberá ser situada la persona a la que se está examinando.

El manual de las características e instrucciones del manejo del deslumbrómetro, dispondrá del diagrama de radiación de la lámpara emisora de luz. En este diagrama de radiación serán señalizados los puntos de variación de la intensidad luminosa con la distancia del foco de luz. Se marcará en el diagrama, igualmente, el punto donde el flujo de luz corresponda a 1.000 lux, así como el punto al que correspondan los 1.500 lux.

El médico oftalmólogo, a la vista de este diagrama, podrá colocar al individuo en la media que existe entre el mínimo y el máximo de lux de este campo lumínico, garantizando que, a pesar de los pequeños movimientos que pudiera realizar la persona a examinar, ésta recibirá el flujo de luz que prescribe la legislación.

Como se puede comprender, esta prueba no se puede realizar con cualquier otro foco luminoso que no tenga las características descritas, las cuales deben ser avaladas por técnicos competentes y ser adjuntadas, como se ha indicado anteriormente, junto con las instrucciones de uso del deslumbrómetro.

Existen deslumbrómetros que disponen de un mando a distancia para su accionamiento, el cual resulta muy práctico y cómodo, para el mejor control que el médico oftalmólogo tiene que tener sobre la posición en que ha colocado a la persona que va a someter a un deslumbramiento.

La exploración del sentido luminoso tiene que ir asociada a la exploración de la agudeza visual.

Una vez que el sujeto ha sido sometido a un deslumbramiento y, por lo tanto, está deslumbrado y, con ello, disminuida su capacidad visual por este haz de luz viva que produce el deslumbrómetro, se le realizará una lectura de las letras o signos de los optotipos. Se comprobará mediante un cronómetro, el tiempo que transcurre hasta que pueda realizar una correcta lectura en los optotipos.

El tiempo transcurrido, desde el deslumbramiento hasta la correcta lectura, será el factor determinante del parámetro que define el estado de visión y la aptitud del individuo para la conducción en condiciones normales o, por el contrario, en las condiciones restrictivas, especificadas en el ya citado Reglamento.

El uso del deslumbrómetro se realizará en una cámara oscura, donde no se dispondrá de elementos que puedan reflejar una cantidad apreciable de luz parásita. Si el uso de los optotipos requiere un espejo, se cubrirá éste con una tela negra, con el fin de minimizar sus efectos reflectantes.

Como se ha indicado, el tiempo de deslumbramiento se medirá con un cronómetro y no con un reloj convencional, ya que, como es sabido, éste no tiene la alta precisión con la que se puede medir fracciones de tiempo muy pequeñas.



Fig. 1. Deslumbrómetro.

LAS TABLAS PSEUDOISOCROMÁTICAS

El sentido cromático

Al comentar la capacidad ocular de percibir los colores, no podemos dejar de examinar, al menos brevemente, dos factores concomitantes: ante todo, la luz y luego el ojo. Sin menoscabo de esas partes del Sistema Nervioso que, relacionando las sensaciones visuales, las integran entre sí, formando parte de un todo.

Considerando el primer factor, o sea, la luz, nos encontramos con la dificultad de que no es factible expresar su definición con un lenguaje común, sin entrar en descripciones puramente físicas. Sin embargo, a pesar de lo que podría ser un impedimento, realizaremos un breve resumen, sin abordar conceptos altamente complejos, que entrañan no pocos inconvenientes para generalizarlos.

Desde Empédocles, Aristóteles, Pitágoras, etc., en la antigüedad, e Issac Newton, James Clerk Maxwell, Albert Einstein y otros, en tiempos más modernos, ha sido un punto de controversia determinar la naturaleza íntima de la luz visible. La *teoría de la onda asociada* de Louis de Broglie dice que la energía radiante es, a la vez, corpuscular y ondulatoria. Por tanto, las radiaciones electromagnéticas son, simultáneamente, onda y corpúsculo. La luz es una radiación electromagnética formada por corpúsculos llamados fotones y, como onda, está caracterizada por la frecuencia de su oscilación. La energía del fotón es proporcional a la frecuencia de su oscilación ($E=h\cdot\nu$).

De todos es conocido que cuando un cuerpo se calienta emite energía radiante, esto es, energía que se propaga sin apoyo en la materia a la velocidad de 299.792,46 km/seg. Llegada una determinada temperatura, estas radiaciones comienzan a ser visibles en longitudes de onda comprendidas entre los 3.600 y los 7.600 ángstroms (Å), susceptibles de impresionar nuestros órganos visuales, produciendo en nuestro cerebro la sensación de claridad.

Las radiaciones electromagnéticas, al excitar los electrones de los átomos y comunicarles su energía, los elevan a niveles energéticos superiores inestables y, de esta forma, es cuando el electrón, al volver a su nivel energético estable, emite fotones que pueden percibirse por nuestros órganos visuales, si su longitud de onda está comprendida dentro de las visibles.

Disponiendo la longitud de onda en una escala de mayor a menor, o lo que es igual, de menor a mayor frecuencia, en el extremo inferior de esta escala están situados los rayos cósmicos, llamados también de altura, que son radiaciones que se encuentran en el espacio superior y su longitud de onda es menor a la centésima de ángstrom (el valor del ángstrom corresponde a una cienmillonésima de cm). El límite superior se halla ocupado por las corrientes eléctricas alternas, como las utilizadas para uso industrial o doméstico, siendo la longitud de onda del orden de cientos de kilómetros.

En el ordenamiento de las ondas electromagnéticas, la luz visible limita por los rayos ultravioleta en su parte superior y los rayos infrarrojos por la inferior. Estas radiaciones, que no son visibles para el ojo humano, son importantes por sus aplicaciones

en la ciencia médica, así como para usos industriales.

La luz blanca está formada por diversos colores, cuya velocidad de propagación en el vacío es la misma, pero ésta es distinta cuando se desplaza por el interior de otro medio, como ocurre en el vidrio. Por esta razón, cuando un rayo luminoso atraviesa un prisma triangular de vidrio, se difracta y dispersa, dando lugar a los colores que lo constituyen, caracterizándose por una longitud de onda determinada. Estos son: el violeta se percibe en longitudes comprendidas entre los 3.600 y 4.300 ángstroms, el añil dentro de las 4.300 y 4.550, el azul entre 4.550 y 4.920; siguiendo el verde entre 4.920 y 5.500, el amarillo entre 5.500 y 5.880, siendo después el anaranjado dentro de las 5.880 y 6.470 y, finalmente, el rojo con longitudes de 6.470 y 7.600 ángstroms.

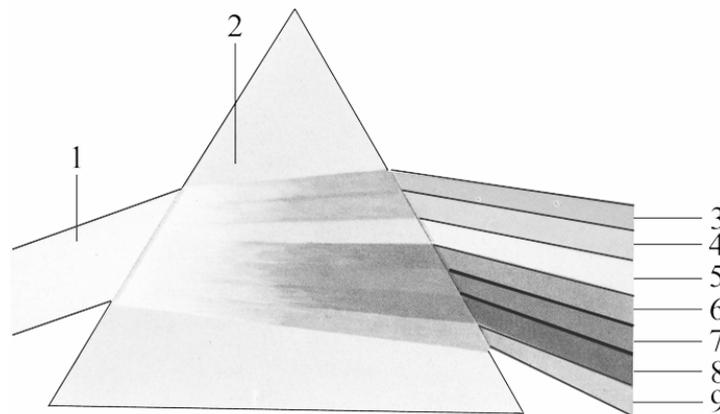


Fig. 1. Formación del espectro de la luz blanca. 1) Rayos de luz blanca paralelos. 2) Prisma de cristal. 3) Color rojo. Longitud de onda comprendida entre los 6.470 y los 7.600 Å. 4) Color anaranjado. Longitud de onda comprendida entre los 5.880 y los 6.470 Å. 5) Color amarillo. Longitud de onda comprendida entre los 5.500 y los 5.880 Å. 6) Color verde. Longitud de onda comprendida entre los 4.920 y los 5.500 Å. 7) Color azul. Longitud de onda comprendida entre los 4.550 y los 4.920 Å. 8) Color añil. Longitud de onda comprendida entre los 4.300 y los 4.550 Å. 9) Color violeta. Longitud de onda comprendida entre los 3.600 y los 4.300 Å.

Sin embargo, todos estos colores no están definidos entre uno y otro intervalo de longitud de onda, sino que forman un espectro continuo, porque la naturaleza no se nos presenta con límites bien definidos. Por ello, el número asociado con un nombre dado para las longitudes de ondas es solamente aproximado.

Cuando en física se emplea la palabra color, se hace de manera descriptiva, puesto que una sensación de color solamente se distingue de otra por la longitud de onda de la radiación luminosa que impresiona nuestro sentido de la vista.

En la definición de un color y atendiendo a su aspecto, hay que tener en cuenta diversos atributos de la luz, que suelen llamarse: matiz, que viene determinado por el tono o gradación que admite un color y depende de la longitud de onda de la radiación; luminosidad, que da cuenta de la intensidad luminosa producida por la cantidad de la luz incidente que refleja una superficie; saturación, que corresponde a la diferencia que separa un color determinado comparándolo con una sensación neutra (blanca o gris). De hecho, cuando decimos que un color es rojo nos estamos refiriendo a su matiz (o longitud de onda dominante), pero dentro del mismo tono o rango de color, podemos diferenciar un rojo subido o un rojo pálido, por su distinta pureza o saturación.

Observamos la mayor parte de los objetos que aparecen a nuestra vista con algún

tono de color. Las longitudes de onda visibles, son las comprendidas entre los 3.600 y los +

7.660 Å, son absorbidas, en parte, por dichos objetos, como consecuencia de que los cuerpos absorben una parte de la luz visible. La parte correspondiente a ciertas longitudes de onda, se nos aparecen a nuestra visión dando el color a los objetos. Contrariamente a lo que se podría pensar, el color que se observa, no es la porción de luz absorbida, sino el color de la porción que ha logrado atravesar un cuerpo transparente que se denomina luz refractada

o bien la luz reflejada si el cuerpo es opaco, es decir, la que no es absorbida. La luz diurna o luz blanca, es la escogida como patrón para el estudio del tono de las superficies, pero existen lámparas eléctricas especiales, como las de tungsteno de vidrio azulado, las cuales producen luz prácticamente comparable a la diurna.

El sentido de nuestra visión está condicionado para distinguir los colores constituyentes de la luz blanca, o lo que es igual, las diversas longitudes de onda de cada uno de ellos (colores monocromáticos). Sin embargo, no es capaz, como generalmente sucede, de diferenciar los colores derivados de la combinación o adición de dos o más colores primarios (colores de suma). En efecto, cuando vemos un color verde, no sabemos si es debido a un haz de radiaciones electromagnéticas, todas ellas de longitud de onda comprendida entre 4.920 y 5.500 Å, característica del verde o si, contrariamente, es el resultado de la mezcla aditiva de luz amarilla y de luz azul.

Cualquier color puede formarse a partir de tres colores diferentes, mezclándolos en las necesarias proporciones. En óptica se toma el rojo, el azul y el verde, como colores primarios de la luz, mientras que en pintura los llamados colores primarios son: el rojo, el amarillo y el azul. El color resultante de la combinación de colores primarios, dará lugar a los llamados colores secundarios. La superposición de todos los colores dan lugar al blanco, mientras que el negro resulta de la ausencia de toda radiación visible.

Pasemos al segundo factor que acontece en la capacidad de la percepción de los colores: el ojo. Llamado también globo, esfera o bulbo ocular, es la vía de acceso de la información visual hasta el Sistema Nervioso y, de ahí, hasta el cerebro. Tiene forma de esfera, pero no exactamente redonda, puesto que su diámetro anteroposterior es aproximadamente de 24 mm, el transversal de 24,5 mm y el vertical de 23 mm, pesando unos 7,5 gramos.

Desde el punto de vista anatómico, se distinguen tres membranas que engloban los medios transparentes: la exterior, formada por la córnea y la esclerótica; la media, compuesta por el iris, cuerpo ciliar y la coroides; y la interna, formada por la retina, que a su vez lo está por la porción sensorial y el neuroepitelio.

En la percepción de los colores cumple un papel principal la retina, en la que están ubicadas las verdaderas formaciones fotosensibles, siendo también el punto de partida de las fibras del nervio óptico.

La retina deriva del Sistema Nervioso Central. De hecho, aproximadamente al final del primer mes de nuestra vida embrionaria, un esbozo del cerebro avanza hacia la zona del bloque facial en la que se están diferenciando los elementos constituyentes del globo ocular y, curvándose, forma un cáliz de doble pared, dando origen a la retina. Por ello, los anatomistas la consideran como una expansión nerviosa en el interior del ojo, que lleva al cerebro las impresiones retinianas de los objetos externos, para que en los centros ópticos cerebrales se elaboren en sensaciones visuales; sólo después de esta elaboración en los centros cerebrales, podemos ver el objeto externo que ha impresionado la retina.

La retina posee su mayor espesor en el polo posterior, se aproxima a los 0,5 mm, y está organizada de la misma forma que el cerebro, por lo que podríamos decir que el cerebro ha desarrollado una forma de mirar el mundo exterior. Desde el punto de vista histológico, a pesar de su finísimo espesor, está subdividida en diez capas; con relación a su funcionamiento, no obstante, basta diferenciar tres tipos de células: los conos y los bastoncillos, las células bipolares y las células ganglionares.

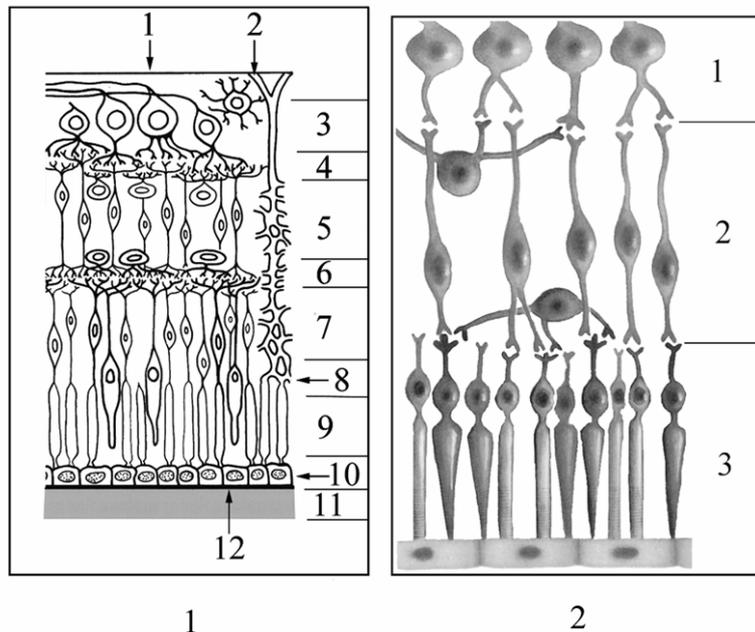


Fig. 2. La imagen 1 corresponde a un corte esquemático de la retina, delimitando sus capas apreciándose en: 1) *Membrana limitante interna*. 2) *Capa basal de las fibras de soporte de Müller*. 3) *Capa de las fibras nerviosas y células ganglionares*. 4) *Capa plexiforme interna*. 5) *Capa granulosa interna*. 6) *Capa plexiforme externa*. 7) *Capa granulosa externa*. 8) *Membrana limitante externa*. 9) *Capa de conos y bastoncillos*. 10) *Epitelio pigmentario*. 11) *Coroides*. 12) *Membrana de Bruuch*.

La imagen 2 corresponde también a un corte esquemático, diferenciando tres tipos de células: 1) *Células ganglionares*. 2) *Células bipolares*. 3) *Conos y bastoncillos*.

Los conos y los bastoncillos son células fotorreceptoras de la retina; los conos son sensibles al color y los bastoncillos a la claridad y la oscuridad. Estas células contienen unos pigmentos visuales, químicamente activos, la yodopsina, y la cianopsina, en los conos y la redopsina o eritropsina, en los bastoncillos. Estos pigmentos, que son proteínas conjugadas, pertenecen al grupo de los carotenoides. Los pigmentos visuales, al ser fotosensibles, se degradan por la incidencia en el ojo del potencial energético de la luz, es decir, los fotones. Su degradación, en el interior de los conos y los bastoncillos, desencadena una serie de excitaciones fotoquímicas, que se transforman en estímulos nerviosos.

El número de bastoncillos, aproximadamente es de 115 millones, mientras que los conos tan sólo son 6,5 millones. Estas células no están homológamente distribuidas en la retina, ya que en la periferia de ésta predominan los bastoncillos, que van decreciendo paulatinamente a medida que vamos dirigiéndonos al centro. Este mismo punto central de la retina, llamado foramen cecum (fóvea central), carece de bastoncillos, encontrándose la mayor parte de los conos de la retina.

Las células bipolares se encuentran interpuestas entre los elementos retinianos sensibles a la luz y las células ganglionares. Sirven de unión entre ellas, asegurando su conexión. Reciben la información de los estímulos sensoriales ya transformados y los

entrega a las células ganglionares, que a su vez los transmiten a los centros ópticos cerebrales.

Las células ganglionares tiene la finalidad, como se ha dicho, de recibir los estímulos lumínicos y cromáticos mediante sus prolongaciones periféricas, que son transferidos a través de su prolongación central a los centros ópticos cerebrales, con el objeto de que sean elaborados en sensaciones visuales. Las prolongaciones centrales de estas células, unas 500.000, reuniéndose en un haz único, forman el nervio óptico, que sale del polo posterior del globo ocular, para alcanzar los centros ópticos cerebrales.

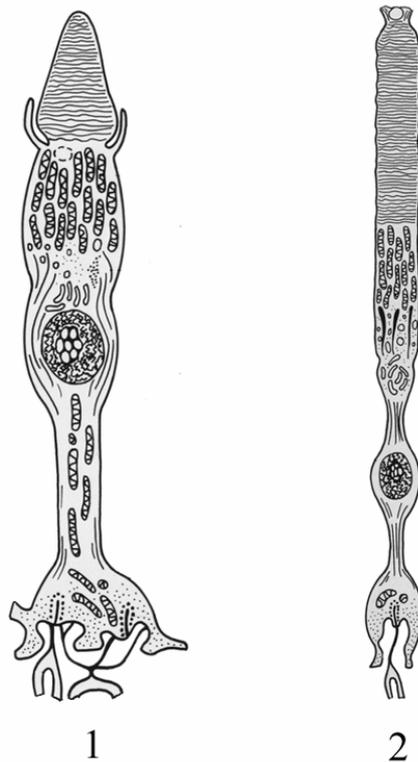


Fig. 3. Células fotorreceptoras de la retina. 1) *Cono*. 2) *Bastoncillo*.

En la retina, además, de las descritas, hay otras células que se interponen entre las anteriores, asegurando la unión de las células de una misma capa o de las diversas capas que forman la retina, dando lugar a una organizada red de conexiones altamente compleja.

Una vez descrita, aunque someramente y de manera aproximada, la constitución y el funcionamiento de la retina, como la parte especializada del Sistema Nervioso destinada a recoger, elaborar y transmitir las sensaciones visuales, trataremos de hacer una exposición de nuestra visión cromática, que está identificada en gran medida con la percepción de los colores, y de qué manera la retina es capaz de elaborar las sensaciones que nos posibilita la visión de los colores.

Cuando se habla de los colores, hay que tener presente que es una forma de referirse a los haces de luz de una determinada longitud de onda, pero ciertamente, además, hay que pensar que dependen del ojo o lo que acontece detrás del ojo, dentro del cerebro. Por consiguiente, la física caracteriza la luz que entra en el ojo, mientras que las sensaciones que percibimos son el resultado de procesos neuro-fotoquímicos y de respuestas psicológicas.

Para explicar el fenómeno de la visión coloreada, se han propuesto varias teorías, todas fundamentadas en la observación de que el ojo humano es capaz de diferenciar casi todas las gradaciones que admite un color sin pasar a ser otro, cuando se mezclan en proporciones adecuadas las luces monocromáticas roja, verde y azul.

La teoría más simple es la propuesta por Young y Helmholtz (teoría de la visión tricromática), según la cual en los diversos conos de la retina, hay tres tipos de fotopigmentos visuales diferentes: clorolabe, eritrolabe y cianolabe, que reciben la luz y, tienen espectros diferentes de absorción de las ondas presentes en el haz de luz. Entonces, cuando incide luz sobre ellos, se obtiene cantidades diferentes de absorción en cada uno de estos tres fotopigmentos, es decir, distinta excitación y, según sean las proporciones de excitación en los diversos tipos de cono, en el cerebro o en el ojo, o en alguna parte, de alguna manera se decide la interpretación visual del color resultante. La microespectrografía permite suponer que cada receptor, conos y bastones, contiene una, y sólo una, clase de pigmento fotolábil.

Se podría poner como ejemplo, el hecho de que cuando una persona recibe en el ojo una luz roja y una luz verde, en un mismo periodo de tiempo, se excitan los conos rojos y verdes de forma aproximadamente igual, produciendo una sensación que no es lo que llamamos verde rojizo, sino un nuevo color: amarillo, a pesar de que tal color no existe en la onda excitante.

Ha habido considerables controversias acerca del tema, como se confirma con Hering —teoría de los cuatro colores o colores contrapuestos—, o bien, Hartridge —teoría policromática—. No obstante, a pesar de todas las polémicas, casi todas las teorías modernas de la visión de los colores concuerdan en que hay sólo tres pigmentos en los conos y que es la absorción espectral en estos pigmentos lo que produce el sentido del color. Aunque el problema, naturalmente, es encontrar las características determinantes de absorción de cada uno de los tres pigmentos.

Como hemos dicho con anterioridad, en la retina humana existen aproximadamente seis millones y medio de conos, pero la proporción entre conos azules, verdes y rojos no se conoce, si bien pruebas indirectas señalan que los conos con pigmento para el azul son los menos numerosos, particularmente en el centro de la fovea, por lo cual debería ser casi ciega para este color. Si no es así, es porque los conos azules tienen una convergencia mucho mayor que los conos verdes y rojos.

Mediante experimentos de mezclas de colores, se pueden transformar las coordenadas del color como queramos, y sólo se encontrarán como resultado combinaciones lineales de las curvas de absorción, pero no las curvas para los pigmentos individuales.

Desdichadamente, todavía hoy no se conocen con seguridad las transformaciones que se experimentan en los pigmentos de los conos, ni la naturaleza de los mismos. Sin embargo, las distintas técnicas de investigación que se están realizando, probablemente, nos darán, en último término, mayor información sobre cómo vemos el color.

Existen anomalías y deficiencias que se presentan en la percepción de color en las personas. La visión normal en el ojo humano es tricromática, lo que significa que se obtiene un determinado color con la mezcla o apareamiento de tres colores, los que habitualmente se conocen en física como colores primarios. Mediante las pruebas objetivas que se pueden realizar, se ha demostrado que aproximadamente el 9% de la población sufre trastornos que alteran la visión de los colores. El 8% pertenece al sexo masculino, dándose, por tanto, sólo el 1% de alteraciones en el sexo femenino.

De acuerdo con los principios fundamentales de una anomalía, separamos las alteraciones congénitas de las alteraciones adquiridas. Las primeras son las anomalías que mejor se han investigado, pertenecientes a procesos no patológicos, sino a una propiedad connatural invariable para toda la vida. De las segundas, aunque no tan estudiadas, hablaremos más adelante, ya que no dejan de ser importantes, por ejemplo, para la detección de determinadas intoxicaciones o diagnóstico, a buen seguro, de ciertas enfermedades.

Dentro de la nomenclatura de las anomalías en la visión de los colores, de una manera simplificada, distinguiremos, según sea la deficiencia, los siguientes tipos:

Tricrómatas normales: individuos con visión cromática normal. Sintetizan un color cualquiera con la mezcla de los tres colores primarios rojo, verde y azul.

Tricrómatas anormales (debilidad para los colores): tienen un grado diferente de sensibilidad que los tricrómatas normales, por lo que realizan la síntesis de los colores de manera diferente a la normal. Son individuos que, en el apareamiento o mezcla de los tres colores primarios, se desvían de la normalidad y, por tanto, en la descripción verbal de los mismos. Es frecuente que estos individuos no sean conscientes de su deficiencia. Este conjunto de individuos, a su vez, está subdividido en tres grupos:

- **Protanómalos:** individuos con calidad reducida o deficiente para la visión del color rojo.
- **Deuteranómalos:** individuos con calidad reducida o deficiente en la visión del color verde.
- **Tritanómalos:** individuos con calidad reducida o deficiente, para la visión del color azul.

Dicrómatas (visión de dos colores): más conocidos como **Daltónicos**, establecen diferentes reglas para sintetizar un color, usando solamente dos colores primarios. También este conjunto de individuos, a su vez, está subdividido en tres grupos, que por orden de incidencia son:

- **Protanopes:** individuos con ceguera para la visión del color rojo.
- **Deuteranopes:** individuos con ceguera para la visión del color verde.
- **Tritanopes:** individuos con ceguera para la visión del color azul. El escaso número de este grupo lo hace muy insignificante.

Monocrómatas y Acrómatas: son individuos que presentan una elevada incapacidad o ceguera en la percepción de los colores. Su visión está basada en blanco y negro, con variantes de gris. Estos dos grupos de individuos son también muy escasos, apreciándose en ellos, por lo general, otras deficiencias o anomalías como fotofobia, nistagmo, etc.

Las alteraciones adquiridas en la visión cromática son el resultado de procesos de evolución patológica o sus consecuencias, por lo cual, estos procesos pueden empeorarse o, por lo contrario, mejorarse. Generalmente, los individuos que los sufren no acuden al médico especialista por las alteraciones cromáticas, sino por otras causas relacionadas con su visión.

Mediante el diagnóstico de alteraciones en la visión cromática, el médico puede determinar si el origen es debido a los efectos secundarios en la utilización a largo plazo, o bien, por exceso de fármacos, tan empleados hoy en día, como determinados antiinflamatorios, sedantes, hipnóticos, anoréxicos, etc., o por el uso de estimulantes como

nicotina, al-cohol, etc., así como por la exposición a algunos productos químicos, como por ejemplo, los pesticidas o el óxido de plomo (minio).

En ocasiones, algunas intoxicaciones hacen que en nuestra visión normal de los colores predomine un determinado color, como el rojo, por la ingestión de los principios activos de la digital, o sea, glucósidos, que se administran por su acción inotropa positiva, es decir, la propiedad que tienen en aumentar el rendimiento del músculo cardíaco en las insuficiencias cardíacas. También ocurre con un determinado antihelmíntico con acción vermífuga, la piperazina y sus derivados, con la que es frecuente la aparición de trastornos visuales de la acomodación y, especialmente, de la visión de los colores, los cuales toman un tinte azul, que luego se transforma en amarillo, hasta que finalmente se pierde toda discriminación de los mismos. El monacitrato de piperazina es utilizado por el médico en determinadas afecciones parasitarias del intestino, concretamente, en el tratamiento de las oxiuriasis y de las ascariidosis.

Otros trastornos adquiridos del sentido cromático son los presentados en algunos casos de escotoma, degeneraciones maculares, afecciones del nervio óptico, etc.

LAS TABLAS PSEUDOISOCROMÁTICAS

La comprobación de anomalías en la percepción de los colores se realiza mediante el examen de colores confundibles: las tablas pseudoisocromáticas, descubiertas por Donders. Entre las más conocidas, destacan las de Stillins y las de Ishihara. Están formadas por un conjunto de círculos de varios tamaños, manchados con distintos colores, con los que se han escrito números y letras, sobre el fondo de las tablas también moteado con diversos círculos de otros colores, pero de la misma luminosidad. Estos círculos están colocados de modo que las personas examinadas sólo puedan leer las letras y los números, si son Tricómatas y, por lo contrario, no pueden ser leídos, al no ser reconocidos, por las personas Dicrómatas o Daltónicas.

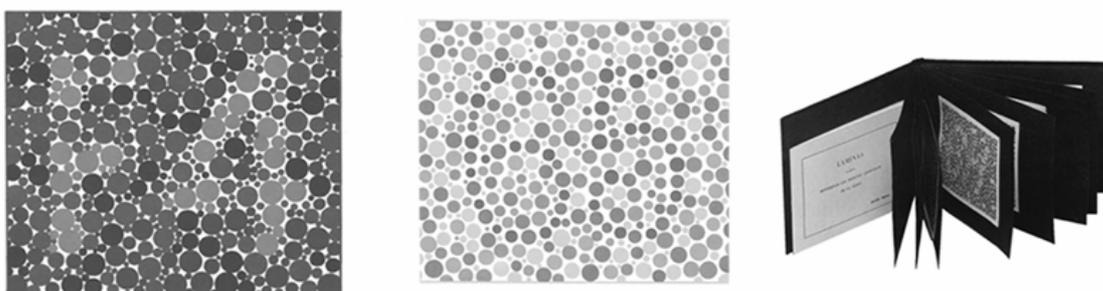


Fig. 4. Tablas pseudoisocromáticas de Ishihara, para el examen de la visión cromática.

Algunos ejemplares de estas tablas contienen diferentes pruebas mal hechas, es decir, con el principio opuesto a la pseudoisocromasia. Con frecuencia, no son reconocidos en ellas las letras y los números por individuos sin ningún tipo de alteración en la percepción de los colores. En estos ejemplares, sobre el fondo moteado de colores con números y letras de distintos coloridos, se han colocado, además, otros números y letras de diferente luminosidad.

La verificación de los ejemplares alfanuméricos, que no se han reconocido correctamente, hace posible al médico examinador obtener conclusiones del trastorno para

la visión de los colores. Especialistas de prestigio renombrado indican que cuando no se reconozcan correctamente tres o más láminas de la totalidad de las tablas pseudoisocromáticas, es mejor clasificar al examinado como dudoso y someterlo a la exploración, muchísimo más objetiva, con el anomaloscopio —aparato que más adelante se describirá—, con el fin de confirmar o excluir un trastorno de cromaptosia.

La exploración se realizará con los dos ojos abiertos en un local bien iluminado, no deslumbrante. La persona examinada deberá estar adaptada a la intensidad luminosa del local. Si en su vida cotidiana emplea gafas, estas deberán tener la correspondiente corrección. Las tablas se le presentarán, para su lectura, a una distancia aproximada de 70 cm; no se deben leer mediante distancias cambiantes, ni haciendo movimientos de vaivén, ni tampoco de forma inclinada. El tiempo de exposición para cada lámina será suficiente con 15 segundos.

El anomaloscopio

Para el diagnóstico y posterior evaluación de diferencias existentes en la percepción del color en un individuo dado, se emplea también el clásico instrumento denominado anomaloscopio —originalmente debido a Nagel—. Este aparato analítico fundamenta su funcionamiento en la mezcla de colores espectrales y, en este caso concretamente, el rojo y el verde, los cuales, en la proporción adecuada, pueden igualar al color amarillo, que el anomaloscopio dispone como color de muestra o de referencia.

El instrumento utiliza un campo visual formado por un disco dividido en dos mitades iguales, una de ellas corresponde a la mitad de referencia y presenta luz de una longitud de onda que corresponde al color amarillo. La otra mitad se utiliza para presentar una mezcla de luz correspondiente a las longitudes de onda de los colores rojo y verde, para formar el color de referencia, o sea, el amarillo. Para ello, se dispone de una serie de controles, mediante un sistema de precisión, de manera que se puedan controlar las cantidades de luz roja y verde, pudiendo, así, generar la formación del color amarillo, hasta que se considere que la mezcla cromática conseguida corresponda, en su igualación, a la de la mitad del disco de referencia.



Fig. 5. Anomaloscopio de Heidelberg.

Según la ecuación cromática de Rayleigh, —amarillo = rojo + verde—, la proporción de mezcla determinada de rojo y verde, con las que un individuo ajusta la igualación, facilita unas pautas mucho más objetivas para la evaluación de la percepción de los colores, es decir, si es normal o anómala, frente al uso de cualquier test de confusión pseudoisocromático.

La obtención de los colores en los anomaloscopios, hasta hace poco tiempo, se realizaba por medio de filtros cromáticos iluminados por lámparas de luz blanca. La luminancia de cada uno de los colores se modifica, también, por filtros neutros sucesivos de forma discontinua u otras técnicas de variación continua.

En la actualidad, la obtención de los colores se realiza mediante diodos electroluminiscentes (LED), los cuales emiten radiaciones electromagnéticas de longitud de onda correspondiente a los colores del espectro rojo, verde y amarillo, controlados mediante un sofisticado sistema electrónico. De esta forma, se consigue con la suma de dos diodos electroluminiscentes LED, o bien, incluso, con uno solo, siendo bicolor (rojo y verde) el amarillo, que debe igualarse con otro LED amarillo puro. En cuanto a la intensidad luminosa, ésta se consigue modificar con las intensidades eléctricas.

El **Real Decreto 2487/1998, de 20 de noviembre**, por el que se regula la acreditación de la aptitud psicofísica necesaria para tener y usar armas y para prestar servicios de seguridad privada, en el APARTADO I correspondiente a la CAPACIDAD VISUAL, contempla en el punto que denomina, Sentido cromático, que los errores en la lectura y percepción del verde, amarillo, rojo y naranja, así como los errores en la lectura de tablas y de colores puros se admiten en las licencias de tipo **M** y **L**. En la licencia de tipo **S** no se admiten.

MESOPTÓMETRO O NICTÓMETRO

Sentido luminoso o adaptometría

La adaptación a las diferentes magnitudes de luz es una de las capacidades de nuestro órgano visual. Este proceso de adaptación cuando se realiza con grandes intensidades de luz se denomina adaptación a la luz y en pequeñas intensidades, adaptación a la oscuridad.

La adaptación a la luz

Esta función tiene carácter de protección. En el deslumbramiento se produce una miosis pupilar máxima, es decir, una contracción anormal o transitoria permanente de la pupila, con el objeto de disminuir el haz de rayos lumínicos incidentes. Al mismo tiempo, la retina disminuye su sensibilidad a la luz.

La adaptación a la oscuridad

Esta función, de tanto significado práctico, es considerablemente mucho más lenta. Mientras que la visión diurna y cromática está coligada a la actividad de las células de la retina llamadas conos, por su forma, éstas se ven privadas de su actividad en la oscuridad, tanto más cuanto mayor sea ésta.

El mecanismo de la visión en la oscuridad implica la sensibilización de otras células de la retina que también por su forma se denominan bastones, gracias a un pigmento sintetizado en el interior de estas células, llamado púrpura visual o rodopsina. Para la producción de este pigmento es necesario el retinol, es decir, la vitamina A. La deficiencia de esta vitamina conduce a la ceguera nocturna.

La rodopsina se blanquea por la acción de la luz y los bastones deben reconstituirla en la oscuridad, de ahí que cuando se entra en un lugar oscuro procediendo del exterior con la luz del sol no podamos ver hasta que el pigmento no empieza a formarse. Cuando los ojos son sensibles a unos niveles bajos de iluminación, quiere decir que se han adaptado a la oscuridad. Simultáneamente, los conos se retraen hacia la capa pigmentaria, es decir, la capa externa de la retina donde la presencia de un pigmento marrón o pardusco los protege de la sobreexposición a la luz.

Como se ha comentado con anterioridad, el proceso de adaptación a la oscuridad evoluciona de forma más lenta que el de la adaptación a la luz. La razón de ello radica en el alto rendimiento fotoquímico que supone para la retina la transformación a la visión de los bastones. Cuando se instaura la visión por bastones, se limita únicamente al contraste blanco-negro, como la placa fotográfica.

Trastornos de adaptación a la oscuridad

El trastorno más común de la adaptación a la oscuridad es la ceguera nocturna o hemeralopía, que no es más que una disminución de la visión con luz crepuscular o poco intensa. Los orígenes de esta anomalía son diversos, siendo los más comunes el hereditario en las degeneraciones tapetoretinianas, la miopía progresiva degenerativa, la hepatitis crónica y las manchas de Bitot, este último trastorno es provocado por manchas blanquecinas en la córnea constituidas por epitelio, microorganismos, déficit de vitamina A,

etc.

La técnica oftalmológica para la exploración y consecuentemente la medición del poder o tiempo de adaptación de los órganos visuales a la oscuridad se denomina: adaptometría. Existen numerosos instrumentos llamados indistintamente adaptómetros, nictómetros o mesoptómetros. Los más comunes son el adaptómetro de Hartinger, el de Goldmann-Weekers, el instantáneo de Schobert-Hartmann, el nictómetro de Comberg y el mesoptómetro de Oculus. Todos ellos miden de forma más o menos laboriosa, pero con gran exactitud, la visión mesóptica o visión con la luz del crepúsculo, es decir, la visión en el tiempo que dura la luz o claridad del amanecer, desde que raya el alba hasta la salida del sol, y del anochecer, desde la puesta de este astro hasta que cierra la noche.

Precisamente fue la empresa alemana Oculus Optikgeräte GmbH quien fabricó el primer instrumento del mundo para determinar la agudeza visual en condiciones mesópticas y la sensibilidad al deslumbramiento. El instrumento ha sido desarrollado más y en la actualidad se encuentra disponible en dos versiones diferentes. Una se ha diseñado para realizar pruebas de despistaje, mientras que la otra permite hacer pruebas más detalladas, siendo posible medir la visión mesóptica con ocho intensidades diferentes de contraste y con fondos de luminosidad variable, también la readaptación tras diez segundos de deslumbramiento, así como la miopía nocturna.



Fig. 1. Mesoptómetro o Nictómetro.

EL TONÓMETRO

El glaucoma

Podríamos considerar el ojo, separado de los músculos y demás tejidos que lo rodean, como una esfera de elasticidad muy limitada. En su interior, independientemente de otras estructuras y, concretamente, entre la superficie posterior de la córnea y la anterior del cristalino, existe un espacio hueco, el cual está dividido por el iris en dos porciones, una mayor, denominada cámara ocular anterior, y la otra más reducida, llamada cámara posterior ocular.

La cámara ocular anterior está ocupada por un líquido incoloro, límpido, muy transparente, llamado humor acuoso, constituido por el 98% de agua y el resto sales disueltas, predominando el cloruro sódico.

La cámara posterior ocular está llena, en cantidad constante, por una masa transparente llamada humor vítreo, formada por una sustancia amorfa semilíquida de muy elevada viscosidad, así como por fibras y células.

Así como se ha dicho que el humor vítreo está presente en la cámara posterior ocular en cantidad constante, no ocurre igual con el humor acuoso. Éste, para mantener un volumen constante en el interior de la cámara ocular anterior, depende de que la cantidad de líquido producido por el cuerpo ciliar sea igual a la de su drenaje por el canal de Schlemm.

Cuando hay un aumento de la producción de humor acuoso o disminución de su absorción en el ojo, que es poco extensible, se genera un aumento de presión en su interior, lo cual desfavorece el mantenimiento de la distancia óptima entre la córnea, el cristalino y la retina. Esta alteración, que afecta a todo el ojo, debida al aumento del tono, es decir, de la presión intraocular, se denomina glaucoma, afección ésta de muy disímiles características en su forma crónica, asintomática o aguda.

El glaucoma, como hemos dicho, agrupa un conjunto de diferentes patologías, ocasionando dolores a veces muy vivos, trastornos oculares, entre los que destaca, como muy grave, la disminución progresiva de la función visual hasta su pérdida. Esto es, una consecuencia de las lesiones que se producen en la retina por la compresión de los vasos retinianos, dando lugar a un estado anémico de la retina, en la que los elementos sensoriales visuales (conos y bastones) terminan atrofiándose, con la consiguiente pérdida de la visión.

Puesto que el desarrollo del glaucoma en su primera fase es asintomático, y el enfermo no percibe molestias que le induzcan a una consulta médica, su diagnóstico no se realiza con la precocidad que se debiera. En la mayoría de los casos, se suele diagnosticar cuando se acude al médico a causa de otras patologías, que traen en consecuencia el hallazgo casual de esta alteración del ojo. Podríamos poner como ejemplo clásico más acontecido, cuando se acude a la consulta para el tratamiento de la presbicia o presbiopía.

Cuando el médico especialista realiza una exploración con el oftalmómetro y observa en la papila una típica excavación muy característica, llamada en cúpula, por ser más estrecha en su superficie que en el centro, sabe que se encuentra ante un glaucoma. En algunos casos, según el grado de la afectación, basta la simple presión con los dedos sobre el bulbo ocular, para que surja la sospecha de esta alteración, ante un aumento de

la consistencia normal, alteración denominada: ojo lapídeo.

En cualquier caso, se tiene que instaurar el tratamiento que corresponda lo más rápidamente posible, pudiendo ser farmacológico o bien quirúrgico. El especialista precisará conocer la presión intraocular y realizará una tonometría, técnica que se lleva a cabo con un instrumento llamado tonómetro. Los valores fisiológicos de dicha presión, es decir, la gravitatoria sobre la pared interna del globo ocular, son entre los 15 y 22 mm de Hg.

Como ya hemos dicho, el tonómetro es el instrumento que se utiliza para medir la presión intraocular. Entre los tipos de tonómetros conocidos, los más significativos son el tonómetro de indentación y el de aplanación, de los que existen varios modelos.

El tonómetro de indentación

Este instrumento, también llamado tonómetro de Schiötz, está constituido por un cilindro hueco, cuyo terminal está formado por una pequeña bóveda, la cual se adapta al ojo y, muy concretamente, a la superficie de la córnea. Dentro de este cilindro discurre otro cilindro, en cuyo extremo superior se colocan unas pesas de valores conocidos. Dicho extremo superior está en contacto con un vástago terminado en forma de manecilla de reloj o aguja, la cual indica el valor de una escala graduada.

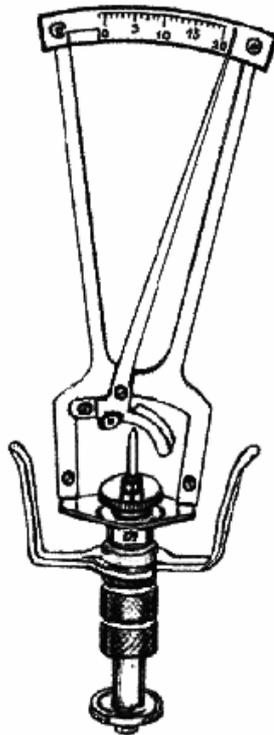


Fig. 1. Tonómetro de indentación.

Una vez anestesiado el ojo por instilación y colocada la persona a reconocer en posición de decúbito supino, se pone en contacto la córnea con la parte en forma de bóveda del tonómetro, pudiendo de esta manera comprobar la capacidad de depresión de la córnea. Sabemos, sin la menor duda, que cuanto mayor sea la presión del ojo, menos se podrá deprimir la córnea, o viceversa, por el cilindro interior del instrumento, indicando éste los valores de la presión intraocular, marcados por la aguja sobre la escala graduada. Posteriormente hay que buscar en una tabla el valor correspondiente de la presión

intraocular en mm de Hg.

La medición de la presión intraocular con el tonómetro de Schiötz, en ojos con rigidez escleral anormal, como los miopes, no es suficientemente exacta y con frecuencia puede inducir a error.

El tonómetro de aplanación

Este tonómetro, también llamado de Goldmann, se basa en la ley de Imbert-Fick, que afirma que en una esfera ideal, la presión en su interior es igual a la fuerza necesaria para aplanar la superficie, dividida por el área de aplanamiento.

Este aparato consta de un dispositivo de materia plástica en forma cónica, en cuyo vértice hay un prisma de duplicación, el cual se sobrepone a la superficie de la córnea. Dicho cono está enlazado a un manómetro. El aparato dispone de una rueda micrométrica que, al ser rodada sobre su eje, aumenta la presión del cono sobre la córnea. Toda esta estructura está montada sobre un microscopio estereoscópico binocular, acoplado a una lámpara cuya luz puede hacerse pasar a través de una hendidura, cuyo tamaño y orientación es regulable. También dispone de varios tipos de filtros para cambiar el color del rayo luminoso.



Fig. 2. Tonómetro de aplanación.

Anestesiando el ojo por instilación, así como realizando una tinción con solución de fluoresceína sódica al 2% en el mismo, se coloca la luz azul en el microscopio, es decir, la

lámpara de hendidura. Aplicando el cono del tonómetro en contacto directo con el centro de la córnea, estando la posición de la rueda micrométrica del tonómetro a 10 mm de Hg, se observará con el microscopio. Veremos dos segmentos de un círculo teñidos por la fluoresceína, los cuales indican que la córnea está aplanada de forma moderada. Dando vueltas a la rueda micrométrica y aumentando con ello la presión ejercida sobre la córnea, hasta que los extremos internos de los segmentos del círculo contacten, uniendo sus ángulos internos, se obtiene así en la rueda de ajuste la presión intraocular, que puede leerse directamente en mm de Hg.

Con este instrumento la superficie aplanada de la córnea es de 3,06 mm de diámetro, por tanto, la deformación ocular es mínima y, con ello, se suprime la inexactitud debida a la rigidez esclerótica. Otra ventaja de la aplicación de esta técnica es que el paciente puede permanecer sentado.

El tonómetro sin contacto

En 1972 el investigador Dr. B. Grolman diseña e introduce una nueva técnica de medición de la presión intraocular, sin entrar en contacto, es decir, sin contactar con el globo ocular y, por lo tanto, sin necesidad de anestésicar el ojo por instilación, ni realizar la tinción del mismo con la solución al 2% de fluoresceína sódica, como con los tonómetros anteriormente descritos.

Esta técnica está basada en aplanar el vértice o ápex de la córnea, mediante un chorro de aire comprimido. En el instante en que se aplanan la córnea por mediación del chorro de aire, hay un haz de luz colimada que, al reflejarse sobre la parte externa convexa de la córnea, se dispersa, concentrando sus rayos luminosos sobre un receptor, que registra, por medio de una célula fotoeléctrica que éste dispone, el momento de mayor intensidad luminosa. Al ser presionada por el chorro de aire la superficie de la córnea, ésta toma forma cóncava, dispersando nuevamente el haz de luz colimada y, de esta manera, disminuye las lecturas del receptor.

La cantidad de aire por unidad de tiempo que precisa la córnea para ser aplanada se convierte en la presión intraocular, mediante comparaciones que se han realizado con mediciones a partir del tonómetro de aplanación de Goldmann.

Este instrumento se encuentra montado sobre una mesa junto con su sistema de alineación corneal en tres dimensiones, un monitor de aplanación opto-electrónico, consistente en un transmisor que dirige el haz de luz colimada al ápex corneal, y un receptor que detecta solamente los rayos paralelos coaxiales reflejados por la córnea, así como el sistema neumático que genera el chorro de aire dirigido hacia la córnea.

La realización de la medición de la presión intraocular o manometría, requiere una buena fijación por parte del individuo a explorar. Puesto que la lectura de los valores es infinitamente rápida, apenas unos pocos milisegundos, son recomendables varias lecturas seguidas, al menos tres, con el fin de evitar las variaciones obtenidas por el pulso ocular. En la realización de manometrías continuadas no se observa alteración de la presión intraocular.

En un principio, el uso del tonómetro sin contacto se consideraba carente de efectos secundarios sobre la córnea. En la actualidad, mediante estudios realizados se han observado alteraciones corneales ligeras en individuos postoperados de queratoplastia, así como la introducción de aire intracorneal, que precipita la aparición de bullas corneales agudas en córneas edematosas, que con toda probabilidad sea por conducto de un epitelio defectuoso.

La utilización del tonómetro sin contacto se puede realizar a través de lentes de contacto blandas, siempre y cuando su grosor no supere 0,15 mm, con independencia del diseño y contenido acuoso.

El Reglamento General de Conductores, aprobado mediante el **Real Decreto 772/1997, de 30 de mayo**, en su ANEXO IV, punto 1. CAPACIDAD VISUAL, apartado 1,7, Deterioro progresivo de la capacidad visual, señala que cuando, aun alcanzando los niveles fijados en los apartados 1,1 al 1,6 anteriores, ambos inclusive, la presión intraocular supere los 22 mm de Hg, se deberá proceder a un control periódico y analizar posibles factores de riesgo asociados.

El **Real Decreto 2487/1998, de 20 de noviembre**, por el que se regula la acreditación de la aptitud psicofísica necesaria para tener y usar armas y para prestar servicios de seguridad privada, en el APARTADO I correspondiente a la CAPACIDAD VISUAL, indica en el punto que denomina, Tensión ocular, que cuando se obtenga igual o más de 21 mm Hg, sin alteraciones en el campo visual, se admite con revisión cada dos años, en los tres tipos de licencia.

Cuando se obtenga menos o más de 21 mm Hg, con alteraciones en el campo visual, se admite más la valoración de la agudeza visual y campo visual, con revisión cada dos años, en la licencia tipo **M** y **L**. En el caso de la licencia tipo **S**, solamente en las renovaciones, ya que no se admite en las obtenciones.



Fig. 3. Tonómetro sin contacto.

EL ESTEREOSCOPIO

El hombre tiene visión binocular, es decir, aunque tiene dos ojos, es capaz de enfocarlos sobre un objeto y formar una imagen del mismo en cada una de sus retinas. El cerebro fusiona los estímulos que le envían ambas retinas sobreponiéndolos, dando lugar a una imagen única. Para que esto suceda es necesario que la imagen se forme en puntos equivalentes en las dos retinas, esto es, que los globos oculares tienen que moverse juntos perfectamente sincronizados y de tal modo que las imágenes del punto fijado lleguen a las máculas de ambos ojos a puntos homólogos.

Esto se logra por la acción de los seis pares de músculos oculomotores exactamente coordinados. Además, de conseguir la visión única, esta síntesis también da lugar a la estereopsia o visión estereoscópica. El estado en que las acciones de los músculos oculomotores están equilibradas fisiológicamente y permiten la fusión de las imágenes sin esfuerzo se llama ortoforia.

Si existe una alteración en la coordinación de estos músculos y están en desequilibrio, se produce un trastorno de la visión binocular normal, denominado estrabismo o bizquera. Por tanto, el estrabismo es un defecto de la vista caracterizado por la desviación de un globo ocular hacia dentro, es decir, hacia la raíz de la nariz o hacia fuera. Cuando se supera este desequilibrio de forma que se mantiene la alineación adecuada de los ojos bajo coacción, el proceso se denomina heteroforia o estrabismo latente. Sin embargo, cuando la alineación de los ojos resulta imposible al ser demasiado grande el desequilibrio o el intento de fusión muy débil, o bien porque la visión en los ojos es desigual debido a que uno de los ojos se desvía de su dirección idónea, se denomina heterotropía o estrabismo manifiesto.

No obstante, antes de comentar el estrabismo, sus formas y causas, es conveniente recordar brevemente el movimiento del ojo y la anatomofisiología de los músculos responsables del mismo.

Los músculos oculomotores

La musculatura responsable de los movimientos del globo ocular, como se ha dicho, está compuesta por seis músculos, que se conocen como músculos extrínsecos del ojo, en oposición a los músculos lisos, el músculo ciliar y el músculo del iris, situados dentro del globo ocular, que constituyen los llamados músculos intrínsecos.

Los músculos extrínsecos del ojo se dividen, según su dirección, en dos grupos, músculos rectos y músculos oblicuos.

Músculos rectos del ojo

En número de cuatro, los músculos rectos del ojo nacen todos en el vértice de la cavidad orbitaria, en el contorno del agujero óptico, concretamente en un anillo fibroso denominado tendón de Zinn. Desde aquí se dirigen divergentes, en forma de abanico, es decir, formando un cono, hacia el globo ocular insertándose en la esclerótica, algo por delante del ecuador del bulbo ocular. Esta inserción se realiza por medio de un corto anillo tendinoso que varía entre 4 y 8 mm de largo y unos 10 mm de ancho. Según la situación que ocupan en la órbita y también en el globo del ojo, los cuatro músculos se denominan:

- Recto superior.
- Recto inferior.
- Recto interno o medio.
- Recto externo o lateral.

La longitud de estos músculos rectos prácticamente es igual, por término medio, 40 mm, incluyendo su tendón. La longitud de este último es variable en cada músculo, siendo por lo general:

- En el recto superior 5,8 mm.
- En el recto inferior 5,5 mm.
- En el recto interno 8,8 mm.
- En el recto externo 3,7 mm.

El grosor de los músculos rectos varía igualmente en cada uno de ellos. Seccionados en sentido perpendicular, la superficie de sección mide generalmente:

- En el recto superior 11,03 mm².
- En el recto inferior 15,08 mm².
- En el recto interno 17,04 mm².
- En el recto externo 16,77 mm².

La disposición general de los músculos rectos, considerados en su conjunto, representa una pirámide hueca, cuyo vértice corresponde al agujero óptico y cuya base abraza el globo del ojo. El nervio óptico atraviesa esta pirámide de atrás hacia delante, ocupando, por decirlo así, su eje.

Desde su nacimiento en el vértice de la órbita, los músculos rectos se dirigen hacia delante y, como se ha dicho, al separarse unos de los otros forman un cono muscular de vértice posterior, cuya base corresponde a la parte posterior del globo ocular. En el interior de este cono se encuentra la masa adiposa orbitaria, en la que discurren los elementos vasculares y nerviosos de la órbita.

El recto superior es el músculo más largo y también el más débil, en consonancia con la menor utilización de la mirada vertical, en la que actúa. Este músculo sigue la pared superior de la órbita, de la que está separado por el músculo elevador del párpado superior por arriba. Su envoltura o vaina muscular está unida a la vaina muscular del elevador del párpado superior mediante una expansión que se extiende por todo el trayecto del recto superior, y se inserta en el borde externo de los dos músculos, es decir, del recto superior y el elevador del párpado superior. El nervio frontal, situado primero entre estos dos músculos, sigue el borde externo del elevador del párpado superior, y luego pasa por encima de él.

Por la parte de debajo de la órbita, el músculo recto superior corresponde al nervio óptico, del que está separado por el tejido fibroso, en el que circulan la rama superior del nervio motor ocular común que le está destinado, el nervio nasal, la arteria y la vena oftálmica, las arterias y los nervios ciliares. Más hacia delante está relacionado con la porción refleja del músculo oblicuo mayor o superior que lo cruza oblicuamente y que también lo separa escasamente del globo del ojo.

El recto inferior forma el mismo ángulo que el recto superior con la pared interna de la órbita. Este músculo se dirige horizontalmente hacia delante, entre el nervio óptico, que está situado encima de él y del que está separado por el tejido graso en el que discurre

el nervio destinado a él mismo, así como al músculo recto medio o interno, y el suelo de la órbita sobre el que descansa en la mayor parte de su extensión. Sin embargo, el músculo recto inferior en su parte anterior está separado del suelo orbital al pasar por debajo del mismo el músculo oblicuo menor o inferior. Es en esta misma zona donde las vainas musculares de estos dos músculos se engruesan y forman el ligamento suspensorio del globo del ojo, que une la cápsula de Tenon con la órbita, llamado ligamento de Lockwood.

El recto medio o interno sigue la parte interna de la órbita, llega a la parte interna del globo del ojo, la rodea y viene a fijarse en el lado interno de la esclerótica, algo por dentro de la circunferencia de la córnea. Sus relaciones son simples. Su cara interna corresponde a la pared orbitaria. Su cara externa mira al nervio óptico, del que está separada por el tejido celuloadiposo de la órbita y las ramificaciones nerviosas a él destinadas. Su borde superior corresponde al músculo oblicuo mayor o superior y su borde inferior, al músculo recto inferior.

Este músculo, al igual que todos los demás músculos oculomotores, está rodeado de una vaina conjuntiva, en dependencia con la cápsula de Tenon, que es la cápsula fibrosa que rodea el globo ocular, de la que parten una serie de prolongaciones para formar las aletas o expansiones tendinosas que se fijan a la órbita.

El recto lateral o externo se dirige de atrás hacia delante, siguiendo la pared externa de la órbita. Su cara externa, en relación con esta pared en sus dos tercios superiores, corresponde, por su tercio inferior, a la porción orbitaria de la glándula lagrimal.

Su cara interna corresponde al nervio óptico y tiene a su lado el ganglio oftálmico, del que está separada por el tejido graso orbitario. El nervio motor ocular externo, antes de llegar al músculo, le sigue en una extensión de unos 13 mm. Su borde superior corresponde al borde externo del músculo recto superior y su borde inferior, al borde externo del músculo recto inferior.

Aunque las características son similares al músculo recto medio o interno, las prolongaciones de las aletas o expansiones tendinosas son más débiles.

Recordemos que la distancia que separa la inserción en la esclerótica de cada músculo recto de la circunferencia de la córnea por lo general suele ser:

- En el recto interno 5,5 mm.
- En el recto inferior 6,5 mm.
- En el recto externo 6,9 mm.
- En el recto superior 7,7 mm.

Como se ha podido observar, estas distancias nos muestran que el músculo interno es de los cuatro músculos rectos el que más se aproxima a la córnea, siguiendo en la aproximación el músculo recto inferior, luego el músculo recto externo y, por último y más lejano, el músculo recto superior. Por consiguiente, si se reúne por medio de una línea continua los cuatro puntos de inserción en la esclerótica de los cuatro músculos rectos, se verá que esta línea no es un círculo paralelo a la inserción de la córnea, sino una línea espiral que, partiendo de la inserción del músculo recto interno, se separa cada vez más del centro de la córnea, pasando sucesivamente por las inserciones de los músculos recto inferior y recto externo y terminando en la del recto superior.

Sabemos que los músculos contactan con la esclerótica antes de llegar a insertarse en ella. Se considera a ese punto tangencial como la inserción fisiológica y al espacio entre dicho punto y la inserción escleral se le denomina arco de contacto, siendo:

- En el recto superior 10,6 mm.

- En el recto interno 10,3 mm.
- En el recto inferior 9,8 mm.
- En el recto externo 9,2 mm.

Este arco de contacto es diferente para cada músculo, mientras que las inserciones fija y escleral no cambian, el arco de contacto varía constantemente en función de los distintos movimientos oculares. Es decir, la línea de inserción en la esclerótica de los cuatro músculos rectos no tiene una dirección cualquiera, sino una dirección fija, aunque diferente en cada uno de ellos. Así, es casi paralela al ecuador en el músculo recto interno, oblicua hacia atrás y afuera en el músculo recto superior, ligeramente oblicua hacia delante y abajo en el músculo recto externo y también ligeramente oblicua hacia atrás y afuera en el músculo recto inferior.

Por último, aunque se trata de desplazamientos mínimos, cabe indicar que el centro de la inserción escleral de cada uno de los músculos rectos está desplazado en relación con el meridiano de la córnea correspondiente: el músculo recto superior tiene su inserción desplazada algo hacia fuera, los músculos recto externo y recto inferior la tienen hacia arriba y el recto interno hacia dentro.

Músculos oblicuos del ojo

Se denominan músculos oblicuos del ojo porque su dirección cruza oblicuamente el eje anteroposterior del globo ocular. Son dos:

- Oblicuo superior o mayor.
- Oblicuo inferior o menor.

El oblicuo superior o mayor, al igual que los músculos rectos, se origina en el tendón de Zinn, desde donde se dirige oblicuamente hacia delante, siguiendo el ángulo diedro que forman, por su reunión, la parte superior y la parte interna de la órbita. Un poco antes de alcanzar el contorno orbitario, este músculo se transforma en un tendón cilíndrico que se introduce en un anillo fibrocartilaginoso que está fijado a una pequeña depresión del hueso frontal, concretamente, en su apófisis orbitaria interna, que se denomina polea de reflexión del oblicuo superior. A la salida de este anillo, el tendón oblicuo superior se desvía bruscamente de dirección, reflejándose hacia fuera y atrás, rodea la parte superior del globo del ojo, pasando por debajo del músculo recto superior, y se fija en la parte superoexterna del hemisferio posterior.

El cuerpo muscular del oblicuo superior está situado entre el músculo recto superior y el músculo recto interno o medio y su cara interna corresponde al tejido adiposo que rodea el nervio óptico.

Su línea de inserción en la esclerótica es mínimamente curva, con la concavidad dirigida hacia delante y adentro. La extensión lineal de inserción mide entre 10 y 12 mm.

El oblicuo inferior o menor, a diferencia de todos los demás músculos del ojo, no se origina en el fondo de la órbita sino en el reborde óseo del orificio superior del conducto nasal, inmediatamente por detrás del reborde orbitario y por fuera del conducto lácrimonasal. Desde este punto se dirige oblicuamente hacia fuera y atrás, rodea de abajo arriba el globo del ojo y va a insertarse en su hemisferio posterior, a 6 u 8 mm por debajo de la inserción del músculo oblicuo superior en la esclerótica, muy próximo a la mácula y vasos ciliares posteriores.

La cara inferior, convexa, de este músculo está en relación primero con el suelo de la órbita y más adelante con el músculo recto externo o lateral, y su cara superior, cóncava, está en relación con el globo del ojo, a cuyo alrededor se adapta. Sin embargo, está separada de él por el músculo recto inferior, con el que se relaciona mediante el ya mencionado

ligamento de Lockwood.

La línea de inserción en la esclerótica del músculo inferior también es mínimamente curva, con la concavidad vuelta hacia su inserción fija, y mide generalmente entre 7 y 11 mm.

La inervación de los músculos extrínsecos de ojo se realiza mediante tres pares craneales. El nervio motor ocular externo o abductor (VI par) inerva el recto lateral o externo, el nervio patético o troclear (IV par) el oblicuo superior, el nervio motor ocular común (III par) a todos los demás, es decir, el recto superior, inferior, medio o interno y el oblicuo inferior. Estos nervios poseen fibras mielínicas, de contracción rápida y fibras amielínicas, de contracción lenta.

La irrigación de los músculos oculares se lleva a cabo por medio de la arteria oftálmica, a través de las ramas musculares lateral o superior y la medial o inferior. Las venas corresponden con las arterias y abocan a las venas orbitarias superior e inferior.

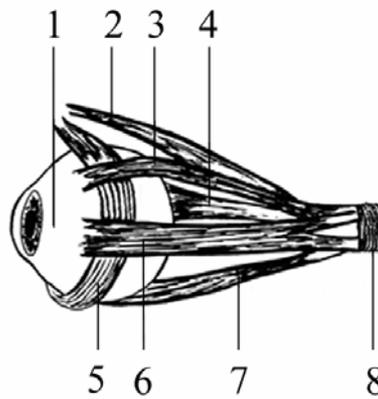


Fig. 1. Diagrama de los músculos extrínsecos del ojo. 1) *Globo ocular.* 2) *Oblicuo superior o mayor.* 3) *Recto superior.* 4) *Recto interno o medio.* 5) *Oblicuo inferior o menor.* 6) *Recto externo o lateral.* 7) *Recto inferior.* 8) *Tendón de Zinn.*

Acciones de los músculos rectos

En mecánica ocular está mundialmente admitido que el ojo no ejecuta movimiento alguno de traslación en su totalidad, sino movimientos de rotación alrededor de un centro siempre fijo, cualquiera que sea el movimiento ejecutado. Este centro de rotación no está situado en la mitad del eje anteroposterior del ojo, sino dos milímetros más atrás, aproximadamente a 13,6 mm por detrás del vértice de la córnea y a 10 mm por delante de la superficie posterior de la esclerótica. De esta manera se comprende con facilidad que la acción que ejercen los músculos rectos sobre la esfera ocular depende a la vez de su dirección y de su punto de inserción en la esclerótica. Con el fin de ilustrar esta aserción, es conveniente recordar algunas definiciones previas.

Se designa con el nombre de plano de acción del músculo, el plano que pasa por los tres puntos siguientes: el centro de rotación del ojo, la inserción orbitaria del músculo y su inserción en la esclerótica. Una línea perpendicular trazada desde este plano al centro de rotación nos da el eje en torno al cual se mueve el globo ocular cuando el músculo se contrae, es decir, su eje de rotación.

Diversas investigaciones demuestran que cada uno de los músculos rectos del ojo, al igual que los oblicuos de los que hablaremos más adelante, tiene un eje de rotación que le es propio y, por otra parte, que estos diversos ejes de rotación nunca son coincidentes con exactitud con las coordenadas del ojo, es decir, con uno de sus ejes vertical, horizontal

o anteroposterior. La acción de los músculos rectos es, pues, compleja y su determinación suscita grandes dificultades, por lo menos si se quiere llegar a fórmulas rigurosamente exactas.

Desde el punto de vista práctico, todos los movimientos oculares se desarrollan en relación con los ejes oculares imaginarios o ejes de Fick, es decir, por el centro de rotación del ojo pasan tres ejes, uno vertical denominado eje Z, otro horizontal llamado eje X, y el otro anteroposterior eje Y. Veamos ahora la acción de los músculos rectos que imprimen movimiento al ojo con relación a estos ejes.

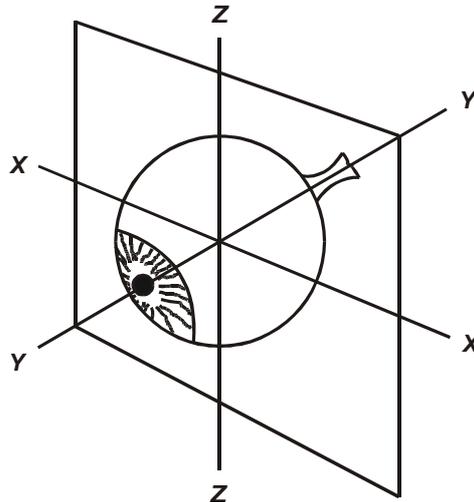


Fig. 2. Ejes imaginarios o de Fick.

El eje de rotación del músculo recto interno o medio en la práctica ordinaria se considera que coincide exactamente con el eje del músculo recto externo o lateral. Del mismo modo se admite que el músculo recto superior y el músculo recto inferior actúan uno y otro sobre el globo del ojo, según un mismo y único eje de rotación. Recordando la disposición respectiva de estos diferentes músculos, observamos que el recto interno o medio y el recto externo o lateral, por una parte, y el recto superior así como el recto inferior, por otra, hacen rodar el eje en sentido inverso, es decir, son músculos recíprocamente antagonistas.

En cuanto a la dirección exacta del eje de rotación de cada uno de estos dos pares musculares, se ha establecido tanto por el cálculo como por la experiencia de la siguiente manera:

- El eje de rotación del primer par muscular, es decir, del recto interno o medio y el recto externo o lateral, coincide con el diámetro vertical del ojo.
- El eje de rotación del segundo par muscular, es decir, del recto superior y el recto inferior, está situado casi en el plano horizontal y se dirige oblicuamente de dentro afuera y de delante atrás, formando con el eje transversal del globo ocular un ángulo de 27°.

Al disponer ahora de los elementos necesarios para determinar la acción respectiva de cada uno de los músculos rectos sobre el globo del ojo, y recordando por una parte, el principio de mecánica según el cual los movimientos ejecutados por una esfera son siempre determinados por el modo de desviación de dos puntos de su superficie y, por otra parte, que prevalece el uso de tomar como puntos de referencia en la esfera ocular el centro de la córnea y la parte superior del meridiano vertical, se puede enunciar las siguientes cuatro fórmulas:

1. El músculo recto interno o medio dirige la córnea hacia dentro, siguiendo el

plano horizontal y conservando el meridiano vertical su posición vertical.

2. El músculo externo o lateral lleva la córnea hacia fuera, siguiendo siempre el plano horizontal y conservando el meridiano vertical su posición vertical.
3. El músculo superior lleva la córnea hacia arriba y un poco hacia dentro y, además, inclina ligeramente hacia dentro la parte superior del meridiano vertical.
4. El músculo recto inferior dirige la córnea hacia abajo y un poco hacia dentro y, además, inclina ligeramente hacia fuera la parte superior del meridiano vertical.

Acciones de los músculos oblicuos

El músculo oblicuo superior o mayor actúa sobre el globo del ojo como si se insertase en su polea de reflexión, la cual, como se sabe, se encuentra situada en el ángulo superointerno del reborde orbitario. El plano de acción de este músculo pasa, pues, por los siguientes tres puntos: la polea de reflexión, el centro de rotación del ojo y el punto medio de su línea de inserción en la esclerótica. Su eje de rotación, igual para los músculos rectos, será la perpendicular bajada sobre este plano desde el centro de rotación del globo ocular.

Aunque el plano de acción del músculo oblicuo inferior o menor es algo diferente del homólogo del oblicuo superior o mayor, se puede en la práctica ordinaria despreocuparse de esta diferencia. De este modo, los dos músculos oblicuos, como el recto externo o lateral, por una parte, y el recto superior y el recto inferior, por otra, constituyen un tercer par de músculos antagonistas, que desvían el ojo en sentido inverso, pero siempre alrededor de un mismo eje de rotación.

Este eje de rotación de los dos músculos oblicuos se dirige oblicuamente de delante hacia atrás y de fuera hacia dentro, formando con el eje anteroposterior del ojo un ángulo de 39°. Además, no está situado exactamente en el plano horizontal, sino que forma hacia delante, por encima de este plano, un ángulo de 8°. De estas nociones se pueden deducir las dos siguientes fórmulas, que resumen el modo de acción de los dos músculos oblicuos:

1. El músculo oblicuo superior o mayor desvía la córnea hacia fuera y hacia abajo, además, inclina hacia dentro la parte superior del meridiano vertical.
2. El músculo oblicuo inferior o menor desvía la córnea hacia fuera y hacia arriba, además, inclina hacia fuera la parte superior del meridiano.

Movimientos oculares

Como se ha dicho con anterioridad, todos los movimientos oculares se llevan a cabo en relación con los ejes oculares de Fick. Los movimientos de abducción, es decir, hacia fuera y los movimientos de aducción, o hacia dentro, se desarrollan por rotación alrededor del eje vertical, los movimientos de elevación y depresión alrededor del eje horizontal y los de intorsión y extorsión en torno al eje anteroposterior.

Un músculo puede provocar un movimiento del ojo sobre un eje siempre que el músculo, su plano muscular o su proyección formen un ángulo con dicho eje y la intensidad de la acción será mayor cuanto mayor sea el ángulo. La acción es máxima cuando el músculo y el eje forman un ángulo de 90° y nula cuando el músculo es paralelo o está en el mismo plano que un determinado eje.

En cualquier movimiento ocular existen unos músculos que colaboran activamente, denominados músculos sinergistas y otros músculos que se inhiben proporcionalmente, llamados antagonistas. Cuando un movimiento ocular se realiza en el campo de máxima acción de un músculo, siendo éste el único que actúa, se llama músculo agonista.

Cada músculo extrínseco del ojo, exceptuando el recto horizontal, tiene dos

músculos sinergistas y dos antagonistas. Los rectos horizontales tienen tres músculos antagonistas. Todo ello se puede observar en la siguiente tabla:

Músculo agonista	Músculos sinergistas	Músculos antagonistas
Recto externo o lateral	Oblicuo superior o mayor Oblicuo inferior o menor	Recto interno o medio Recto superior Recto inferior
Recto interno o medio	Recto superior Recto inferior	Recto externo o lateral Oblicuo superior o mayor Oblicuo inferior o menor
Recto inferior	Oblicuo superior o mayor Recto interno o medio	Recto superior Oblicuo inferior o menor
Recto superior	Oblicuo inferior o menor Recto interno o medio	Recto inferior Oblicuo superior o mayor
Oblicuo superior o mayor	Recto inferior Recto externo o lateral	Oblicuo inferior o menor Recto superior
Oblicuo inferior o menor	Recto superior Recto externo o lateral	Oblicuo superior o mayor Recto inferior

Los músculos que están en diferentes ojos y tienen una función semejante, es decir, llevan el ojo en la misma dirección, se denominan músculos yugo, y el músculo que en el otro ojo tiene una acción contraria al músculo agonista se llama antagonista contralateral.

Los movimientos oculares tienen siempre como finalidad conseguir la visión binocular y pueden partir de la corteza occipital, es decir, movimientos reflejos, o de la corteza frontal, es decir, movimientos voluntarios. Los movimientos aislados de un ojo se denominan movimientos monoculares o ducciones y se estudian ocluyendo el otro ojo. Los mismos movimientos realizados simultáneamente por los dos ojos de forma conjunta se denominan movimientos binoculares y se clasifican en dos grupos: versiones y vergencias.

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

Las versiones son movimientos binoculares en los que los dos ojos se mueven de forma sincrónica y simétrica en la misma dirección y sentido, es decir, cuando los ejes visuales conservan su paralelismo. Según la dirección que toman los ojos se denominan:

- Dextroversión (mirada a la derecha), levoversión (mirada a la izquierda), sursumversión (elevación o mirada hacia arriba) y deorsumversión (depresión o mirada hacia abajo). Estos cuatro movimientos llevan los ojos hacia las llamadas posiciones secundarias de la mirada.
- Dextroelevación (mirada hacia arriba y a la derecha), dextrodepresión (mirada hacia abajo y a la derecha), levelevación (mirada hacia arriba y a la izquierda) y levodepresión (mirada hacia abajo y a la izquierda). Estos cuatro movimientos oblicuos llevan los ojos hacia las denominadas posiciones terciarias de la mirada.
- Dextrocicloversión (rotación del limbo superior de ambos ojos hacia la derecha) y levocicloversión (rotación del limbo superior de los dos ojos hacia la izquierda).

Antes de hablar de las vergencias, sería conveniente recordar que las seis posiciones cardinales de la mirada son: dextroversión y levoversión, dextroelevación y levelevación, dextrodepresión y levodepresión. Debe hacerse hincapié en que, a pesar de existir nueve

posiciones de la mirada, sólo estas seis son cardinales.

También debemos recordar que cuando los ojos se mueven hacia cada una de las seis posiciones cardinales de la mirada, un músculo de un ojo se empareja con un músculo del ojo opuesto. Por ejemplo, en la dextroversión los dos músculos yugo son el recto externo o lateral derecho y el recto interno o medio izquierdo. En la dextroelevación los músculos yugo son el recto superior derecho y el oblicuo inferior o menor izquierdo.

Las vergencias son movimientos binoculares en los que los dos ojos se mueven de forma sincrónica y simétrica en direcciones opuestas, es decir, cuando los ejes visuales pierden su paralelismo. Existen dos tipos: convergencia, cuando ambos ojos realizan una aducción; y divergencia, cuando ambos ojos realizan una abducción.

La convergencia puede ser voluntaria o refleja. La convergencia refleja tiene cuatro componentes:

1. Convergencia tónica. Implica algún tono nervioso inherente en los músculos intraoculares del ojo cuando la persona permanece despierta.
2. Convergencia proximal. Viene determinada por el conocimiento psicológico de la proximidad de un objeto.
3. Convergencia fusional. Es un reflejo optomotor que asegura que imágenes retinianas similares se proyecten en las áreas retinianas correspondientes. Se produce sin ningún cambio en el estado de refracción del ojo y se indica por una disparidad de la imagen retiniana bitemporal.
4. Convergencia acomodativa. Viene determinada por el acto de acomodación como parte de un reflejo sincinético de proximidad. Cada dioptría de acomodación se acompaña por un incremento completamente constante en la convergencia acomodativa, dando lugar a la denominada relación acomodación convergencia acomodativa (A/CA).

La relación acomodación-convergencia acomodativa (A/AC) es el grado de convergencia medida en dioptrías de prisma por unidad (dioptría) de cambio en la acomodación. El valor normal es 4Δ . Esto significa que 1 D de acomodación se asocia con 4Δ de convergencia acomodativa.

Antes de proseguir, recordemos qué es la dioptría prismática. Cuando un rayo de luz atraviesa un prisma, sufre una desviación. Llamamos potencia del prisma al cociente entre la distancia de desviación δ y la distancia objeto D dividido por 100. Esto se expresa en dioptrías prismáticas con el símbolo Δ .

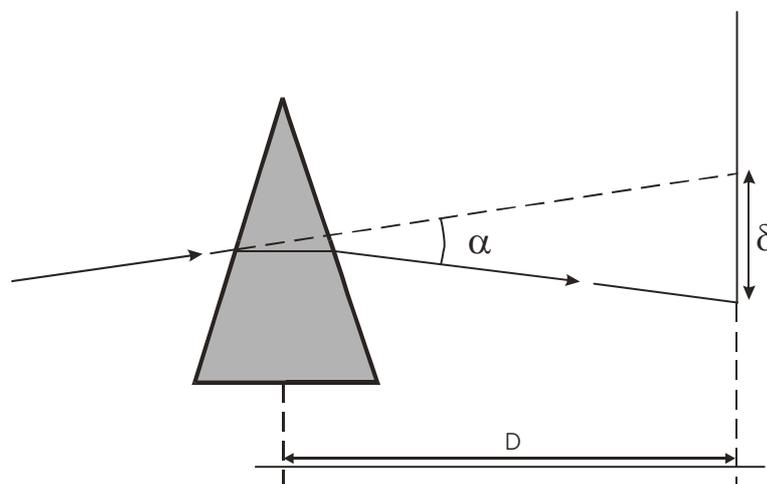


Fig. 3. Dioptría prismática.

La relación A/AC es independiente del estado de refracción y no puede alterarse por ortópticos. Las anomalías de la relación A/AC son causas muy importantes de un estrabismo. Una relación elevada puede producir excesiva convergencia y ocasionar una esotropía durante la acomodación a un objeto cercano. Una relación baja puede producir una exotropía cuando la persona mira a un objeto cercano.

La única forma de divergencia clínicamente significativa es la divergencia fusional. Es similar a la convergencia fusional, pero se inicia por una disparidad en la imagen retiniana binasal.

El mecanismo de vergencia fusional produce movimientos correctores del ojo, anulando la disparidad en la imagen retiniana. La amplitud fusional se refiere a la máxima cantidad de movimiento ocular producido por la vergencia fusional. Las amplitudes de éstas pueden medirse mediante el uso de prismas o, más fácilmente, con el estereoscopio o, por su evolución más adaptable, el amblioscopia, una forma más refinada es el sinoptóforo. Los principios básicos de estos instrumentos, sin embargo, son los mismos. La amplitud normal de la convergencia fusional para objetos distantes es aproximadamente de 15Δ y de 25Δ para los cercanos. Las amplitudes de divergencia normal son menores. La convergencia funcional ayuda a controlar la esoforia. El mecanismo de vergencia fusional puede disminuir con la fatiga o la enfermedad, convirtiendo una foria en una tropía. La amplitud de los mecanismos de vergencia fusional puede mejorarse mediante ejercicios ortópticos. Éstos producen mejores resultados para la convergencia fusional de proximidad, en particular para la mejoría de la insuficiencia de convergencia.

Los movimientos oculares se rigen por dos leyes básicas:

- **Ley de Sherrington** o de inervación recíproca. Esta ley fundamental afirma que el aumento del número de estímulos y la contracción de un músculo se acompañan automáticamente de un descenso recíproco del número de estímulos y contracción, es decir, relajación de su músculo antagonista.
- **Ley de Hering** o de correspondencia motora. Esta ley expone que durante cualquier movimiento conjugado del ojo —versiones—, los músculos yugo son estimulados de forma similar y simultánea.

En el caso de un estrabismo parético, el número de estímulos nerviosos de ambos ojos está siempre determinado por el ojo que fija, por lo que el ángulo de desviación variará dependiendo de cuál de los ojos se utilice para fijar. Por citar un ejemplo, si en el caso de una parálisis del músculo recto externo o lateral derecho, el ojo izquierdo normal se utiliza para la fijación, habrá una desviación interna del ojo derecho debido a la falta de oposición por parte de su antagonista, es decir, el músculo recto interno o medio derecho. El grado de desviación entre los dos ojos en esta situación se llama desviación primaria. Si el ojo derecho parético se usa ahora para fijar, fluirá un estímulo adicional hacia el músculo recto externo o lateral derecho. Sin embargo, de acuerdo con esta ley, un número igual de estímulos nerviosos fluirá también hacia el músculo recto interno o medio izquierdo —músculo yugo—. Esto produce una acción excesiva de músculo recto interno o medio izquierdo y una excesiva cantidad de aducción. La cuantía de desalineación entre los dos ojos en esta situación se conoce como desviación secundaria.

Una vez que se ha mencionado sucintamente la anatomofisiología de las más significativas estructuras responsables de los movimientos de los ojos, y cómo intervienen mediante acciones concretas en el logro de los movimientos oculares, hablaremos sobre el desarrollo de la visión binocular única, algunas de sus deficiencias y alteraciones, su más significativo trastorno, es decir, el estrabismo, así como determinadas exploraciones para su

detección.

Mirada a la derecha		Mirada a la izquierda
ARRIBA RS OI  	ARRIBA RS+OI OI+RS  	ARRIBA OI RS  
RE RM  	RECTA Posición primaria  	RM RE  
ABAJO RI OS  	ABAJO RI+OS OS+RI  	ABAJO OS RI  

Fig. 4. Representación esquemática de los movimientos oculares normales en las nueve principales direcciones de la mirada e indicación de los músculos que se encuentran en acción.

RS: Recto superior.
RE: Recto externo o lateral.
RI: Recto inferior.

OI: Oblicuo inferior o menor.
RM: Recto interno o medio.
OS: Oblicuo superior o mayor.

Visión binocular única

La visión binocular única se consigue al utilizar los dos ojos a la vez, por lo que las imágenes separadas y ligeramente distintas que se forman en la retina de cada ojo, pueden fundirse psicológicamente y se aprecian como una imagen única mediante este proceso de fusión.

Aunque en circunstancias normales los dos ojos trabajan en íntima coordinación y son tratados por el cerebro como si se tratara de un solo ojo, las imágenes retinianas del objeto que se fija con la mirada no son idénticas. Al mirar un objeto, el ojo derecho ve más a la derecha y el ojo izquierdo más a la izquierda. Por tanto, el objeto fijado con ambos ojos origina dos imágenes en puntos correspondientes de ambas retinas, y estas dos imágenes se funden psicológicamente en una sola en la corteza cerebral, originándose la impresión subjetiva de que el objeto es visto solamente por un ojo.

Las dos foveas, al ser los puntos retinianos más importantes y tener la misma proyección espacial, se denominan puntos retinianos correspondientes por excelencia. Además, la fovea posee la propiedad de derecho al frente, es decir, cualquier estímulo que le alcance, venga de donde venga, es proyectado en el espacio por el cerebro, como si viniera de frente.

Los puntos retinianos periféricos de ambos ojos también se estimulan simultáneamente y se pueden agrupar, al igual que las dos foveas, en pares de puntos que tienen la misma proyección espacial, denominados puntos retinianos correspondientes. Si así sucede, se dice que hay una correspondencia retiniana normal (CRN), mientras que cuando existe una desviación de las líneas de proyección espacial, correspondiendo entre sí zonas anatómicamente diferentes, se denomina correspondencia retiniana anormal (CRA).

Cuando hablamos de puntos retinianos, hay que tener en cuenta que nos estamos refiriendo a elementos retino-corticales, es decir, a cada punto de la retina le corresponde un punto en el córtex cerebral.

Esta síntesis, además, de conseguir la visión binocular única, da lugar a la visión

tridimensional o estereopsia, que consiste en asociar cualidades que no tienen las imágenes monoculares, tales como: sensación de relieve, profundidad, distancia absoluta y distancia relativa. Algunos de estos aspectos pueden obtenerse sin visión binocular, ya que se obtiene por experiencia personal.

La visión binocular se adquiere y refuerza durante los primeros años de vida. En el nacimiento, el niño no presenta todavía visión nítida ni binocular, adquiere ambas capacidades con el crecimiento y el entrenamiento, al igual que ocurre con el movimiento coordinado de sus miembros. La fovea del niño tiene un retraso embriológico que hace que no se complete el desarrollo anatómico hasta los 3-6 meses de vida. A partir de esta edad se incrementa la agudeza visual y luego se desarrolla la coordinación motora. A los 3 años alcanza el máximo desarrollo sensorial, el proceso completo de visión binocular se alcanza entre los 5 y 6 años.

No obstante, así como el grado de madurez en el momento del nacimiento es nulo, la capacidad de adaptarse sensorialmente a una situación, ya sea fisiológica o patológicamente, es máxima y a esto se le llama plasticidad.

A la edad de 5 ó 6 años, la madurez es máxima y la plasticidad es mínima. Si existe algún problema antes de los 3 años de edad puede incidir en la maduración de la visión binocular y el Sistema Nervioso Central, por su gran plasticidad, es capaz de adaptarse a la nueva situación, en este caso, patológica. De esta manera se desarrolla un sistema de visión anómalo no binocular alternativo que, después de perder la plasticidad, queda fijado para siempre y es irreversible.

Hay tres factores imprescindibles para el desarrollo de la visión binocular. El primer factor es un aceptable grado de claridad de la visión en ambos ojos, es decir, tiene que existir una mácula sana en ambos ojos, con un mecanismo de enfoque eficaz, de modo que puedan formarse dos imágenes claras y aproximadamente iguales de nitidez. La agudeza visual en la mácula tiene que ser más elevada que en cualquier otra zona de la retina, para poder enviar a los músculos extrínsecos un estímulo suficientemente intenso para orientar los ojos, de forma que la imagen del objeto fijado se forme en ella. El segundo factor, por tanto, es la capacidad de las áreas visuales del cerebro para lograr la fusión de las dos imágenes ligeramente distintas, es decir, un mecanismo nervioso que actúe eficazmente, que pueda recibir las dos impresiones y las combine psicológicamente en una. El último factor es la coordinación precisa de los dos ojos en todas direcciones de la mirada, es decir, el conjunto de músculos oculares con su función normal al moverse se encarga de lograr el delicado ajuste necesario.

Cuando en el proceso de la visión binocular se cumplen estos factores, se puede considerar tres grados en dicha visión. Estos grados fueron diferenciados por Claud Worth por primera vez.

Una persona puede ver un objeto claramente con ambos ojos. Cuando los ejes visuales están alineados adecuadamente, las dos imágenes se funden formando una. Sin embargo, cuando interviene alguna influencia perturbadora que provoca desorientación de los ejes, no hay intentos de mantener la fusión y se produce la diploplía, es decir, la percepción doble de los objetos. Esto es, debido a que, en determinada dirección de la mirada, las imágenes no llegan a puntos homólogos de las dos retinas. La diplopía ocurre en el campo de acción del músculo paralizado y se hace más patente a medida que los ojos se mueven en dicho campo. Una segunda persona, sin embargo, no sólo fundirá las dos imágenes, sino que también realizará un esfuerzo considerable para mantener esta fusión. Mientras que otra tercera, que no solamente ve binocularmente, sino que combina las dos para obtener un efecto estereoscópico, tendrá una tendencia tan grande a mantener la fusión que sólo con gran dificultad abandonará las ventajas de la visión binocular.

Estos tres grados de visión binocular son conocidos habitualmente como:

- **Grado I:** Percepción macular simultánea.
- **Grado II:** Fusión de las imágenes en una sola.
- **Grado III:** Visión estereoscópica, es decir, en relieve cuando el objeto se ve desde dos ángulos diferentes.

El Estrabismo

Como se indicó al principio, el estrabismo es un defecto de la vista caracterizado por un desorden de la motilidad ocular, debido a una alteración en la alineación de los ejes visuales. El tratamiento correcto del estrabismo, que más adelante comentaremos, es muy complejo y puede prolongarse durante años; se debe realizar adecuadamente y exige tanto del niño que lo sufre como de padres y médico oftalmólogo, gran perseverancia y paciencia; hay que tener en cuenta que no existe estrabismo que se cure solo. Según su origen y sus características, el estrabismo se divide en: heteroforia o estrabismo latente, estrabismo manifiesto o concomitante y estrabismo paralítico.

Heteroforia o estrabismo latente

Cuando el equilibrio muscular es perfecto, los ejes de los dos ojos se dirigen al mismo objeto, y la visión binocular puede mantenerse sin esfuerzo a cualquier distancia que esté el objeto que se mira. Con frecuencia los ojos se mantienen en la posición exacta mediante un esfuerzo de acomodación, que traduce la existencia de un desequilibrio oculomotor pero que se mantiene en situación de paralelismo gracias a la compensación por el reflejo de fusión, es decir, por el sistema sensorial. Cuando se dan estas circunstancias nos encontramos ante un estrabismo latente o heteroforia.

El estado de equilibrio normal puede verse trastornado por varios factores:

- a) El músculo puede ser débil de por sí, y la deficiencia ser de origen congénito o implicar una falta de tono en la postura normal. Esta situación puede ser consecuencia de una enfermedad o debilidad general, anemia o debilidad nerviosa, y corresponde hasta cierto punto al estado similar que da lugar a deformidades de postura, por ejemplo, el que afecta a la espalda en la escoliosis. En algunos casos, cuando la vitalidad es satisfactoria, puede no experimentarse trastorno alguno, y la deformidad sólo es evidente en estados de fatiga corporal. Así pues, la heteroforia puede ser rítmica, tiende a aparecer por la tarde, cuando la persona que la sufre está cansada, o produce molestias en periodos de trabajo excesivo o ansiedad y preocupación, mientras que desaparece completamente en reposo o en periodos vacacionales.
- b) El espasmo de los músculos antagonistas o un aumento de su tono de postura.
- c) Los errores de la refracción y los trastornos de la acomodación con la convergencia asociada alteran el equilibrio muscular; así, el trastorno comienza la mayoría de las veces al iniciarse la etapa de escolaridad o un trabajo administrativo, que obliga a una cantidad desacomumbrada de trabajo de cerca.
- d) Puede ser un factor etiológico la ordenación anatómica de los músculos o la configuración de las órbitas.
- e) Pueden ser también responsables los trastornos de inervación.

En las heteroforias, también llamadas forias, según el músculo afectado, puede aparecer desviación latente en varias direcciones y se clasifican en:

- **Exoforia:** Desviación hacia fuera. Es la más frecuente de las forias y la que más fácil se compensa por los mecanismos de convergencia voluntarios.
- **Endoforia o esoforias:** Desviación hacia dentro.
- **Hiperforias:** Desviación hacia arriba. Dan una sintomatología subjetiva muy molesta cuando se descompensan por apreciarse rápidamente la diploplía, ya que los mecanismos de fusión vertical son muy escasos.
- **Hipoforias:** Desviación hacia abajo.
- **Cicloforias:** Desviación en el eje anteroposterior que consiste en un movimiento torsional de los ojos que desaparece en visión binocular.

La incidencia de exoforia y esoforia poco pronunciada es sumamente frecuente, y por regla general no provocan síntomas, puesto que están compensadas por el poder de fusión de los dos ojos. Sin embargo, cuando se presentan con una desviación mayor de 6Δ , suele haber molestias notables. La hiperforia, por el contrario, puede causar trastornos considerables aunque sea muy ligera y los síntomas de la cicloforia pueden ser más intensos todavía.

En términos generales, los síntomas visuales de la heteroforia a veces son llamativos. La visión se hace borrosa en ocasiones, sobre todo en épocas de fatiga. Hay dificultad para mirar fijamente un objeto, y las molestias aumentan al intentar seguir con la vista a éste, si está en movimiento, es decir, astenopía ocular. Así pues, es probable que aparezcan situaciones de desconcierto cuando los objetos, especialmente los que se mueven, parecen amontonarse. Al cerrar uno de los ojos, la visión mejora y se obtiene alivio. También se puede sufrir fotofobia, lagrimeo y tortícolis de compensación. En ocasiones hay una diploplía. Las mayores molestias se experimentan en la cicloforia intensa, en ésta las líneas verticales aparecen desviadas, las casas de uno y otro lado de la calle, por ejemplo, dan la sensación de amenaza de derrumbarse sobre la persona que la sufre, sensación a veces combinada con trastornos reflejos y laberínticos pronunciados.

Los síntomas reflejos pueden ser intensos. Son frecuentes las cefaleas de todo tipo, que pueden aparecer a los pocos minutos de empezar un trabajo de cerca, haciendo difícil o imposible su continuación. Un trastorno laberíntico asociado da lugar a vértigos, que pueden acompañarse de náuseas y, en ocasiones, de vómitos. En los niños se observa con frecuencia inquietud, y en los adultos de temperamento inestable y tendencias neuróticas puede producirse un estado neurasténico o, si ya existe, una intensificación de los síntomas.

Como mecanismo compensatorio frecuentemente hay tendencia a adoptar posturas excéntricas de la cabeza, y es característico el fruncimiento del ceño y un blefarospasmo asociado. El propósito de adoptar una posición anómala de la cabeza es alejar los ojos el máximo posible del campo de acción del músculo debilitado. Esto incluye el girar la cabeza en la dirección del campo de acción del músculo debilitado, por lo que los ojos giran automáticamente en la dirección opuesta.

La persona gira su cara dando lugar a una desviación horizontal. Por ejemplo, si uno de los músculos que giran los ojos hacia la izquierda está paralizado, la cara también gira hacia la izquierda, de tal forma que los ojos se desvían entonces automáticamente a la derecha.

La persona sube o baja el mentón dando lugar a una desviación vertical. Si uno de los músculos elevadores está debilitado, la persona eleva el mentón de tal forma que los ojos presenten una depresión.

La persona hace una desviación torsional mediante la inclinación de su cabeza hacia uno u otro hombro. Si, por ejemplo, un músculo intorsionador como el oblicuo superior derecho está paralizado, el ojo sufre una extorsión. Para compensar esta alteración y hacer

que el ojo derecho se intorsione, la cabeza debe inclinarse hacia el hombro izquierdo.

Métodos de tratamiento del estrabismo latente

Como el estrabismo latente está mantenido, frecuentemente, por defectos de refracción —miopía, hipermetropía, astigmatismo—, es importante la prescripción, ante todo, de las lentes adecuadas que corrijan el vicio que la ha causado, que bien puede ser el origen de las molestias subjetivas. En ocasiones, una determinada foria puede indicar el uso de una corrección que, si no fuera por ella, no sería precisa. Con frecuencia suele ocurrir que al eliminar un defecto óptico se recupera espontáneamente el equilibrio muscular. Por supuesto, es evidente la importancia que tiene una corrección cuidadosa del astigmatismo oblicuo.

Si fracasan estas medidas, puede recurrirse a los ejercicios ortópticos, valiosos cuando los síntomas son lábiles, cuando la desviación es relativamente pequeña y cuando no está determinada por factores orgánicos relativamente groseros y estáticos, como una anomalía anatómica o la debilidad de un músculo. Estos ejercicios se aplican en departamentos especiales de las clínicas oftalmológicas u ópticas, con la dirección de personal especializado, es decir, ortoptistas y con control médico. También es conveniente que estos ejercicios estén asociados a un simple ejercicio que la persona pueda realizar en casa. Uno de éstos consiste en fijar la punta de un lápiz durante unos minutos, aproximándola progresivamente a los ojos hasta unos 8 cm, sin verla doble.

Para ser útiles, estos ejercicios tienen que practicarse durante mucho tiempo, e incluso así los resultados son a menudo decepcionantes. Sin embargo, pueden lograr aliviar los síntomas, aunque la heteroforia no varía sustancialmente. Es conveniente que se instaure también una terapéutica general, consistente en reposo, vida al aire libre y, sobre todo, una alimentación sana y equilibrada con la supresión de bebidas alcohólicas, excitantes y tabaco.

Si con todo lo dicho anteriormente la heteroforia no mejora subjetivamente, estaría indicada la corrección prismática. En caso de que existan grados intensos de desviación, el proceso podría exigir para su mejora medidas quirúrgicas, como un acortamiento o alargamiento muscular.

Heterotropía o estrabismo manifiesto o concomitante

Se conoce como estrabismo concomitante o manifiesto aquél que mantiene constante el grado de desviación ocular en las diferentes posiciones de la mirada y, consecuentemente, produce una alteración de la visión binocular. Existe, por tanto, una pérdida del paralelismo de los ejes visuales.

En el origen de tal forma de estrabismo puede estar imbricado un conjunto de factores de difícil explicación por su desconocimiento y otros conocidos. Éstos se distinguen por factores ópticos sensoriales y factores motores. Seguidamente recordaremos con una breve exposición algunos de los factores conocidos que determinan el origen del estrabismo concomitante.

Entre los factores ópticos sensoriales cabe citar una situación de deficiente agudeza visual, generalmente unilateral, sin causa obvia que pueda detectarse en el examen físico ocular, es decir, una ambliopía derivada de la falta o defecto del desarrollo de la mácula lútea, también la ambliopía previa a la aparición del estrabismo, pero diferente a la producida por él. Por ejemplo, la ambliopía secundaria a una diferencia de la refracción entre ambos ojos, es decir, la anisometropía, por una catarata congénita y traumática de la infancia, o un leucoma corneal, es decir, la opacidad blanca de la córnea consecutiva a la pérdida de sustancia de ésta. Más adelante describiremos la ambliopía de forma más detallada. Todos estos factores determinan una desviación en el ojo que no ve y con ello la

falta del estímulo de visión binocular. Otra causa muy frecuente son los defectos de refracción, especialmente la hipermetropía, pero también otros como la miopía congénita.

Entre los factores motores más generalizados destacan las alteraciones congénitas o adquiridas de un músculo, por ejemplo, la inserción muscular desplazada, la naturaleza fibrosa del músculo, la retracción secundaria de un músculo o un edema y la debilidad del músculo ciliar de origen tóxico por enfermedades infecciosas.

Todos estos factores no desencadenan obligatoriamente un estrabismo, ni tampoco se hereda como entidad, pero sí algunos de los factores que lo condicionan. El 4% de la población es estrábica y de ella entre el 30% y 60% tiene antecedentes familiares positivos. Ya en los aforismos hipocráticos se afirma: «Los bizcos son generados por bizcos».

Es importante recordar que la persona que sufre estrabismo concomitante, por lo general, no suele padecer diplopía, es decir, no percibe los objetos dobles como debería suceder, ya que al existir una desviación ocular las imágenes de los objetos se producen en dos puntos retinianos no correspondientes. La diplopía no se produce debido a que se forma una supresión de los objetos en el ojo desviado. La supresión de la imagen retiniana macular se produce por procesos de inhibición centrales internos, es decir, por proceso psíquico de exclusión o anulación. La prueba del campo visual central muestra un déficit absoluto, o lo que es igual, un escotoma central, es decir, un escotoma funcional que comprende la mácula y el punto de mirada de la imagen. Este mecanismo, aparentemente tan útil, si, por una parte, evita las molestias de la diplopía, tiene por otra, el grave inconveniente de poder conducir a la pérdida funcional del ojo desviado por una ambliopía.

En otras ocasiones, en cambio, y más a menudo cuando se trata de un estrabismo alternante con una desviación muy pronunciada, no se produce la supresión de las imágenes percibidas por el ojo desviado, sino que, por una adaptación aún no suficientemente explicada de los centros superiores, el cerebro acepta las dos imágenes. De tal modo, la imagen que se forma sobre una parte excéntrica de la retina del ojo desviado, que actúa como punto correspondiente a la mácula del ojo que fija, no está excluida y se proyecta en la misma dirección de la imagen formada sobre la mácula del ojo que fija. El cerebro se acostumbra, así, a considerar como mácula un punto periférico de la retina. En esta situación, se forma una alterada visión binocular que, sin embargo, no llega a una visión estereoscópica y, además, provoca una considerable pérdida de la agudeza visual del ojo desviado.

El reconocimiento de un estrabismo concomitante no ofrece dificultades. Más difícil e importante, en cambio, es el examen de la desviación y, sobre todo, la determinación de la presencia o no de una ambliopía o de una fijación excéntrica.

Las heretotropías o estrabismos concomitantes, también llamadas tropías, según el sentido de la desviación, se clasifican de la siguiente manera:

Estrabismos horizontales:

- **Estrabismo convergente, endotropía o esotropía.** El ojo no fijador se encuentra desplazado hacia dentro y, por consiguiente, están cruzados los ejes visuales de ambos ojos.
- **Estrabismo divergente, exotropía.** El ojo no fijador se encuentra desplazado hacia fuera, separándose, por tanto, los ejes visuales.

En este tipo de estrabismo horizontal diferenciaremos:

- **Estrabismo monocular.** Se desvía de manera constante sólo uno de los ojos. Se mueve, sin embargo, en todas las direcciones de la mirada de manera concomitante. El ángulo de estrabismo permanece de este modo, constante.

- **Estrabismo alternante.** Ambos ojos bizquean de forma alternativa. Ambas máculas conservan, por consiguiente, una capacidad visual completa. Durante la fijación de un objeto por la mácula de un ojo se produce siempre un escotoma pasajero por inhibición central en el otro ojo, desviado en posición estrábica. Si la fijación cambia al otro ojo, el ojo no fijador se coloca en posición estrábica, con supresión simultánea de su imagen retiniana macular.

Estrabismos verticales:

- **Hipertropía.** El ojo no fijador se encuentra desviado hacia arriba con relación al ojo fijador.
- **Hipotropía.** El ojo no fijador se encuentra desviado hacia abajo respecto al ojo fijador.

Estrabismos torsionales:

- **Inciclotropía.** Se trata de las desviaciones en las que los polos superiores de las córneas están inclinados hacia dentro.
- **Exciclotropías.** Las desviaciones en las que los polos superiores de las córneas están inclinados hacia fuera.

Métodos de tratamiento del estrabismo concomitante

Antes de comentar algunos de los tratamientos del estrabismo concomitante, sería conveniente recordar algunos conceptos sobre la ambliopía y su corrección.

La ambliopía

La palabra ambliopía se deriva del griego —amblyopia (dificultad de visión); deamblyos (débil) y opos (vista)— conocida popularmente como «ojo vago».

Se puede definir como una situación de deficiente agudeza visual, generalmente unilateral o con una lesión cuya importancia no es proporcional al déficit funcional. Representa la pérdida o disminución de la función macular, por lo general, debida a una alteración de su desarrollo sin causa orgánica que lo justifique. Afecta a un porcentaje entre 1,5 y el 4% de la población y, aunque es un problema que frecuentemente acompaña al estrabismo, puede presentarse sin que éste esté presente.

Puede existir ambliopía con fijación central, al ser la fovea la que fija, y con fijación excéntrica, al recaer la fijación en un punto retiniano más o menos alejado de la fovea, que según su asiento puede ser parafoveolar, paramacular, periférico o parapapilar.

La ambliopía se clasifica:

- **Ambliopía por privación o por desuso (Ex-anopsia).** En ésta la retina no percibe estímulos de forma y no se llega a formar sobre ella una imagen y, en muy raras ocasiones, ni estímulos de luminosidad. Como consecuencia de la ausencia de percepción de estímulos morfológicos, se produce una falta de desarrollo de los reflejos de fijación, ocasionándose de esta forma una alteración de la visión central.

Este tipo de ambliopía tiene un mal pronóstico. Algunas de las causas más frecuentes que la provocan son: la catarata congénita, la ptosis congénita, es decir, caída del párpado superior y el coloboma, aunque esta última es más rara.

- **Ambliopía ametrópica.** Es característica de los casos de hipermetropías muy elevadas no corregidas, dando lugar a una ambliopía bilateral de grado moderado, ya que, aunque existe una pérdida de la correcta estimulación, la interrelación binocular es normal.

Parece ser que el mecanismo patogénico reside en la renuncia de los niños a un permanente esfuerzo de acomodación que determina un aumento de la convergencia, traduciéndose clínicamente en una diploplía esporádica, es decir, ambos ojos perciben imágenes desenfocadas, lo que origina una inhibición en el córtex cerebral.

- **Ambliopía por anisometría.** Este tipo de ambliopía se produce cuando la diferencia de poder dióptrico entre un ojo y otro es muy importante, lo que origina aniseiconia, es decir, percepción de imágenes de diferente tamaño en cada ojo, suprimiéndose generalmente el desarrollo visual del ojo con mayor defecto de refracción. Puede coexistir con una ambliopía estrábica.
- **Ambliopía estrábica.** Aparece como resultado de la supresión monocular continua del ojo que está desviado, que origina deprivación foveal por supresión con mal funcionamiento del área macular, y dominancia ocular del ojo contralateral. Esta ambliopía es la de mejor pronóstico y con capacidad de reversibilidad.

El especialista debe corregir la ambliopía lo más precozmente posible. Por eso, ante su sospecha es necesario remitir al paciente al médico oftalmólogo estrabólogo, dado su carácter potencial de reversibilidad.

El principio del tratamiento radica en la oclusión del ojo sano, con características peculiares, según el caso en cuestión. Este método de corrección es el más antiguo y eficaz de recuperación. La oclusión se realiza con parches que se adhieren a la piel periorbitaria. Las oclusiones adheridas a las gafas son menos efectivas, puesto que el paciente mira lateralmente y se los puede quitar con mayor facilidad.

Hay varias premisas generales que dominan los criterios de la corrección mediante la oclusión:

1. Cuanto menos sea la edad, más rápidamente mejorará la visión del ojo ambliope, pero por lo contrario habrá más riesgo de ambliopizar el ojo sano por deprivación.
2. Cuanta más agudeza visual tenga el ojo ambliope, menor será el tiempo de oclusión necesario para su recuperación.
3. Oclusión durante 1 semana por cada año de edad y su posterior control. Con el fin de evitar la ambliopía del ojo ocluido, se acostumbra realizar la oclusión inversa un día a la semana, es decir, se ocluye 6 días el ojo dominante y 1 el ambliope.
4. Si tras 6 meses de oclusión no ha habido mejoría, puede doblarse el periodo de oclusión antes del próximo control.
5. Un método complementario a la oclusión son las penalizaciones, sobre todo en ambliopías medias y en las asociaciones de nistagmus, cuya amplitud aumenta con la oclusión. Su fin radica en disminuir la visión del ojo fijador para que el ojo ambliope recupere. Esto se consigue mediante:
 - **La Penalización.** Prescripción de una corrección óptica inadecuada de forma voluntaria, que puede ser para cerca, lejos o ambas, en el ojo dominante o fijador, de unas tres dioptrías más de las necesarias, dejando con la corrección correcta al ojo ambliope. De esta forma el ojo dominante verá borroso, por lo que se empleará el ojo ambliope.
 - **La Atropinación.** La atropinación del ojo dominante provocará visión borrosa y estimulará así al ojo ambliope.

Otro método es el tratamiento con prismas, cuya indicación básica es la ambliopía con fijación excéntrica sin alteración de la motilidad, ya que en este caso lo que se pretende al colocar el prisma es que el ojo realice un movimiento hacia su vértice y se produzca un cambio en la fijación.

Una corrección completamente distinta es el tratamiento con sectores, que produce una reducción parcial del campo visual que queremos. Consiste en una tira adhesiva que se coloca en la cara interna de la gafa, que produce un menor dominio del ojo que fija y estimula la atención del ojo ambliope.

Una vez que se ha comentado algunas premisas tanto de la ambliopía como de sus correcciones más generalizadas, continuaremos con los más significativos tratamientos del estrabismo concomitante.

El tratamiento ideal de un estrabismo concomitante no sólo consiste en corregir la deformidad, sino también en conseguir la restauración de la visión binocular. La ordenación de las vías reflejas que ayudan a realizar esta función es más difícil cuanto más se tarda en instaurar el tratamiento y puede ser casi imposible cuando se ha alcanzado la adolescencia. Por tanto, el tratamiento debe realizarse gracias a un diagnóstico precoz, ya que va encaminado entre otras medidas a impedir el desarrollo de una ambliopía como primer objeto a seguir, o su corrección si ésta ya está establecida.

Determinar y corregir todo error de refracción como primera medida. Para ello la exploración se realiza mediante una cicloplejía completa administrando, ya sea ciclopentolato o atropina. Según el caso en cuestión, se decidirá qué reducción de graduación se efectuará a la refracción ciclopléjica. Debe establecerse como ritual el uso constante de las gafas, es decir, deben ponerse automáticamente al levantarse y quitarse como última operación del día al acostarse.

Después de corregido todo error de refracción, se realizarán ejercicios ortópticos, con la dirección de personal especializado, que persiguen la recuperación de la visión binocular una vez que ya se ha recuperado la agudeza visual en un ojo ambliope.

Una vez restablecida la máxima funcionalidad visual y sensorial del ojo ambliope, puede estar indicado el tratamiento quirúrgico. El principio de la cirugía sobre la musculatura extraocular radica fundamentalmente en corregir la alineación anómala de los ojos y restaurar la binocularidad si es posible. Por tanto, se dosificará en cada caso, según el ángulo de desviación, y se actuará sobre uno o más músculos en función de dicha desviación. Todas las técnicas quirúrgicas se basan en refuerzos, o debilitamientos musculares. La primera aumenta la acción del músculo, se trata de acortar el músculo y reinsertarlo en su lugar inicial, esta técnica es llamada técnica de resección. La segunda disminuye la hiperacción del músculo, se trata de insertar el músculo en un lugar posterior a su inserción primitiva, y se denomina técnica de retroinserción.

Mediante estas técnicas quirúrgicas se consigue el paralelismo de los ojos, con lo que se mejora en gran manera la estética, pero no elimina el defecto de refracción, por lo que se deben seguir llevando las gafas con la corrección adecuada en la mayoría de los casos. Estas técnicas quirúrgicas favorecen posteriormente la cirugía refractiva si ésta se considerara conveniente.

El estrabismo paralítico

El estrabismo paralítico se diferencia del estrabismo concomitante en que, en vez de ser debido a la rigidez o al acortamiento congénito o adquirido de un músculo, se debe a la parálisis, es decir, a la falta de funcionamiento de uno o más músculos extrínsecos del ojo y, por consiguiente, representa con frecuencia un síntoma neurológico. En estos casos, el

grado de desviación del ojo no es constante por la existencia de una parálisis muscular y el ángulo de desviación es mayor en el campo de acción del músculo parético.

En los estrabismos paralíticos hay una causa orgánica bien definida que limita la motilidad ocular. Suelen aparecer en personas adultas con desarrollo sensorial completo y bien arraigado, lo que hace que la diplopía no pueda ser eliminada por neutralización.

Las causas que determinan el estrabismo paralítico son múltiples, pudiéndose afirmar que la mayoría de ellas difícilmente residen en los músculos, ya que casi siempre interesan a los centros nerviosos o a los propios nervios. Se podrían clasificar en congénitas y adquiridas.

Las congénitas son o bien por aplasia muscular o anomalías de inserción, o bien por aplasia de los núcleos de los nervios oculomotores, es decir, atrofia nuclear de Möbius; además, como consecuencia de traumatismos obstétricos y seudoparesias por inervación paradójica.

Las adquiridas pueden darse por enfermedades infeccioso-inflamatorias: meningitis, encefalitis, neuritis, etc.; degenerativas: esclerosis en placas, etc.; vasculares: hemorragias en territorio nuclear correspondiente, subdurales, aneurismas, infartos, etc.; metabólicas: diabetes, hipovitaminosis, etc.; tóxicas: plomo, mercurio etc.; tumores: por compresión directa por la localización o por hipertensión endocraneal; traumatismos con fracturas de la base del cráneo, en la lesión de los nervios oculomotores, de sus núcleos o de las vías de asociación entre ellos en el haz longitudinal posterior.

La sintomatología de las parálisis oculomotoras en general se caracteriza por:

- Limitación de la motilidad en la dirección del músculo paralítico, que se pone de manifiesto claramente en la parálisis total con la simple exploración de la motilidad, y también una restricción del campo visual en la dirección del músculo paralizado, es decir, disminución del campo visual del ojo paralítico.
- Tamaño variable del ángulo de estrabismo en las distintas direcciones de la mirada. El ángulo de estrabismo es máximo cuando los ojos se mueven en la dirección del músculo paralítico y desaparece en la posición de reposo de éste. El ángulo del estrabismo secundario es mayor que el primario.
- Falsa localización de los objetos en el espacio. El impulso de inervación, excesivamente intenso pero inútil, que recibe el músculo paralizado con la intención de colocarse correctamente, determina esta falsa localización de los objetos en el espacio, éstos parecen como desplazados en la dirección del músculo. Hay movimientos aparentes de la vecindad y mareos.
- Imagen doble, es decir, diplopía, que aparece en la dirección en la que debería moverse el músculo paralizado; la distancia de las imágenes dobles es máxima en esta misma dirección. Con los movimientos de la mirada con los que no se utiliza el músculo parético, no se aprecia visión doble.
- Posición forzada compensadora de la cabeza, con el fin de excluir la doble imagen.

Tratamiento del estrabismo paralítico

El tratamiento del estrabismo paralítico debe estar ante todo dirigido a intentar anular la afección fundamental que ha provocado la parálisis ocular, que constituye la base del estrabismo. Esperando la evolución del tratamiento, se intentará corregir la desviación mediante prismas y si no se pudiera, se tratará de evitar la diplopía tapando un ojo. Si no se recupera la parálisis, estaría indicado el tratamiento quirúrgico, intentando compensar la

desviación al reforzar el músculo parético y debilitar el músculo antagonista.

Todo estrabismo paralítico debe ser tratado tanto por el médico neurólogo, ya que las causas que lo provocan pueden ser graves en el Sistema Nervioso Central, como por el médico oftalmólogo, puesto que las causas pueden ser también orbitarias o sistémicas.

El nistagmus

Se trata de movimientos oscilatorios repetidos de los globos oculares, congruentes, conjugados, inconscientes e involuntarios, que se superponen a los movimientos normales de los ojos, cursando de forma rítmica en alguna o en todas las posiciones de la mirada. El nistagmus puede ser estático o dinámico, según se presente con los ojos en reposo o en movimiento.

Entre las características fundamentales del nistagmus se debe distinguir su tipo, amplitud, frecuencia e intensidad.

Con relación al tipo de nistagmus se encuentran principalmente:

El nistagmus pendular: se manifiesta por movimientos de igual velocidad, amplitud y duración en cada dirección.

El nistagmus en sacudidas o en resorte: se caracteriza por un movimiento lento de alejamiento respecto al objeto de mirada, seguido de otro rápido de dirección contraria. Es definido por el sentido de la dirección del movimiento rápido.

El nistagmus irregular: en éste la velocidad no es constante, ni tampoco tiene un patrón rítmico determinado.

Dependiendo del eje sobre el cual se verifica el movimiento ocular, el nistagmus también se distingue por ser horizontal, vertical, diagonal o rotatorio. Este último se diferencia del circular por ser una combinación del vertical y del horizontal. Según su dirección, los nistagmus pueden ser: simples y compuestos, dependiendo de los movimientos si son en un sólo plano o en más de un plano.

Con relación a la amplitud, recordemos que se trata del desplazamiento ocular, expresado en grados de arco. En el nistagmus en sacudidas existe siempre una amplitud mayor de las direcciones de la mirada, siendo aquélla hacia la que se dirige en su fase rápida, mientras que en el pendular, la amplitud es igual en ambas direcciones. Éstos pueden ser: leves, moderados y severos.

La frecuencia se refiere al número de oscilaciones o ciclos por segundo. Según su frecuencia, el nistagmus se clasifica en: lento, mediano y rápido.

La intensidad es igual a la amplitud por la frecuencia.

En cuanto a la sintomatología, ésta puede ser amplia y variada. Se destacan sensaciones vertiginosas y disminución de la agudeza visual debida a la dificultad para la fijación producida por el desplazamiento ocular constante. La disminución de la agudeza visual es mayor cuanto más es la intensidad del nistagmus, es decir, cuanto mayores sean su amplitud y su frecuencia. En algunos tipos de nistagmus la persona que lo sufre refiere movimientos ilusorios de los objetos, es decir, oscilopsia.

Para comprobar si hay nistagmus, los ojos se examinan primero en posición central y después en movimiento, hacia arriba, hacia abajo y hacia los lados. Si se trata de un nistagmus latente o monocular, se estudian por separados ambos ojos, tapando siempre el ojo no examinado. El nistagmus laberíntico se pone en evidencia, de la mejor manera, cuando se impide la fijación visual al tapar los dos ojos al mismo tiempo. El nistagmus de origen cerebeloso y el originado por lesiones del tallo cerebral se manifiestan haciendo que la persona examinada se fije en un dedo mostrado por el médico explorador.

La persona que sufre esta anomalía presenta actitudes compensadoras en la cabeza. En el nistagmus en sacudidas generalmente desvía la cabeza hacia el movimiento rápido y en el pendular trata de colocarla de tal manera que los ojos se encuentran en una posición que disminuye los movimientos nistagmoides.

El tono oculomotor, como sabemos, está regulado por estímulos laberínticos, propioceptivos, visuales, cerebelosos, sistema extrapiramidal y la sustancia reticular. El desequilibrio de estos factores provoca la aparición de nistagmus. Por tanto, el nistagmus puede ser un trastorno congénito o adquirido y siempre constituye la expresión de enfermedades oculares, del oído interno o del sistema nervioso central.

El nistagmus congénito comprende todas las formas presentes al nacer o descubiertas en la primera infancia y, concretamente, en el periodo de desarrollo de la fijación visual. Generalmente, persisten toda la vida y pueden asociarse, en ocasiones, a un defecto visual primario.

Se trata, en la mayoría de los casos, de un nistagmus binocular, de amplitud semejante en ambos ojos, que se amortigua con la convergencia y el descanso ocular y aumenta con los intentos de fijación. No presenta oscilopsia y frecuentemente se le asocian posiciones compensadoras de la cabeza, en la cual los ojos se sitúan en una posición en la que la intensidad del nistagmus es mínima y la agudeza visual es máxima.

Como formas particulares, se pueden señalar el nistagmus por defecto sensorial y el nistagmus congénito latente. En el primero la lesión orgánica se encuentra en cualquier parte del nervio óptico o del ojo y su etiología está en opacidades corneales, cataratas congénitas, lesión macular por toxoplasmosis, desarrollo incompleto o defectuoso de la mácula, es decir, hipoplasia macular, o también por hipoplasia del nervio óptico. En el segundo no existe visión binocular, sin embargo, al tapar uno de los ojos se produce nistagmus en ambos. Se trata de un nistagmus en sacudidas y puede presentarse en personas afectas de ambliopatía o estrabismo que, aunque ven con los dos ojos, sólo fijan con uno de ellos.

En el nistagmus adquirido en los niños destacan, fundamentalmente, las siguientes causas: en la temprana infancia como consecuencia de una pérdida bilateral progresiva de la visión de cualquier origen; secundarios a enfermedades del sistema nervioso central; espasmo mutans o espasmo salutatorio. Éste consiste en una combinación de nistagmus pendular, movimientos de cabeceo y tortícolis, que comienza, por lo general, entre los cuatro y los ocho meses de edad, y suele desaparecer antes de los tres años. El nistagmus vertical puede encontrarse en niños que toman medicación anticonvulsivante.

Entre los nistagmus adquiridos en el adulto, dependiendo del tipo de movimiento ocular, se distinguen el nistagmus en sacudidas y el nistagmus pendular. El primero se considera de tipo vestibular, secundario a una alteración del órgano vestibular periférico, del nervio o de los núcleos vestibulares del tronco encefálico. Habitualmente es horizontal u horizontal-rotatorio, y puede acompañarse de vértigo, tintineo o sordera. Las alteraciones específicas que lo pueden provocar son: enfermedad de Ménière, laberintitis, traumatismo del laberinto, lesiones vasculares, inflamatorias o neoplasias del nervio vestibular, lesiones del tronco encefálico, como encefalitis, esclerosis en placas, poliomiелitis y tumores y abcesos cerebelosos.

En el nistagmus por paresia de mirada no se presenta nistagmus en posición primaria de mirada, sin embargo, se desarrolla en sacudidas en uno de los restantes campos de la mirada. La causa más frecuente de este nistagmus por paresia son los fármacos sedantes o anticonvulsivantes, como la difenilhidantoínas y los barbitúricos.

El segundo, es decir, el nistagmus pendular adquirido del adulto puede reflejar una disfunción en el tronco encefálico, en el cerebelo o en ambos, provocado, generalmente, por enfermedades desmielinizantes o vasculares que afectan a estas estructuras. El movimiento

ocular es multivectorial, es decir, horizontal, vertical, diagonal, elíptico o circular, y puede acompañarse de temblor de cabeza.

Una forma especial es el denominado nistagmus de los mineros, que al parecer está provocado por el intenso y continuo esfuerzo de acomodación que efectúan los ojos durante muchos años con luz insuficiente. Es poco frecuente y se acompaña de visión defectuosa, cefalea y vértigos, siendo un nistagmus esencialmente muy rápido.

Además, del nistagmus congénito y del adquirido, puede provocarse un nistagmus artificialmente por estimulación térmica de los canales semicirculares del oído, mediante irrigación de agua fría o caliente en el conducto auditivo externo. Si se irriga agua fría se provoca un nistagmus en sacudidas con el movimiento lento hacia el lado de la irrigación, mientras que si se irriga agua caliente, se produce un nistagmus con movimiento lento hacia el lado contrario al lado irrigado.

Los tratamientos ópticos, pleópticos, ortópticos y quirúrgicos son los que hoy por hoy se realizan en los nistagmus, aunque en la mayoría de ellos con resultados poco favorables, sin embargo, pueden paliar algunas de las molestias.

Métodos de examen de los estrabismos

La exploración y diagnóstico de un estrabismo comienza con una anamnesis dirigida a recoger los antecedentes familiares, historia visual de la persona, tiempo de comienzo del proceso y evolución. Continuando con una concienzuda exploración oftalmológica completa que incluya, al menos, la agudeza visual, refracción, polo anterior y fondo de ojo.

Los medios de que se dispone para el estudio y exploración de un estrabismo son numerosos y, en cierto modo, sofisticados para los no muy versados en el tema. No obstante, y dado que la intención es la descripción de métodos asequibles al no versado en la estrabología, se va a tratar esta parte, describiendo algunas de las exploraciones que se realizan con los medios habituales que emplea el oftalmólogo en la práctica diaria, independientemente de ciertas excepciones como el examen con el amblioscopio, aparato práctico y necesario para quien se interese en la visión binocular.

El examen con este instrumento facilita múltiples datos de interés que, en su conjunto, facilitan el diagnóstico y el tratamiento de las alteraciones de la visión binocular. El amblioscopio, aunque frecuentemente es necesario, no resulta, sin embargo, suficiente por sí solo.

Test de Hirschberg

Es un test objetivo aproximativo para calcular el ángulo de un estrabismo manifiesto en las personas no cooperadoras o en las que presentan una fijación pobre.

Se hace brillar un punto luminoso mediante el oftalmoscopio u otra fuente de luz cualquiera a una distancia de 33 cm, frente a ambos ojos de la persona examinada, dicha luz se refleja en ambas córneas. Por la situación simétrica o no del reflejo en ambas pupilas se puede valorar de forma aproximada si existe desviación ocular, así como su carácter convergente, si el reflejo se desplaza al lado temporal, o divergente, si el reflejo tiene un desplazamiento en el lado nasal.

Si el reflejo se sitúa en el borde de la pupila del ojo estrábico, el ángulo es aproximadamente de 15°, si se localiza entre el borde pupilar y el limbo, medirá unos 28° y si incide sobre limbo, el ángulo del estrabismo medirá alrededor de 45°. En la práctica, se admite que 1 mm de descentramiento corresponda a 7° de desviación ocular.

La desviación valorada se expresa en grados de arco, atribuyendo el signo (+) a los

estrabismos convergentes y (-) a los divergentes. También puede expresarse en dioptrías prismáticas, cuya fórmula de equivalencia aproximada es: $4^\circ \approx 7$ dioptrías.

Este test no es demasiado exacto porque el eje visual, que es el que se utiliza en la prueba, no coincide con el eje central pupilar, sino que entre ellos forman un ángulo denominado *kappa*, estando generalmente el eje visual y, por tanto, el reflejo que sirve de referencia, un poco desplazado hacia el lado nasal, sin embargo, puede resultar útil.

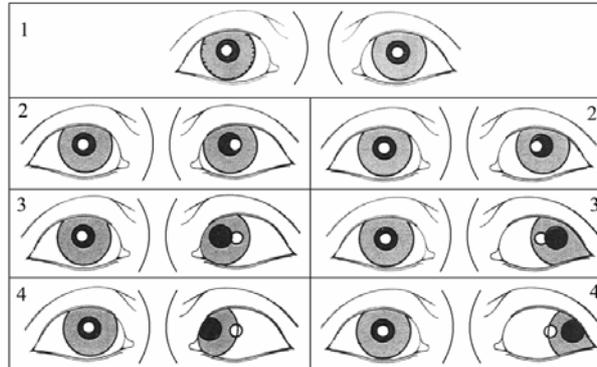


Fig. 5. Determinación de los grados de desviación estrábica mediante el Test de Hirschberg.
1) Normal 0° . 2) Desviación de 15° . 3) Desviación de 28° . 4) Desviación de 45° .

Test de Krimsky

La exploración con este procedimiento es muy rápida y por lo general se utiliza en caso de una ambliopía profunda, que impide una buena fijación del ojo ambliope.

Como en el método precedente, se hace fijar la luz de exploración, apreciándose que el reflejo corneal estará descentrado, hacia fuera en el estrabismo convergente y hacia dentro en el divergente. A continuación se van colocando prismas de potencia creciente sobre el ojo desviado hasta que se consiga centrar el reflejo en la córnea, aunque el ojo seguirá desviado. La base de los prismas deberá estar situada en el lado contrario de la desviación, es decir, externa en la convergencia e interna en la divergencia. Las reglas de prismas de Berens son muy prácticas a estos efectos.

La potencia del prisma que centra el reflejo es la medida directa del ángulo del estrabismo, que generalmente suele medirse en dioptrías prismáticas.

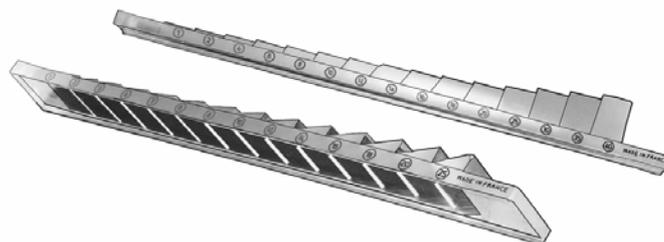


Fig. 6. Reglas de prismas de Berens.

Pruebas de oclusión o Cover test

Estas pruebas se basan en la capacidad de la persona examinada para fijar con cada ojo y requieren una determinada atención y cooperación. Estas pruebas de examen son de las más simples y útiles. Sin ningún instrumento particular, permiten realizar un diagnóstico cualitativo completo de un desequilibrio óculo-motor, heteroforia, heterotropía o parálisis

oculares, incluso las más complejas.

La persona examinada, en posición primaria de la mirada (P.P.M.), mira un punto luminoso, pudiendo ser éste cualquiera, a condición de no ser demasiado deslumbrante, por lo general el proporcionado por el oftalmoscopio. En esta situación se ocluye un ojo durante dos o tres segundos con el dorso de la mano o una cartulina, si bien lo habitual es utilizar el dedo pulgar con la mano apoyada sobre la frente.

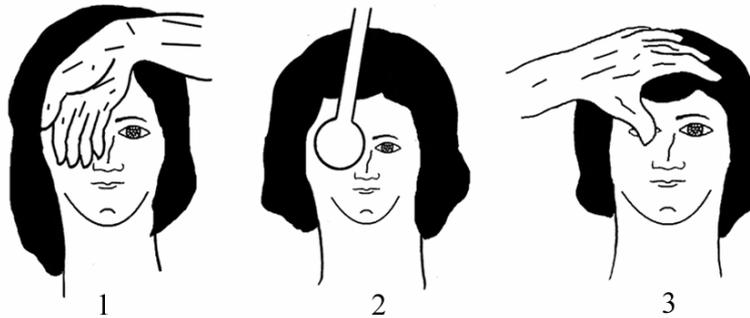


Fig. 7. Test de la oclusión o Cover test. Se puede realizar de diversas maneras. 1) *Oclusión del ojo con el dorso de la mano.* 2) *Oclusión del ojo con una cartulina.* 3) *Oclusión del ojo con el dedo pulgar apoyando la mano sobre la frente.*

Prueba de oclusión-descubrimiento. Si el ojo izquierdo muestra un desplazamiento del reflejo luminoso corneal, el médico explorador tapa el ojo derecho opuesto y observa cualquier posible movimiento del ojo izquierdo. Si el ojo izquierdo fija en dirección nasal, el diagnóstico es de exotropía, si se mueve en dirección temporal, es de esotropía y si se mueve hacia arriba, es hipotropía. Si no se produce ningún movimiento del ojo, no existe desviación manifiesta del ojo izquierdo y se repite la prueba con el otro ojo con el mismo razonamiento.

Por tanto, una persona con heterotropía presenta una desviación manifiesta antes, durante y después de practicar esta prueba. Si después de realizar la prueba el ojo opuesto sigue desviado, existe una heterotropía alternante.

Prueba de oclusión alterna. Si no se demuestra ninguna desviación en la prueba oclusión-descubrimiento, debe hacerse esta prueba de oclusión alterna para detectar la presencia de una desviación latente, es decir, una heteroforia. Para realizar este test se ocluye un ojo durante dos o tres segundos y la oclusión se pasa rápidamente al ojo contralateral. En este momento el médico explorador debe observar cualquier movimiento del ojo no ocluido mientras éste se fija. Si no aparece ningún movimiento, la persona examinada no es estrábica. Un movimiento nasal implica la existencia de exoforia, un movimiento temporal indica esoforia y un movimiento hacia abajo hiperforia.

Por tanto, una persona con heteroforia conserva los ojos en posición alineada antes y también después de haberse realizado la prueba de oclusión alterna. Sin embargo, durante la prueba va a inducirse desviación debido a la interrupción de los mecanismos de fusión.

Prueba de la varilla de Maddox

Este procedimiento está basado en la disociación de las imágenes de ambos ojos para eliminar el estímulo de la visión binocular, es decir, en la apreciación de la persona examinada de diploplía inducida por dos imágenes diferentes.

La varilla de Maddox está formada por varios cilindros de cristal rojo oscuro muy convergentes, pegados unos a los otros. Existen varios modelos de varilla, por lo general se coloca en una montura o gafa de pruebas, pudiéndose sujetar también con la mano. Otros modelos mayores disponen de un mango para su mejor sostén. No tiene importancia el colocar las varillas delante de uno u otro ojo, pudiéndose elegir por rutina siempre el mismo

ojo. Clásicamente se pone la varilla delante del ojo derecho. Cuando se mira un punto de luz a través de la varilla de Maddox, éste se convierte en una imagen con forma de línea, raya o hendidura de color rojo oscuro. Es evidente que esta línea roja parecerá totalmente diferente a un punto blanco de luz y, por tanto, cuando se ven simultáneamente con ambos ojos no hay estímulo para la fusión.



Fig. 8. Dos modelos de varilla de Maddox.

Dicho de otra forma, hay que recordar que la tendencia a la visión binocular impide en condiciones normales que los ojos se desvíen de la posición de paralelismo en caso de heteroforia. Al colocar la varilla de Maddox delante del ojo y fijar una luz blanca alteramos artificialmente la forma de la imagen de un ojo, con lo que se imposibilita la fusión con la otra imagen no modificada. El esfuerzo de fusión se anula y, de esta manera, se manifiesta la desviación de la heteroforia. La imagen alterada del ojo que se desvía no se suprime y produce una diplopía de origen artificial, que sirve para determinar la dirección y el grado de desviación.

Las propiedades ópticas de las varillas de Maddox hacen que la raya se coloque a un ángulo de 90° con respecto al eje mayor de las varillas, es decir, cuando las varillas se sostienen en sentido horizontal, el punto de luz aparecerá como una línea roja en sentido vertical y viceversa.

La exploración se realizará por lo general en cámara oscura, ya que la línea es más visible, aunque algunos autores estiman que es más fisiológico practicar el examen en una sala normalmente iluminada, pero entonces la persona a examinar puede tener dificultades en ver la línea, más o menos perdida en medio de líneas parásitas dadas por otros puntos luminosos.

La persona se coloca a 5 metros de un punto luminoso, siendo cómodo pero no necesario tomar el punto central de la cruz de Maddox. Ésta es una cruz cuyos brazos horizontales generalmente son más largos que los verticales, pudiendo ser también de la misma longitud. Sobre estos brazos están representados dos series de cifras, una de tamaño mayor que la otra. Los números grandes corresponden a grados angulares a una distancia de prueba de 5 metros y los pequeños a 1 metro. En el centro de la cruz está situada la lamparilla luminosa que se emplea para la fijación.

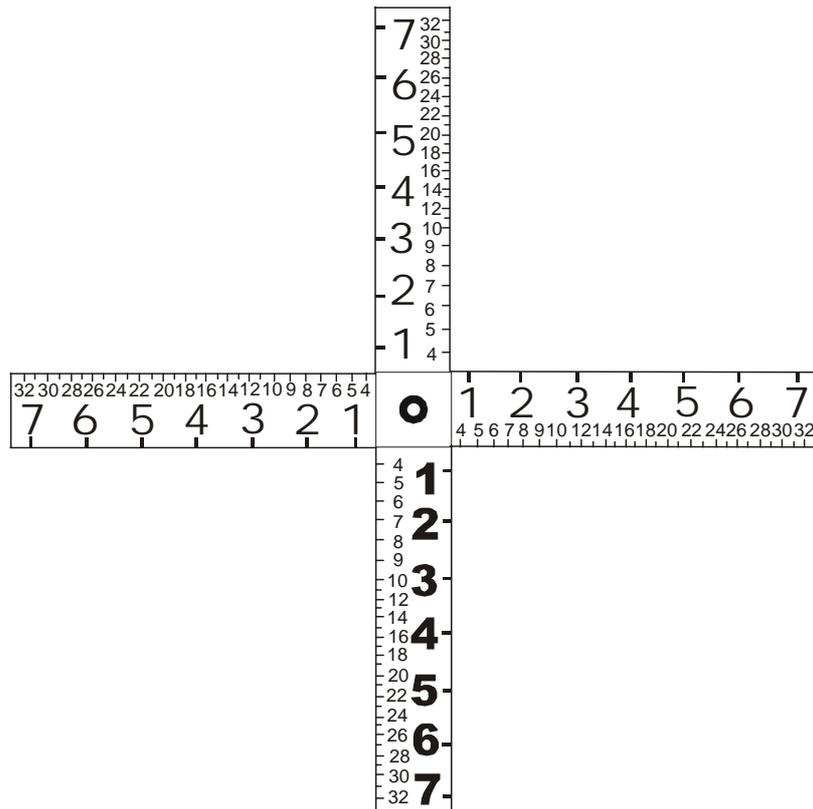


Fig. 9. Cruz de Maddox con lamparita de fijación en el centro de la cruz.

Una vez sentada confortablemente la persona a examinar y con la cabeza recta, se coloca la varilla de Maddox con los cilindros en dirección horizontal delante del ojo derecho, pidiéndole que mire la luz del punto luminoso. La línea roja será entonces vertical. El ojo izquierdo fija el punto luminoso y el examinado debe decir dónde está la línea luminosa roja con relación al punto blanco fijado. Si la línea es detectada a la derecha, indica una endoforia o esoforia, la línea a la izquierda, una exoforia y si la línea pasa por el punto luminoso, hay ortoforia.

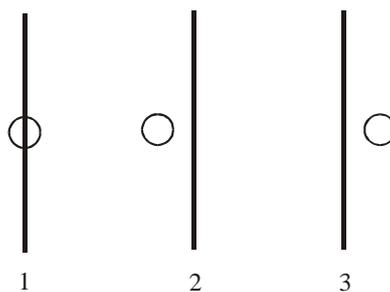


Fig. 10. Examen de una heteroforia con la varilla de Maddox. 1) *Ortoforia*. 2) *Esoforia o endoforia*. 3) *Exoforia*.

Es preciso entonces valorar la cantidad de desviación, esto es, posible mediante dos métodos:

1. La lectura directa sobre la cruz de Maddox. El ángulo de desviación será de una dioptría si la separación es de 5 cm y la persona ha sido explorada a 5 m, o de 1 cm si la distancia de exploración es de 1 m.
2. La valoración por prismas. Este método es más exacto, ya que si el ángulo es importante, la lectura directa puede ser dificultosa. Los prismas serán colocados

de arista externa si hay exoforia y de arista interna en caso de una esoforia.

Una vez que se ha efectuado esta valoración horizontal, se pasa al desequilibrio vertical, colocando la varilla de Maddox con los cilindros en dirección vertical delante del ojo derecho. La línea roja se vuelve horizontal y si aparece por debajo del punto luminoso, hay hiperforia derecha, si se muestra por encima, hay hiperforia izquierda y si pasa por el punto luminoso, hay ortoforia vertical.

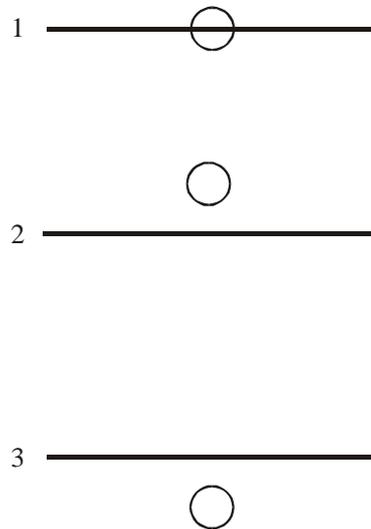


Fig. 11. Examen de una hiperforia con la varilla de Maddox. 1) *Ortoforia vertical.* 2) *Hiperforia derecha.* 3) *Hiperforia izquierda.*

La desviación se mide de nuevo con la cruz de Maddox o mediante los prismas delante del ojo izquierdo, la arista inferior para la hiperforia derecha y la superior para la hiperforia izquierda.

Si existe cicloforia, cuando la varilla de Maddox está vertical, la línea roja en vez de verse horizontalmente lo hace en sentido oblicuo. El número de grados en que ha de inclinarse la varilla para lograr que la línea de luz roja aparezca horizontal, informa acerca de la cantidad de torsión.

Prueba del ala de Maddox

El ala de Maddox se emplea habitualmente para la exploración de la heteroforia en la visión cercana, es decir, 33 cm. Es un instrumento muy sencillo que disocia los dos ojos en dicha visión. La exploración se realiza inclinando el instrumento hacia abajo para estar exactamente en la posición de mirada de la lectura.

El aparato se compone de un rectángulo negro dividido en cuadrantes por medio de una cruz, cuyo brazo horizontal está representado por una serie de números grafiados en color blanco. El brazo vertical lo forma otra serie de números, pero de color rojo. En el cuadrante inferior derecho del rectángulo están dispuestas dos flechas, una vertical blanca y otra horizontal de color rojo y cada una de estas flechas señala el número 0 de las graduaciones de su propio color. El extremo derecho de la flecha roja, es decir, de la horizontal es móvil y, gracias a la movilidad de éste, es posible determinar la magnitud de la cicloforia, cuya forma de realizar comentaremos más adelante.

La base del rectángulo negro descrito queda asentada sobre una plataforma que, prolongándose oblicuamente, termina en un visor binocular graduable para su mejor acoplamiento a los ojos de la persona a examinar. La plataforma está dividida por dos pantallas de color negro, una situada en dirección sagital y otra oblicua, emplazadas de tal forma que, cuando miramos por el visor binocular, el ojo derecho solamente ve el cuadrante inferior derecho del rectángulo y el ojo izquierdo, todo el resto del rectángulo. Es decir, el

ojo derecho sólo puede ver la flecha vertical blanca y la flecha horizontal roja, mientras el ojo izquierdo solamente ve una fila de números vertical y otra horizontal.

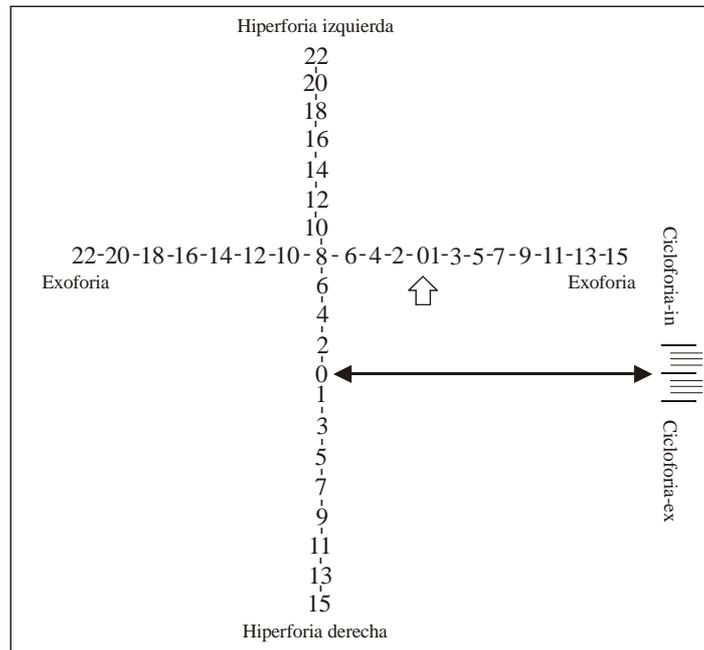


Fig. 12. Representación esquemática de la pantalla del ala de Maddox.

La persona a examinar toma un mango de sujeción situado en la base de la plataforma y coloca los ojos enfrente del visor binocular, de forma que se encuentren bien situados, de lo contrario un ojo puede ver todo el rectángulo, es decir, los números que forman la cruz y también las flechas.

Al proceder a la exploración, se pide que se indique la posición respectiva de las flechas y los ceros de las graduaciones correspondientes. La desviación horizontal se mide requiriendo al examinado que diga qué número está señalando la flecha blanca. Si la flecha está situada a la derecha, denota una esoforia, a la izquierda una exoforia. La desviación vertical se mide preguntando qué número apunta la flecha de color rojo. Si la flecha apunta un número rojo situado por debajo del cero, indica que existe una hiperforia derecha, si lo hace más arriba del cero, una hiperforia izquierda. El número que muestra la flecha representa el valor de la heteroforia.

Importante particularidad del instrumento son unas ranuras situadas en los visores binoculares, que permiten la introducción de lentes de prueba que corrijan cualquier defecto de refracción, si ha lugar, o para combatir la heteroforia misma, mediante prismas.

Como se indicó con anterioridad, el extremo derecho de la flecha de color rojo es móvil. La magnitud de la ciclopedia se determina pidiendo a la persona examinada que mueva la flecha hasta que la vea horizontal o paralela con la línea de los números de color blanco, ésta vista por el ojo izquierdo, la flecha de color rojo por el ojo derecho. Cuando está conseguido el paralelismo, se lee el grado de ciclopedia en una escala graduada dispuesta a tal fin en el cuadrante inferior derecho del rectángulo. Si la extremidad de la flecha ha bajado, es una inciclopedia; si se ha elevado, es una exciclopedia.

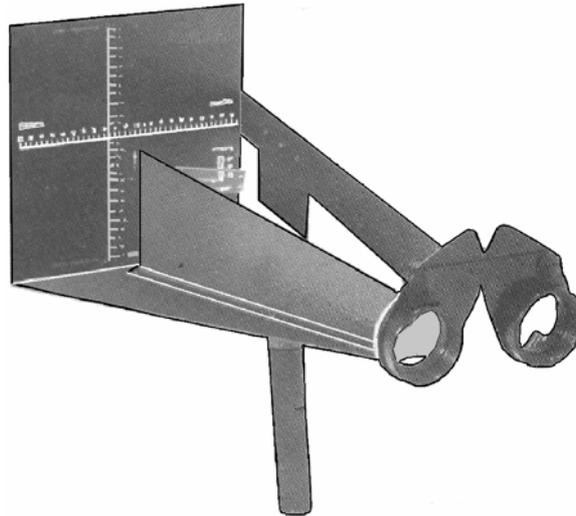


Fig. 13. Ala de Maddox.

El estereoscopio

Este instrumento fue introducido en el campo de la oftalmología a finales de los años treinta, y es empleado para estudiar con rapidez la visión binocular en personas que no presenten una desviación excesiva.

El estereoscopio, en su forma más simple, está formado por dos planos en ángulo recto en los que se colocan fotografías o dibujos con imágenes planas disímiles, es decir, fotografías o dibujos con imágenes del mismo objeto, pero que están tomadas desde ángulos ligeramente diferentes. Incorporados al instrumento hay dos visores u objetivos oculares con los que se observan las imágenes, estando separados e inclinados con el fin de que al mirar éstas simultáneamente con cada uno de los ojos y por distinto ocular, las imágenes se combinen o fundan en una sola viéndose, de esta manera, con relieves y perspectiva tridimensional o estereoscópica.

Con el transcurso del tiempo se han desarrollado diversos aparatos fundamentados en los principios básicos del estereoscopio, como el sinotiscopio, el diploscopio, etc. En la actualidad el más común es el amblioscopio o sinoptóforo, que no es más que un estereoscopio perfeccionado que, mediante la exploración, coloca a la persona examinada en condiciones de visión lejana.

El amblioscopio o Sinoptóforo

El sinoptóforo permite completar la exploración de la persona estrábica. Se utiliza preferentemente, aunque no únicamente, para el estudio de la visión binocular, que a su vez, como se ha visto, puede estudiarse por otros medios. Se puede evaluar muy fácilmente los tres grados de percepción binocular, es decir, la percepción macular simultánea, la fusión de las imágenes y la visión estereoscópica, grados estos ya comentados con anterioridad. Por otra parte, se puede realizar el estudio del estado de la correspondencia retiniana, escotomas de supresión y un largo etc. También se utiliza con fines terapéuticos.

Este aparato está constituido principalmente por dos tubos cilíndricos o brazos ajustables, es decir, la posición angular de los tubos o brazos puede variarse, así como la distancia entre ellos. Cada uno de estos brazos se encuentra acodado en ángulo recto y dispone de un visor u ocular y uno de los extremos, así como un sistema de iluminación y un soporte para colocar los tests, miras o láminas constituidas por dibujos de las imágenes que se presentan a cada ojo en las exploraciones que se llevan a cabo. Los brazos ajustables se sostienen mediante unas columnas que permiten el movimiento relativo de las imágenes que se exponen a la vista, e indican, a la vez, mediante una escala graduada situada en

dichas columnas, los ajustes que se realizan.

En el ángulo de cada tubo o brazo se encuentra un espejo colocado a 45°, en el que se refleja la imagen del test o mira, y una lente convexa de +7 dioptrías, a través de la cual el ojo mira la imagen. La distancia entre la lente convexa y la imagen es de 14,5 cm, estando calculada de tal forma que la imagen se sitúa en el punto central de la lente, y, por tanto, en el infinito. El espejo invierte la imagen que se le presenta a la persona examinada como si fuese observada estando el ojo en la extremidad lateral del tubo. Esta acción debe ser conocida para interpretar el sentido de la cicloforia:

- Las imágenes vistas basculadas hacia el oftalmólogo u ortoptista denotan una exicloforia.
- Las imágenes vistas basculadas hacia la persona examinada indican una incicloforia.

Las imágenes pueden ser iluminadas simultáneamente o por separado, mediante la pulsación de dos pequeños interruptores con forma de botón situados en el cuerpo del aparato, concretamente en la parte de delante. Hecho muy frecuente y familiar que suele realizar el ortoptista en terapias de reeducación y corrección.

Los brazos del sinoptóforo dirigen el movimiento de las imágenes en el sentido horizontal, y se pueden mover ya independientemente, ya unidas la una a la otra, lo que permite bloquearlas a un ángulo determinado, haciéndolas converger o divergir según un movimiento regular y lento que se imprime por medio de un cilindro rotatorio. Por otra parte, el cuerpo del aparato puede vascular en su conjunto y, con ello, permitir la exploración en las miradas hacia arriba y hacia abajo.

Cuerpo del sinoptóforo

En los sinoptóforos más modernos está dispuesta una serie de mandos y controles tanto mecánicos como eléctricos para facilitar la exploración. Entre los controles mecánicos destacan: el regulador de la distancia interpupilar; un juego de palancas para regular las desviaciones horizontal, vertical, así como la de torsión; el sistema regulador de la elevación y del descenso de los brazos; el regulador de las vergencias horizontales. Todos estos reguladores tienen su escala graduada para la medición. Además, se distinguen una mentonera regulable con un apoyafrente; la pantalla protectora de la respiración de la persona examinada; el sistema de extracción, de las láminas con las imágenes, que se colocan en las ranuras del soporte para su fijación mediante el accionamiento de una pequeña palanca, así como las manecillas que permiten el bloqueo horizontal y central de los brazos.

Entre los componentes de control eléctricos se encuentran: el pequeño motor que acciona los movimientos de los brazos del sinoptóforo, el mando rotativo con el que se invierte el sentido de rotación de los mismos, así como otro mando rotativo que regula su velocidad; el sistema de iluminación de las imágenes, dando mayor o menor intensidad lumínica mediante un reóstato y la fuente luminosa, que produce un breve e intenso destello a modo de flas, accionada mediante un pulsador.

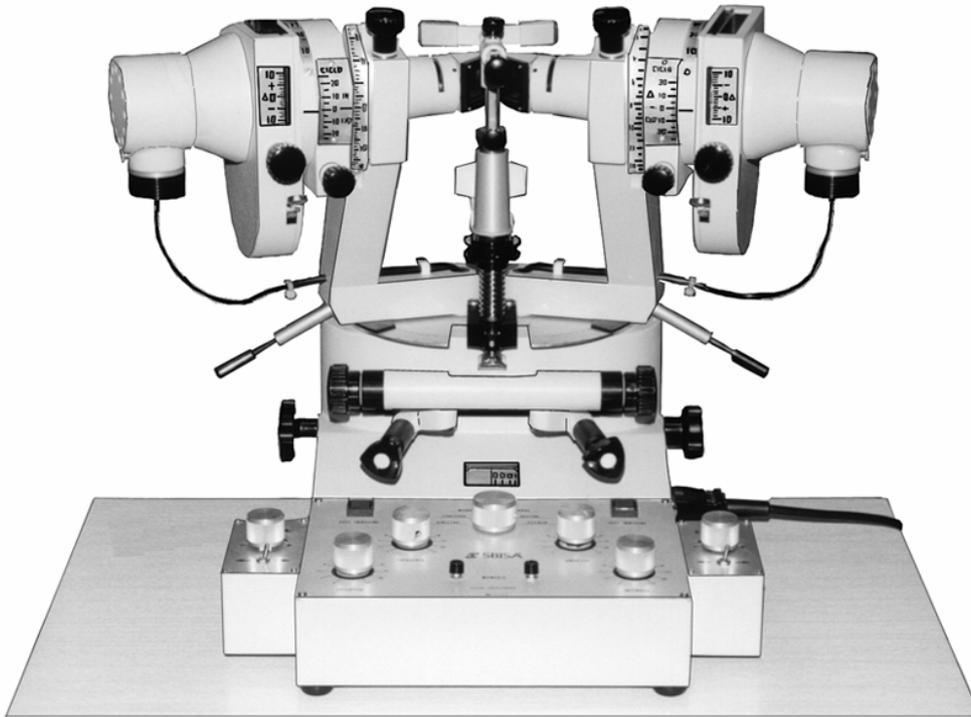


Fig. 14. Amblioscopio o sinoptóforo.

Las láminas o tests que se emplean en el sinoptóforo son de tres tipos. Cada tipo consta de una serie compuesta de dos unidades y cada unidad de cada una de las series se representa con una imagen distinta. Cada unidad de las láminas de las series que correspondan en la exploración que proceda efectuar, se introduce en cada una de las ranuras del soporte para su fijación, dispuestas en los brazos del aparato, y de esta forma, se presenta a cada uno de los ojos independientemente. Con cada uno de los tres tipos de test se estudia los diferentes grados de la visión binocular.

Con el primer tipo de láminas o test se estudia la percepción simultánea, es decir, el I Grado de visión binocular. Consta de tres series con tres imágenes de diferentes dimensiones y tamaños decrecientes.

- Las láminas con las imágenes de mayores dimensiones corresponden a un ángulo de visión de 10° y cubren el área paramacular.
- Las láminas con las imágenes de tamaño medio corresponden a un ángulo de visión de 3° a 5° para el área macular.
- Las láminas con las imágenes de tamaño menor corresponden a un ángulo de visión de 1° y corresponden al área foveolar.

Todas las imágenes son de las mismas características, un objeto se hace entrar en el interior de otro al ser observado con cada uno de los ojos simultáneamente. Ejemplos:

- Un pez visto sólo por un ojo y una pecera vista solamente por el otro ojo. Al ser vistas ambas imágenes simultáneamente por ambos ojos, se percibirá que el pez está dentro de la pecera.
- Una figura presenta un círculo y otra un cuadrado. El cuadrado será percibido

dentro del círculo.

- Un león y una jaula. El león se percibe dentro de la jaula.

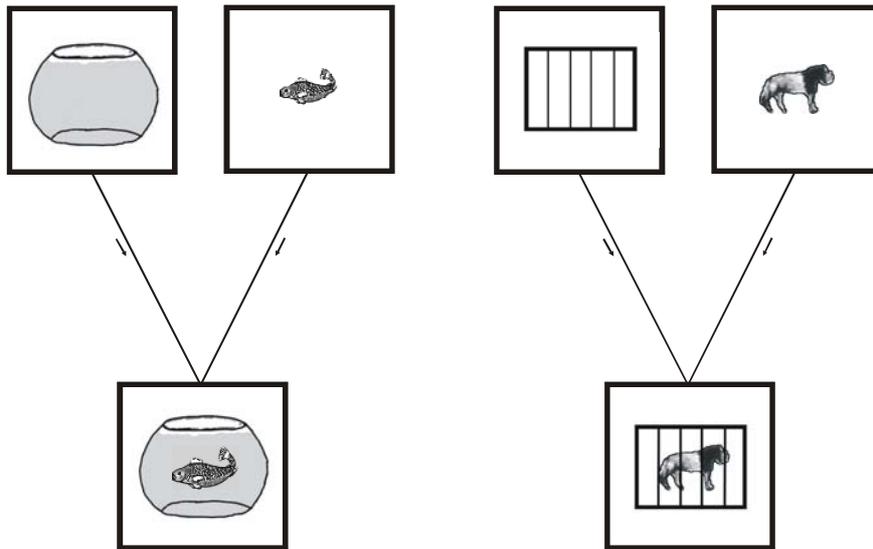


Fig. 15. Láminas con figuras amblioscópicas para el estudio del I Grado de visión binocular o la percepción simultánea.

Con el segundo tipo de láminas se estudia la fusión, es decir, el II Grado de visión binocular. Consta de series con una pareja de imágenes semejantes cada una de las series, es decir, que cada una de las imágenes de las parejas tienen una diferenciación. Estas diferenciaciones de las imágenes son los controles laterales o centrales vistos por un solo ojo. Si las dos imágenes son vistas en fusión, la parte idéntica de las imágenes es fusionada.

La presencia de los controles permite asegurar que los dos ojos funcionan y que no hay neutralización de una imagen. Ejemplos:

- Una imagen de un niño que tiene un martillo sin clavo, vista por un solo ojo, mientras el otro ojo ve otra imagen del niño con un clavo sin martillo. Estas dos imágenes cuando son vistas por los dos ojos a la vez, se fusionarán percibiendo la imagen del niño teniendo un martillo y un clavo.
- Un niño en el extremo de un columpio y una niña en el otro extremo. Se percibirá en cada extremo del columpio al niño y a la niña.
- Dos casas idénticas, una con un árbol a la derecha de la puerta y la otra con el árbol a la izquierda. Se percibirá una casa con dos árboles y la puerta al centro.

Las dimensiones o tamaños de las imágenes corresponden a las de las imágenes para la exploración simultánea.

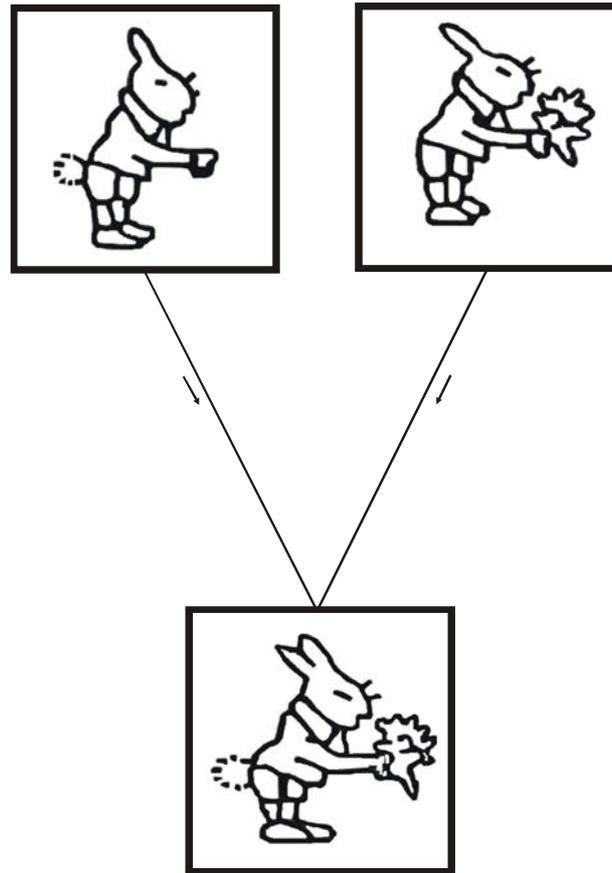


Fig. 16. Lámina amblioscópica para el estudio del II Grado de visión binocular o la capacidad de fusión.

Con el tercer tipo de láminas se estudia la estereopsis, es decir, el III Grado de visión binocular. Consta de series de pares de láminas, como las empleadas para la fusión, pero ligeramente descentradas, recayendo de esta forma sobre dos puntos retinianos distintos, cuando son vistas simultáneamente.

La fusión, a pesar de esta disparidad, es posible y, a causa de ella, se percibe la imagen estereoscópica.

Una de las series más clásicas es la de los círculos discretamente descentrados, que, fusionados, dan la impresión de percibir un reflector. Otra, también clásica, es la de los balones rayados con gruesas líneas verticales de forma ligeramente distinta.

Si las imágenes de estas series descritas son presentadas a una persona que sufra un II Grado de visión binocular, pero no estereoscópica verdadera, suprimirá una de las imágenes o podrá observar las dos mezcladas de forma ininteligible. Sin embargo, si existe visión estereoscópica verdadera, las figuras se combinarán en una, proporcionando un efecto estereoscópico muy marcado.

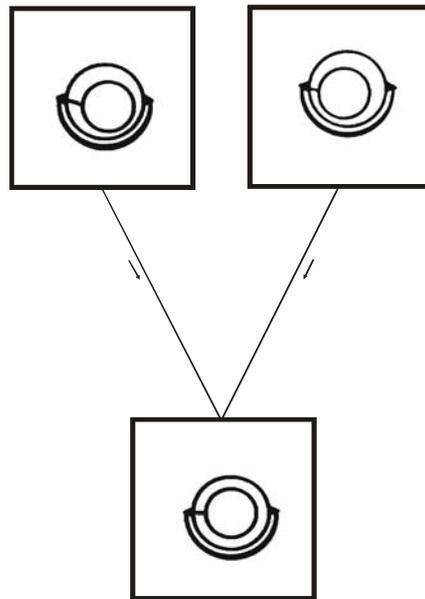


Fig. 17. Lámina amblioscópica para el estudio del III Grado de visión binocular o la visión estereoscópica.

Exploración con el sinoptóforo

Con el sinoptóforo la correspondencia retiniana anormal (CRA) se puede evaluar con gran precisión y facilidad. Cuando en estado de ortoforia los brazos ajustables de este instrumento coinciden con la posición recta de los ojos, el ángulo de estrabismo objetivo es 0° . Si en esta posición la persona examinada puede fusionar las imágenes que se le presentan en cada uno de sus ojos por separado, al observarlas simultáneamente con ellos, el ángulo subjetivo también es 0° y la correspondencia retiniana, por tanto, es normal. Si los ángulos objetivo y subjetivo son distintos, existe una CRA. En esta situación, la diferencia en grados entre el ángulo subjetivo y objetivo es el ángulo de anomalía.

Examen de la percepción simultánea

Se toman imágenes de tamaño medio, pues para el área macular no deben ser demasiado pequeñas para no estimular excesivamente la acomodación, ni demasiado grandes para que no pongan en evidencia la neutralización.

Los brazos del sinoptóforo no deben estar bloqueados. Empujando o tirando de ellos, la persona examinada prueba a colocar una imagen dentro de la otra, por ejemplo, el león dentro de la jaula, corrigiendo la separación horizontal.

Una vez el león se percibe dentro de la jaula, se bloquean los brazos del sinoptóforo inmediatamente, estando uno de ellos colocado a 0° , el ángulo indicado por el otro brazo corresponde al ángulo subjetivo.

Se comprueba que el ángulo subjetivo indicado por la persona examinada, al percibir el león dentro de la jaula, corresponda al ángulo subjetivo, es decir, se comprueba que el león y la jaula están en realidad enfrente de los ejes visuales, cuando la persona examinada tiene la impresión de que los tiene en esa posición.

El médico explorador procede de la siguiente manera:

Insiste sobre el hecho de que se fije bien en el león, después apaga esta imagen y observa que el ojo que está mirando la jaula no realiza ningún movimiento. La jaula está enfrente de él. Anota su resultado, por ejemplo:

Ángulo objetivo: $+ 1^\circ$ D/I = 1 D.

C.R.N.

Comentemos esta fórmula:

1. Se ha elegido para los ejemplos la anotación inglesa, es decir, los ángulos horizontales medidos en grados, estando precedida la cifra de + o de -, según se trate de un ángulo convergente o divergente. Algunos autores anotan los ángulos horizontales en dioptrías prismáticas. Se puede hacer fácilmente las correcciones necesarias de los ejemplos, si recordamos que la equivalencia es de $4^\circ \approx 7$ dioptrías.

La hiperforia está indicada por el signo D/I o ID, según se trate de una hiperforia derecha o izquierda y medida en dioptrías (D).

La cicloforia no es acusada fisiológicamente. Su anotación, no obstante, es muy sencilla:

Encicloforia: Inciclo.	}	registrada en grados.
Excicloforia: Excicl.		

Lo que dará, por ejemplo:

Ángulo objetivo: $+ 15^\circ$, D/I = 10 dioptrías. Excicl.: 3°

2. Para facilitar la lectura e interpretación de las anotaciones, como en el ejemplo anterior, se ha comenzado por la medida subjetiva, se indica el ángulo objetivo primero y se añade simplemente, si hay P.S., (percepción simultánea), a este ángulo objetivo, la abreviatura C.R.N., (correspondencia retiniana normal).

La anotación P.S., a $+ 1^\circ$ D/I = 1 D, C.R.N., tiene la misma significación.

Fisiológicamente, el ángulo objetivo puede acusar una hiperforia de 1 a 2 dioptrías. El ángulo horizontal puede variar de -1° a $+3^\circ$ ó 4° .

El contexto clínico dirá si estas desviaciones mínimas deben ser tomadas en consideración.

Examen de la fusión

Se toman láminas para el espacio macular con dos imágenes semejantes, por ejemplo, las casas idénticas, pero distintas por la presencia de dos árboles, uno de éstos ubicado a la derecha de la puerta en una de las imágenes, y el otro a la izquierda de la puerta para la otra imagen.

Los brazos del sinoptóforo están desbloqueados y se encuentran alejados del ángulo objetivo, viéndose las dos imágenes separadas. La persona examinada maneja el instrumento hasta situar las imágenes a su ángulo y las fusiona en una sola, que contiene los controles de ambas, es decir, una casa con un árbol en cada lado de la puerta.

Este ángulo es anotado. Queda por determinar la amplitud de fusión. Los brazos del sinoptóforo son nuevamente bloqueados y se imprime un movimiento de divergencia. Los ojos ante este movimiento divergen durante algunos instantes, siguiendo cada uno una imagen y conservándolas fusionadas. Con prontitud la persona examinada ve desdoblarse las dos imágenes, es decir, las casas se deslizan la una sobre la otra para separarse finalmente. En este momento, se alcanzan los límites de la divergencia permitida fisiológicamente a los ejes oculares. Los ojos ya no son capaces de seguir el movimiento de divergencia que se ha transmitido a las imágenes, y la fusión se rompe. El ángulo en que se

ha roto la fusión se anota.

El mismo estudio se realiza partiendo del ángulo objetivo y haciendo converger los brazos del instrumento. Los ojos convergen para seguir las imágenes y mantener la fusión. La visión se enturbia debido a que la persona examinada acomoda al converger. La imagen da la sensación de volverse muy pequeña y más turbia, como si se alejara. Después los ojos ya no pueden seguir las imágenes y los límites de la convergencia fisiológica se alcanzan. La fusión se rompe. Las imágenes se ven nuevamente separadas. Se anota el ángulo de ruptura de la fusión.

Los resultados son anotados mediante el siguiente esquema:

Abd. (adducción o movimiento hacia fuera) → - 4°

Fusión a 0°

Add. (adducción o movimiento hacia dentro) → + 30°

o bien a 0°, amplitud de - 4° a + 30°.

Las cifras normales son aproximadas a las cifras del esquema. La imagen suele enturbiarse a partir de +10° a +15°.

El ángulo en que la persona examinada sitúa las imágenes para fusionarlas puede ser un poco diferente al ángulo encontrado con las imágenes de percepción simultánea.

La siguiente respuesta no tiene nada de desconcertante.

Ángulo objetivo: + 4° C.R.N.

Fusión a 0°.

Examen de la visión estereoscópica

Se colocan dos imágenes para esta visión a un ángulo un poco más convergente que el ángulo objetivo, lo que estimula la visión estereoscópica. La respuesta no debe ser sugerida por el médico explorador. La visión estereoscópica debe imponerse por sí misma a la persona examinada, de lo contrario puede ser engañosa.

En una heteroforia, si este tipo de visión está ausente, se trata de una alteración más grave y antigua de la visión binocular.

El estereotest Randot

Este es el método cualitativo más generalizado que se emplea en los Centros de Reconocimiento de Conductores. Permite de una manera rápida y fácil la verificación y apreciación de la visión binocular y de la estereopsis, sin la interposición de aparatos, lentillas o prismas.

Es un test polarizado que se observa con gafas igualmente polarizadas. Se presenta con la forma de libro en cuyo interior y adheridas a las tapas están las láminas con las imágenes polarizadas. Esta prueba se encuentra estructurada en tres partes, con un particular significado cada una:

1. **LA MOSCA:** proporciona una agudeza estereoscópica de 1.000 segundos de arco.
2. **LOS PEONES DE AJEDREZ:** constituyen un test muy matizado y preciso, proporcionando una agudeza estereoscópica de 400 a 40 segundos de arco.
3. **LAS LÍNEAS DE ANIMALES:** sobre tres líneas, ofrecen respectivamente una agudeza estereoscópica de 800 segundos, 200 segundos y 100 segundos de arco.

La exploración con estas pruebas se realizará con una iluminación homogénea, no

brillante. Deben colocarse siempre las gafas polarizadas a la persona examinada, además, de los cristales correctores que pudiera usar ésta. La distancia de exploración será 40 cm, y las láminas se presentan verticalmente.

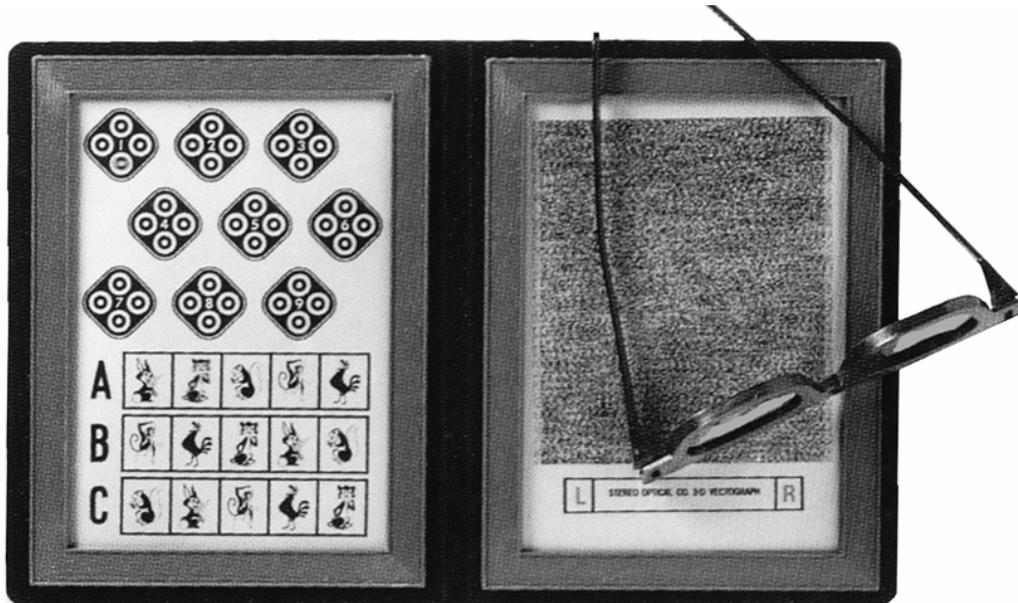


Fig. 18. Estereotest Randot.

La mosca

Este test permite detectar una importante estereopsia, además, de ser fácil de comprender. Está constituido por la imagen de una mosca de desmedido tamaño. Su gran cuerpo negro y sus alas translúcidas establecen un motivo estereoscópico perfecto.

En visión monocular la mosca aparece sin relieve, es decir, como una fotografía ordinaria; por el contrario, en visión binocular la reacción inmediata de la persona examinada cuando la percibe, no deja duda alguna en cuanto a su posibilidad de interpretar un efecto estereoscópico.

Durante la exploración se pedirá a la persona examinada que coja las alas de la mosca entre sus dedos pulgar e índice y se comprobará si ésta al intentarlo pone los dedos tocando la imagen que percibe, o bien, que se vea obligada para lograrlo a moverse o girar la prueba con determinada insistencia. Esto prueba que la apreciación estereoscópica no es inmediata y perfecta.



Fig. 19. Test de la «Mosca».

Los peones de ajedrez

Esta prueba está constituida por tres filas con tres cuadros numerados en cada una de ellas. En el interior de cada uno de estos cuadros se encuentran situados a modo de rombo cuatro círculos similares a los peones de ajedrez. Uno de los círculos de cada cuadro aparece en relieve para cualquier persona que tenga una visión binocular normal.

Durante la exploración se solicita a la persona examinada que indique el círculo o peón de cada uno de los cuadros que observa en un plano anterior al resto de los otros.

En la siguiente tabla se indican las respuestas que se deben obtener.

Cuadro	Posición del círculo	Agudeza estereoscópica
1	Abajo	800 segundos de arco
2	Izquierda	400 " " "
3	Abajo	200 " " "
4	Arriba	140 segundos de arco
5	Arriba	100 " " "
6	Izquierda	80 " " "
7	Derecha	60 segundos de arco
8	Izquierda	50 " " "
9	Derecha	40 " " "

Si la persona examinada comete un error en la identificación del círculo, y posteriormente da la respuesta correcta con el cuadro siguiente, se vuelve al principio de la prueba para confirmar que no la ha adivinado, o bien, se trata de una coincidencia.

La exploración se dará por finalizada cuando se hayan cometido dos errores consecutivos.

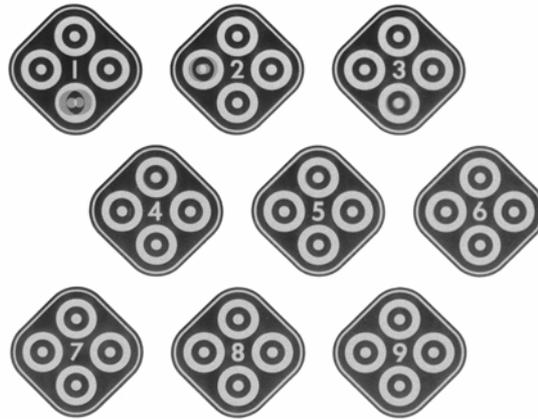


Fig. 20. Test de los «Peones de ajedrez».

Las líneas de animales

Esta prueba, al igual que la precedente, está constituida por tres líneas alfabetizadas con cinco animales en cada una de éstas. Del mismo modo, uno de los animales de cada una de las líneas se observará en un plano anterior respecto a los otros.

El método de exploración también es igual que la prueba de los peones de ajedrez. En la tabla siguiente se indican las respuestas que deben obtenerse.

Cuadro	Animal en relieve	Agudeza estereoscópica
A	Gato	400 segundos de arco
B	Conejo	200 " " "
C	Mono	100 " " "

Tanto esta prueba como la de la mosca son muy adecuadas para niños de corta edad por su sencillez de comprensión.

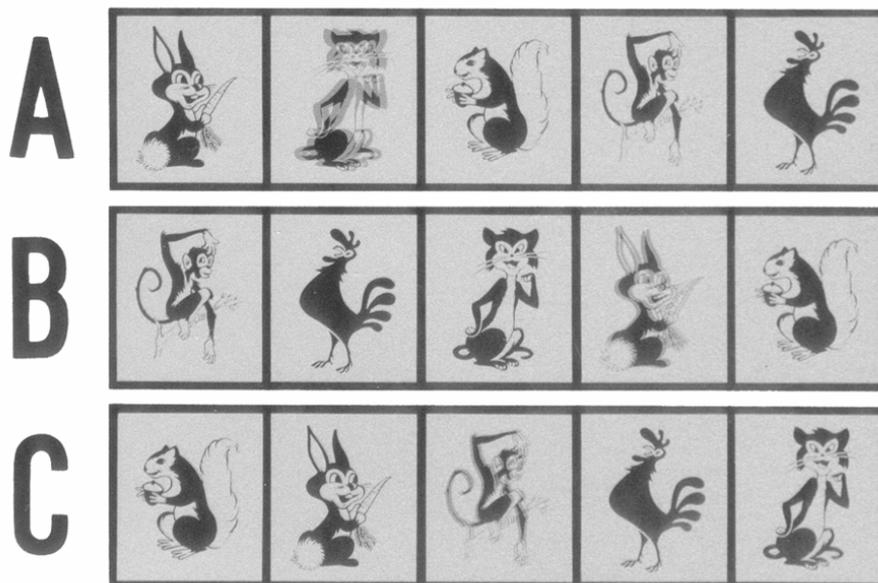


Fig. 21. Test de «Animales».