

tos esquemáticos muy cómodos para el estudio. Perrin, Parent, Landolt, han imaginado ojos artificiales que reproducen á voluntad los diferentes grados de las diversas ametropías. El ojo artificial del profesor Badal, no les es en nada inferior, por la simplicidad de su mecanismo y la demostración completa de todas las variedades de ametropía.

El aparato dióptrico de este ojo artificial está representado por una lente de $17^{\text{mm}},5$ de foco, colocada á $4^{\text{mm}},5$ de una córnea ficticia, sin poder refringente; el foco anterior está, pues, á 13 milímetros de la córnea y el foco posterior á 22 milímetros.

Por delante de la lente principal dos discos superpuestos permiten hacer pasar delante el ojo, toda la serie de cristales convexos y cóncavos, de manera que se obtienen todos los grados posibles de hipermetropía por defecto de refringencia ó de miopía por exceso. Además estos discos llevan cristales cilíndricos que, colocados delante del ojo, pueden, por un mecanismo especial, ocupar todas las posiciones posibles y reproducir, por lo tanto, todas las variedades de astigmia. Finalmente, la miopía y la hipermetropía axilares se obtienen por un paso de rosca que alarga ó acorta el cuerpo cilíndrico del instrumento.

Cada tercio de vuelta del paso de rosca transporta el fondo del ojo de $\frac{3}{10}$ de milímetro; es fácil darse así cuenta que este cambio de longitud aumenta ó disminuye de una dioptría el poder refringente del ojo.

5.º Corrección de la miopía y de la hipermetropía por lentes esféricas.—Esta corrección se basa en el principio fundamental siguiente: *La lente correctora es aquella cuyo foco principal coincide con el remoto del ojo corregido.*

Demostremos la verdad de esta proposición para la miopía y la hipermetropía sucesivamente.

Por lo que respecta á la miopía examinemos la fig. 15.

L es la lente correctora, R el remotum, el ojo miope es de un grado tal que los rayos luminosos, para ir á la retina, deben llevar una dirección tal como IN; este ojo

estará corregido cuando los rayos paralelos emanados del infinito hayan tomado esta dirección IN. ¿Qué lente les dará esta dirección? Precisamente la lente L cuyo foco coincide con R, ya que esta lente, recibiendo en I los rayos venidos del infinito, les da, por definición, la dirección IN. Todos sabemos, en efecto, que para encontrar el foco de la lente L es necesario prolongar los rayos luminosos divergentes que emergen de dicha lente, hasta que se crucen con el eje óptico.

Hagamos igual demostración para la hipermetropía, sirviéndonos de la fig. 13. Sea H el ojo, R su remotum, L la lente; el ojo hipermetrope, para que reciba los rayos

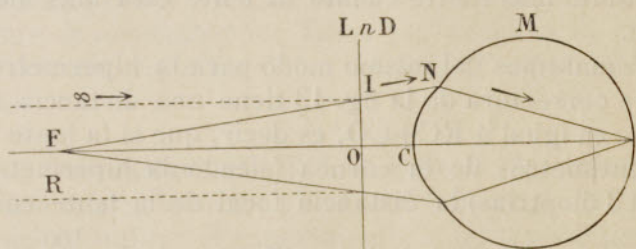


Fig. 15.

luminosos en su retina, es necesario que tengan previamente cierta convergencia, en este caso la convergencia IN. ¿Qué lente dará á los rayos luminosos esta dirección? Será evidentemente aquella en la cual F coincide con R, ya que toda lente manda á su foco los rayos que proceden del infinito.

Lo que decimos de las lentes colocadas á una distancia cualquiera del ojo miope ó hipermetrope es igual en todos los casos, cualquiera que sea la distancia que separa la lente de la córnea, siempre que esté colocada á 10, 15, 20 ó 30 milímetros del ojo; siempre, repetimos, para que sea correctora, es preciso que su foco principal coincida con el remotum del ojo corregido.

De aquí resulta el hecho que, no pudiendo la lente correctora, estar en contacto inmediato con la córnea, tendrá un valor que variará con el punto en que esté colocada. Supongamos, por ejemplo, que en la miopía de

3 D la lente esté colocada á 20 milímetros del ojo, su longitud focal no será de RC, es decir, 33 centímetros, sino de $RC - CO = RO$, es decir, 33 centímetros—2 centímetros=31 centímetros de distancia focal, ó sea una lente de $\frac{100}{35} = 3,22$; si la lente está colocada más lejos del ojo, de modo que CO iguale 3, 4, 5 centímetros, RO disminuirá de otro tanto, y el valor dióptrico de la lente crecerá paralelamente. En todos los casos, por el solo hecho de que es necesario que la lente esté siempre colocada á cierta distancia del ojo, sucede constantemente que esta lente, correctora de la miopía, es más fuerte que ella y tanto más fuerte cuanto la lente está más alejada del ojo.

Razonaremos del mismo modo para la hipermetropía; la lente correctora de la fig. 13 tiene una distancia focal RO que es igual á $RC + CO$, es decir, que si la lente está á 2 centímetros de la córnea (siendo la hipermetropía igual á 3 dioptrías) la distancia focal de la lente correctora será igual á $33\text{cm} + 2\text{cm} = 35\text{cm}$, es decir, $\frac{100}{35} = 2,87$ dioptrías; es, pues, una lente convexa de 2,87 que corrige una hipermetropía de 3 dioptrías, y esta lente será tanto más débil cuanto que OC sea más grande, es decir, cuanto más alejada esté de la córnea.

Es importante que recordemos este hecho, no sólo cuando practiquemos el método de Donders, con ayuda de las lentes de ensayo, si que también es necesario recordarlo cuando hagamos la optometría por otros medios, tales como la imagen directa y la skiascopia. El cristal corrector, en estos distintos modos de examen, es variable, según que el observador tenga la lente más cerca ó más lejos del ojo; hay en esto, cuando no se le presta la debida atención, una causa de error *sumamente importante* que no debemos perder ni un solo momento de vista; insistiremos nuevamente en ello á su debido tiempo y lugar.

Que nos baste aquí saber y recordar estos principios fundamentales, de suma importancia en optometría: *la lente correctora coincide siempre por su foco con el remo-*

tum del ojo corregido y que en la miopía esta lente es más fuerte que el vicio de refracción, mientras que en la hipermetropía es más débil.

§ 2.—EL OJO EN ESTADO DINÁMICO

El ojo en estado de reposo, el ojo estático, nos permite ver el punto más lejano de la visión distinta, el remotum solamente, cuya imagen se pinta sobre la retina; todos los objetos más cercanos escaparían á la percepción limpia si no tuviéramos la facultad de modificar el poder refringente de nuestro aparato dióptrico, si no acomodásemos el ojo á la distancia; esta facultad recibe el nombre de acomodación. Tiene por factores la contracción del músculo ciliar y la elasticidad natural del cristalino.

1.º **Acomodación.**—El fenómeno de la acomodación consiste esencialmente en una modificación de la convexidad del cristalino; el experimento de las tres imágenes de Purkinje lo demuestra; cuando después de haber dado al ojo una dirección determinada colocamos á su lado una luz intensa, se ven en la pupila tres pequeñas imágenes de esta luz, imágenes producidas por la córnea, por la superficie anterior del cristalino y por la superficie anterior del cuerpo vítreo, á la cual se adosa el cristalino. Las dos primeras imágenes son directas, la tercera, la suministrada por una superficie cóncava es invertida.

La distancia de los reflejos corneales á las dos otras varía según el estado estático ó dinámico del ojo; si el sujeto acomoda, cambian de posición, en la figura B los cuadrados *b* se acercan á los cuadrados *a*; la superficie anterior del cristalino se coloca, por consiguiente, más adelante; durante la acomodación, el cristalino cambia de curvatura.

Este experimento es tanto más importante de recordar por sernos de gran utilidad en los casos de investigación de la posición exacta y de la presencia ó ausencia del cristalino luxado.

Este cambio de forma del cristalino ha sido invocada para explicar la acomodación por multitud de autores antiguos, Descartes y Hunter entre otros. Young (1801) dió pruebas, que hasta entonces habían pasado desapercibidas, de este mecanismo y, á pesar de los trabajos de Græfe, de Stellwag Van Carion, dicha teoría era aún muy controvertida cuando Purkinje descubrió las tres imágenes, aprovechadas posteriormente por Sanson para el diagnóstico de la catarata. Pero fué Langenbeck el que de-

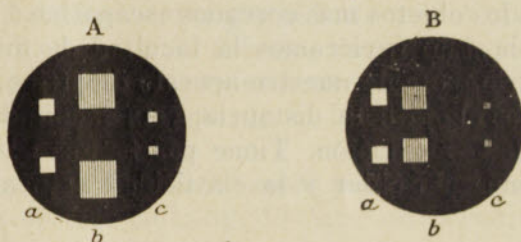


Fig. 16.—Imágenes de dos cuadrados luminosos.

A, estado de reposo.—B, estado de acomodación.—*a*, reflejos corneales invariables; *b*, reflejos de la superficie anterior del cristalino, más pequeños, y por consiguiente, más cercanos el uno del otro durante la acomodación (B) y más cercanos también de la córnea; *c*, reflejos de la superficie posterior del cristalino, los menos luminosos, conservando su posición durante la acomodación y transformándose apenas en más pequeños en este caso.

mostró el cambio de curvatura del cristalino (1849), y más tarde Helmholtz demostró que la cara posterior del cristalino se modifica también, aunque débilmente. ¿Cómo se produce este cambio de curvatura del cristalino en el momento de la acomodación?

El músculo ciliar, al contraerse, tira la coroides hacia el borde corneal, la zona de Zinn se dirige hacia adelante, el espacio comprendido entre el ecuador del cristalino y la zónula se ensancha, la tracción ejercida por la zona de Zinn sobre el cristalino disminuye; éste, abandonado á sí mismo, toma la forma natural que le asigna la elasticidad de sus fibras y se torna más convexo, sobre todo su cara anterior (Helmholtz).

Tscherning explica la acomodación por la contracción del ciliar, la tensión de la zónula y una tracción sobre la

lente cuya curvatura aumenta en el centro; este cambio de forma depende de que el núcleo es demasiado consistente para dejarse deformar, mientras que las capas periféricas líquidas cambian de lugar fácilmente. Por su periferia la lente se aplanar, mientras que en su centro la convexidad aumenta. Entre el borde pupilar del iris levantado y el borde adherente se encuentra una especie de valle correspondiente al aplanamiento del cristalino.

Séase como quiera, en estado de reposo el ojo presenta su *mínimum* de refringencia; adquiere su fuerza refringente *máxima* en el estado de acomodación total; la diferencia entre este *mínimum* y este *máximum* mide la amplitud de acomodación.

El poder refringente del ojo en reposo es inversamente proporcional á la distancia del remotum; en efecto, si el ojo puede ver un objeto sumamente lejano, es debido á que su refringencia es relativamente débil. Representamos la refringencia del ojo estático por $\frac{1}{R}$; representando por P la distancia del próximum, $\frac{1}{P}$ representará la refringencia del ojo durante la acomodación total.

La diferencia entre los dos valores de refracción es igual al valor en dioptrias de $\frac{1}{P} - \frac{1}{R}$; el poder refringente, debido á la exageración de la curvatura del cristalino, puede, por lo tanto, estar representado por una lente convexa cuya distancia focal será exactamente esta diferencia.

Supongamos un ojo en posesión de la acomodación, el remoto en R, el próximo en P; coloquemos delante de este ojo una lente H que disminuya la divergencia de los rayos que parten de R y les imprima la misma dirección que si partieran de P; esta lente representará exactamente el poder de acomodación de este ojo.

Llamando A la distancia focal de la lente, tendremos $A = P - R$, fórmula en la cual P y R representan los dos valores extremos de la refringencia. A, representa también el poder acomodador del ojo, ya que esta lente es igual á la exageración de curvatura del cristalino en la

acomodación. Luego la amplitud de acomodación vale en dioptrías la diferencia que existe entre la fuerza refringente del ojo en estado estático y su refringencia en estado dinámico.

2.º Acomodación en los ametropes.—El razonamiento que precede se aplica igualmente á los miopes que á los hipermetropes.

Supongamos un miope de 3 dioptrías, cuyo R estará, por consiguiente, á 33 centímetros, y que ve limpiamente hasta 111 milímetros ó sea $\frac{100}{11\text{ cm},1} = 9$ dioptrías. Sin acomodación este ojo tiene 3 dioptrías de refracción, después de acomodar 9; por consiguiente, la acomodación le añade 6 dioptrías de refringencia. Su poder acomodador $A = 9 - 3 = 6$, ó bien $\frac{1}{A} = \frac{100}{11,1} - \frac{100}{33}$ ó también $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} - \frac{1}{R}$.

En el emetrope $\frac{1}{R} = 0$, luego $\frac{1}{A} = \frac{1}{P}$, ó sea $A = P$; el poder refringente del ojo está exactamente medido por la distancia del próximum; si P está á 10 centímetros $\frac{1}{A} = \frac{100}{10} = 10$ dioptrías.

El hipermetrope, para ver su próximum que suponemos á 10 centímetros, comienza corrigiendo su ametropía por un esfuerzo de la acomodación, que depende de la distancia de su remotum; este esfuerzo está medido por una lente cuya distancia focal es $\frac{1}{R}$; además una vez ha alcanzado la emetropía, el ojo, para adaptarse á 10 centímetros, punto próximo, debe de hacer aún un esfuerzo igual á $\frac{1}{P}$, medido por una lente que tenga $\frac{1}{P}$ de foco, ó en este caso particular $\frac{100}{10}$. El hipermetrope hace, pues, dos esfuerzos de acomodación, y $\frac{1}{A} = \frac{1}{P} + \frac{1}{R}$; supongamos que R se encuentra á 0^m,50 detrás del ojo, $\frac{1}{A} = \frac{1}{0,10} + \frac{1}{0,50} = 10 + 2 = 12$ dioptrías de amplitud de acomodación.

Es necesario distinguir la amplitud de acomodación de su recorrido; éste es la distancia entre R y P, valor longitudinal que evitaremos confundir con la amplitud de acomodación, valor refringente. Así, supongamos que un emetropo, un miope de 2 dioptrias y un hipermetropo de 4 dioptrias, poseen los tres una amplitud de acomodación de 6 dioptrias. ¿Qué recorrido de acomodación tienen estos tres sujetos?

El emetropo tiene su R en el infinito; el próximum en $\frac{100}{6} = 16^{\text{cm}},6$, su recorrido de acomodación va de $16^{\text{cm}},6$ hasta el infinito.

El hipermetropo de 4 dioptrias necesita 4 dioptrias de acomodación de las seis que tiene, para volverse emetropo le restan sólo, por consiguiente, 2; su próximo está á 50 centímetros, su recorrido de acomodación es, por lo tanto, menor, va del infinito á $0^{\text{m}},50$. El miope de 2 dioptrias tiene su remotum á $0^{\text{m}},50$, con sus 6 dioptrias de acomodación, P está á 12 centímetros; su recorrido de acomodación es, por lo tanto, de 38 centímetros, aun más pequeño, por consiguiente, que el del hipermetropo.

Por lo tanto, dada la misma amplitud de acomodación, el recorrido varía con la refracción del ojo en estado estático.

3.º Influencia de la edad sobre la acomodación.—La refracción estática se mantiene normal hasta cincuenta y cinco años próximamente; desde entonces el poder refringente disminuye, el emetropo se vuelve hipermetropo, el miope tiende á la emetropía, y la emetropía del hipermetropo aumenta. El esquema de Donders muestra bien las condiciones en las que se produce esta debilitación de la refringencia; debida á la disminución del poder refringente del cristalino bajo la influencia del cambio imprimido por la edad á las distintas capas de la lente.

Pero la influencia de la edad sobre la refracción estática es de menguada importancia, comparada á la que ejerce sobre la refracción dinámica, la acomodación. El esquema de Donders muestra en dioptrias el poder re-

fringente á todas las edades. La línea PP representa la refracción máxima del ojo adaptado á su próximum; un niño de diez años, fijando su próximum, dispone de catorce dioptrías; á quince, 12; á cuarenta y cinco, 3. A setenta años el hombre ha perdido toda su fuerza de acomodación y, además, desde algunos años antes, la refringencia estática de su dióptrico disminuye. A setenta y tres años el próximum y el remotum se confunden, están ambos situados más allá del infinito; el individuo es forzosamente hipermetrope.

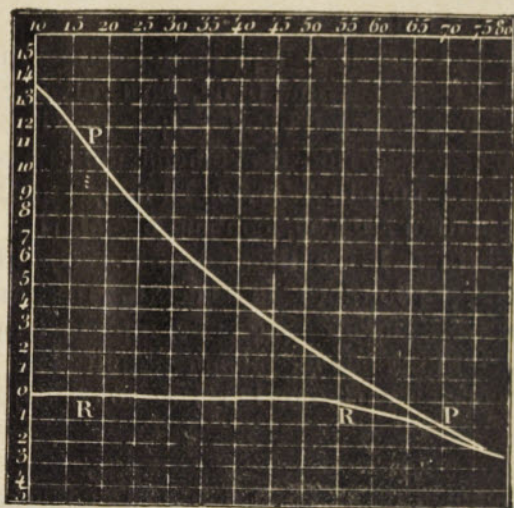


Fig. 17.—Esquema de la amplitud de acomodación (según Donders).

4. Presbicia.—A los viejos, á los individuos de alguna edad les falta acomodación ó refracción positiva; ven bien á larga distancia, mal de cerca, de aquí la expresión de presbicia ó presbiopia, del griego *πρεσβυς*, viejo.

Se estima en general que la visión de los objetos cercanos, para el trabajo, debe ejercerse á 25 centímetros para que se haga en buenas condiciones; un ojo bien conformado y provisto de una acomodación suficiente debe poderse adaptar fácilmente á esta distancia. Pero cuando el ojo no se adapta ya para el trabajo ordinario, se trans-

forma en présbita; con Donders diremos que un ojo es présbita cuando, á consecuencia de la debilitación fisiológica de su función, ya no ve limpiamente á 25 centímetros. En general, para leer, se coloca el objeto á la distancia de 30 centímetros y esta distancia no es excesiva; tomamos aquí la cifra de 25 centímetros porque es la cuarta parte de cien, corresponde á un poder de acomodación de 4 dioptrias, y se presta fácilmente á la demostración.

Según el esquema de Donders, el emetrope se transforma en présbita después de cuarenta años, pues á esta edad no tiene más que 4 dioptrias de acomodación, cifra necesaria; á cuarenta y cinco años, no tiene más que 3 D $1/2$, su presbiopia es de 0,50; á sesenta años no tiene más que $1/2$ D de acomodación, la presbicia es de 3 D $1/2$, y para volver el ojo á sus condiciones ordinarias de visión cercana, necesita un cristal de este valor.

El hipermetrope se vuelve más pronto présbita, evidentemente que un emetrope; un hipermetrope de 3 D $1/2$ será présbita á treinta años, á esta edad tendrá 7 D de acomodación, de las cuales 3 $1/2$ necesarias para la corrección de su emetropia, no quedándole más que 3 $1/2$ cuando le son necesarias 4 para ver á 25 centímetros.

Los miopes se vuelven présbitas más tarde, algunos nunca, hasta setenta y cinco años; son aquellos cuyo remotum está muy cercano, cuya miopia llega á 6 D ó más; perdiendo 2 $1/2$ á setenta y cinco años, le quedan aun 3 $1/2$ para la adaptación de su ojo á la visión cercana.

Un miope de 4 dioptrias será teóricamente présbita á los sesenta y dos años, cuando su refracción dinámica, siendo nula, su refracción estática haya disminuído $1/2$ dioptria; ya no verá claramente á 25 centímetros, necesitará un cristal corrector, una lente de trabajo, ya que así se deben de llamar las lentes que, remediando una falta de refracción, vuelven el poder refringente del ojo á la cifra convencional de 4 dioptrias; prácticamente un miope de 4 dioptrias no será nunca présbita, ya que no es absolutamente preciso colocarse á 25 centímetros para leer ó escribir; á medida que la refracción estática del cristalino

disminuye, el sujeto alejará el objeto y prescindirá de cristales.

En la práctica, el individuo no se convierte en présbíta tan pronto como lo indica teóricamente el esquema de Donders, porque se trabaja á la distancia de 30, 35 y hasta de 40 centímetros, y porque, para la mayoría de los trabajos, no es necesario ver muy claramente y nos contentamos con una agudeza muy inferior á la unidad, aun corriendo el riesgo de fatigarnos.

La presbicia se manifiesta al principio por fatiga ocular, dolores periorbitarios, lagrimeo. El objeto colocado á 25 centímetros es visto aún limpiamente; el músculo suministra un esfuerzo de 4 D, pero si este esfuerzo representa el máximum de su energía, el músculo no tarda en contracturarse, de aquí la astenopia: el présbíta ve aún claramente, pero se cansa. No es, sin embargo, cierto que el ciliar sea menos potente en los viejos que en la juventud; es probable que sus fibras estén más desarrolladas en el adulto, y que á los cuarenta y cinco años, al presentarse la presbicia, el músculo de la acomodación posea su energía máxima. La causa de la presbicia está en otra parte.

Sabemos, en efecto, que la acomodación depende de dos factores: la contracción del ciliar que relaja la zona de Zinn, y la elasticidad del cristalino que aumenta espontáneamente su curvatura. Supongamos que á la edad de la presbicia, no pueda, el cristalino, aumentar su curvatura más que en 3 D, si 4 D ó más son necesarias, el músculo ciliar se contrae más enérgicamente; pero este aumento de fuerza no puede remediar al defecto de elasticidad del cristalino, por lo que nada gana la acomodación y el esfuerzo continúa sin ningún resultado; el cansancio muscular, la astenopia reveladora de la presbicia, depende, por consiguiente, de las contracciones repetidas del músculo, no de su impotencia.

La corrección de la presbicia por medio de un cristal convexo evita al ciliar este cansancio, y para evitarlo mejor, el cristal debe ser suficientemente refringente, que permita ver al sujeto sin gastar la totalidad de su acomoda-

dación, debiendo conservar en reserva un quinto de su energía.

De aquí que un sujeto, que tenga 2 D de acomodación, para ver á 25 centímetros deberá usar una lente de 3 D y no una de 2 D; de este modo tendrá 5 D de acomodación total; el P estará á 20 centímetros y para ver á 25 gastará tan sólo 4 D; esta dioptria de reserva le es necesaria. Es, por lo tanto, indispensable corregir la presbicia con exceso, dando un cristal convexo un poco más fuerte que aquel con el que se declara satisfecho el enfermo.

Prácticamente, el público comprende torcidamente esta hipercorrección; cree generalmente que debe usar los cristales correctores lo más tarde que pueda y lo más débiles posible; error contra el cual debe reaccionar el oculista; indudablemente no deberá prescribir un cristal muy convexo inmediatamente, no hará descansar el ciliar á pesar de esto; pero desde que se presenten los primeros fenómenos de la presbicia debe recomendar el cristal necesario y advertir al enfermo que la fuerza de la lente tendrá necesariamente que aumentarse de un modo regular con la edad, que á la menor fatiga muscular debe aumentar su lente en media dioptria; de este modo se conformará á la ley general que resume el tratamiento de la presbicia «la lente correctora debe de ser lo suficientemente fuerte para que el présbita posea una visión limpia empleando solamente los $\frac{4}{5}$ de su acomodación.»

Antes de terminar, conviene hacer hincapié respecto á los inconvenientes que ofrece el empleo de cristales demasiado fuertes; cuando el cristal convexo prescrito permite al sujeto la lectura de muy de cerca, le obliga á hacer grandes esfuerzos de convergencia; y el présbita, desembarazándose de los esfuerzos de acomodación, cae en la *astenopia de convergencia*, con tanta más facilidad cuanto que en la edad avanzada este poder de convergencia está siempre muy debilitado. Al hacer la elección de los cristales de los présbitas, deberemos cerciorarnos de que permiten al sujeto ver bien á la distancia de 30 centímetros y no le obligan á leer á menor distancia de aquélla.

§ 3.—DE LA CONVERGENCIA

El ojo no es un órgano impar que funcione aisladamente en una dirección siempre igual. Si miráramos con un solo ojo, podríamos siempre mirar delante de nosotros, en la dirección del eje óptico en estado de reposo; pero debemos ver con ambos ojos, fusionando las dos imágenes retinianas.

Hay convergencia siempre que ambos ojos miran el mismo objeto; si está en el infinito, las líneas de la mirada son paralelas; podría decirse que hay convergencia en el infinito. A medida que se va acercando el objeto, ambos ojos convergen para fijarlo á la vez, fenómeno necesario en la visión binocular.

Cuando el objeto está en la línea media, la convergencia es igual para cada ojo; el grado de convergencia es diferente si el objeto está colocado más á la derecha, ó más á la izquierda.

1.º Notación y medida de la convergencia.—Se ha medido de un modo exacto este ángulo de convergencia, gracias al razonamiento siguiente: un ojo que mira al infinito presenta un ángulo de convergencia nulo; un ojo convergiendo á 5 metros, un ángulo de $\frac{1}{5}$; á un metro, $\frac{1}{1}$, etc., y se ha convenido que todo ojo, fijando un objeto á un metro, tiene un ángulo de convergencia igual á 1 ángulo métrico; si fija á 50 centímetros, 2 ángulos métricos; si á 25 centímetros, 4 ángulos métricos, etc.

Este modo de medir la convergencia es tanto más feliz cuanto que las cifras que representan las dioptrias de acomodación son absolutamente las mismas; un ojo emетроpe que mira á 20 centímetros acomoda $\frac{1}{0,20} = 5$ dioptrias y converge $\frac{1}{0,20} = 5$ ángulos métricos.

¿Qué entenderemos, pues, por amplitud de convergencia? Esta amplitud se mide por la diferencia entre el

ángulo de convergencia máxima y el ángulo de convergencia mínima.

Sea el punto R el punto más lejano que los dos ojos O y O' puedan ver juntos; el ángulo ORM es el ángulo de convergencia mínimo. Si el punto P es, por otra parte, el punto más cercano posible para la visión binocular, el ángulo OPM será el ángulo de convergencia máxima, el ángulo P. La amplitud de convergencia, la diferencia entre estos dos ángulos, será $P - R$; de donde la fórmula siempre exacta $A^c = P - R$.

El remotum de la convergencia, el punto R de la figura, no está siempre situado á una distancia finita; en general, ambos ojos ven limpia y juntamente á una gran distancia, el ángulo ORM es nulo; R está en el infinito.

Algunas veces el remoto de la convergencia está más allá del infinito, en cuyo caso hay divergencia, y el ángulo de convergencia es negativo. Podemos medir esta divergencia sirviéndonos de prismas cuyo vértice esté dirigido hacia afuera; estos prismas desvían hacia sus bases los rayos paralelos, de modo que los rayos que atraviesan el ojo toman una dirección tal, que el sujeto se ve obligado á poner de manifiesto todo su poder de divergencia para reunirlos sobre la mácula. Recordemos las propiedades que los cristales prismáticos poseen relativamente á la refracción de la luz.

Si un rayo luminoso DM, encuentra un prisma ABC, en un punto tal como M, se desvía hacia la base del prisma, siguiendo una dirección MN, emerge en N en donde sufre, al penetrar en el aire, una nueva desviación, de tal modo que

un observador colocado en E recibe el rayo luminoso

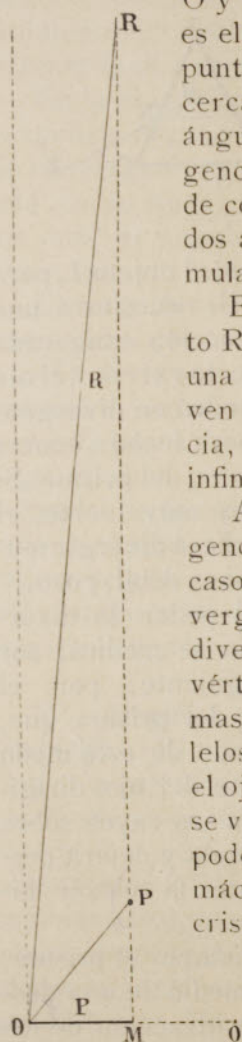


Fig. 18.

como si procediera de K. El ángulo KHD recibe el nombre de ángulo de desviación.

Para medir el poder de divergencia, coloquemos de-

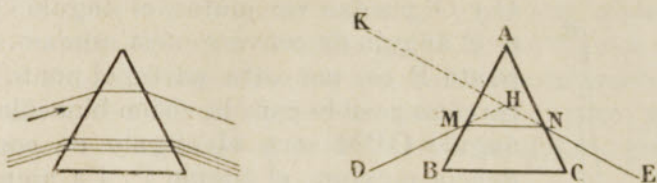


Fig. 19.

lante del ojo un prisma P de base interna; el objeto L para producir su imagen en la mácula, en B, necesitará una

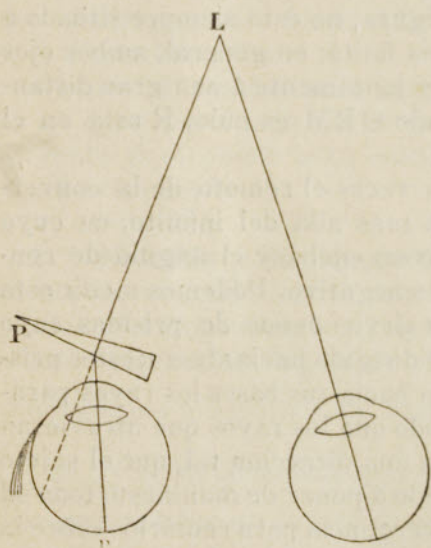


Fig. 20.

contracción exagerada del recto externo; el ojo se pondrá en divergencia para luchar contra la acción del prisma. Si éste es muy fuerte, el ojo deberá divergir mucho; si es débil, poco.

El poder de divergencia se medirá, por consiguiente, por el valor del prisma que, colocado de este modo delante del ojo, dirigirá aún sus rayos sobre la mácula y dejará persistente la visión binocular.

La desviación del rayo LB, producida por el prisma, no puede ser compensada más que por medio de una desviación igual del ojo producida por la contracción de los abductores; luego la desviación del prisma, puede ser considerada como la mitad del ángulo del vertice, y este valor, estando inscrito en cada prisma, se deduce fácilmente el valor del ángulo de divergencia del ojo observado. Si el prisma $P = 4$, el ángulo de desviación será

de 2° y el sujeto que fusione aún las imágenes retinianas, mirando á través los dos prismas núm. 4, tendrá 2° de divergencia ó de convergencia negativa. Para medir el poder de divergencia de los ojos nos serviremos útilmente del doble prisma de Crétès, con el cual podemos obtener fácil y rápidamente un prisma de cualquier grado.

En la práctica es raramente útil la medición de la convergencia negativa; importa mucho más medir el ángulo de convergencia máxima. Basta para ello colocar un objeto en la línea media y acercarlo cuanto sea posible á los ojos; el ángulo máximo equivale á 11 ó 12 *a. m.*, es decir, que el objeto puede estar muy cerca del ojo.

La amplitud de convergencia y la amplitud de acomodación son, pues, dos funciones absolutamente sinérgicas; á 3 D de acomodación corresponden 3 *a. m.* de convergencia, y viceversa. Nada es más natural, por otra parte, que esta unión de ambas funciones, la anatomía y la fisiología hacían preveerlo. La convergencia depende del músculo recto interno inervado por el motor ocular común, y el músculo ciliar toma sus filetes nerviosos del mismo origen por el intermedio de la gruesa y corta raíz del ganglio oftálmico; el nervio del tercer par tiene ambas funciones bajo su dependencia.

2.º Amplitud relativa de la convergencia y de la acomodación.—El paralelismo que existe entre la acomodación y la convergencia, no es, sin embargo, absoluto. Un emетроpe joven, con una acomodación considerable, podrá fijar y ver perfectamente un objeto á través de lentes cóncavas de 2 D, utilizando así 2 D de acomodación sin cambiar el ángulo métrico de su convergencia. De igual modo, con ayuda de prismas, Donders ha probado que se puede aumentar la convergencia, sin hacer variar la acomodación. Pero esta disociación no pasa de algunas dioptrías; para un mismo grado de convergencia, la acomodación no puede oscilar más allá ó más acá de algunos grados; existe para cada ángulo métrico un mínimo y un máximo de acomodación, que es lo que Donders apellida amplitud de acomodación relativa.

En los ametropes, la acomodación y la convergencia están necesariamente desacordes. Un miope de 8 dioptrías fija, á 12 centímetros y medio, un objeto sin gastar acomodación, mientras le son necesarios para ver binocularmente 8 a. m. de convergencia; para ver á 10 centímetros acomodará tan sólo con 2 dioptrías y convergerá de 10 a. m. El miope, por lo tanto, converge más que acomoda.

Por el contrario, el hipermetrope acomoda más que converge, ya que antes de converger ha de corregir su vicio de refracción; de tal modo que un hipermetrope de 3 D, para fijar un objeto á 50 centímetros, necesita acomodar desde un principio de 3 D para corregir su hipermetropía, y además, 2 D para ver á 50 centímetros, mientras le bastan 2 a. m. de convergencia.

El desacuerdo entre ambas funciones es, por decirlo así, constante en la ametropía, á causa del vicio de refracción; este principio tiene su importancia en el estudio clínico de las ametropías y en la explicación del estrabismo funcional que tan á menudo las acompaña.

La disociación relativa de la acomodación y la convergencia, es decir, la posibilidad de que un individuo, acomode, por ejemplo, de 8 dioptrías y converja tan sólo de 4 ángulos métricos, es más ó menos fácil según la aptitud más ó menos marcada del sujeto para aprovechar la visión binocular. Un individuo bien dotado bajo este aspecto, que tenga afición al dibujo, el sentido de las formas, de los contornos, de la tercera dimensión de los cuerpos, en una palabra, deseoso de conservar la visión binocular, obligará en cierto modo al músculo ciliar y al recto interno á funcionar unidos, gastando con todo distinta cantidad de inervación; pero, si por el contrario, el sujeto no aprecia los beneficios de la visión binocular, si el hecho de ver con un solo ojo no es para él excesivamente desagradable, no buscará el acuerdo de las dos funciones que están disociadas por causa de la ametropía, y bastará una hipermetropía ó miopía débiles para que las dos funciones paralelas caigan en completo desacuerdo. El estrabismo será su consecuencia.

3.º Visión binocular.—La visión binocular resulta, como su nombre lo indica, de la fusión de las imágenes respectivamente suministradas por cada ojo. ¿Pero, cómo se opera esta fusión y por qué mecanismo vemos en el espacio, en su sitio real, con sus tres dimensiones, con sus relieves, los objetos del mundo exterior?

Nægel y Giraud-Teulon han defendido la teoría de las proyecciones; he aquí cómo la expone este último autor:

«Cada punto de la perspectiva exterior tiene su imagen dióptrica en un punto determinado de la retina y reactivamente, el sensorio transporta virtualmente la sensación experimentada punto por punto sobre la perspectiva misma. La retina proyecta así y exterioriza la sensación punto por punto sobre el radio de la esfera; es sobre esta línea y al exterior que la retina *siente*. Esta línea, ya lo sabemos, pasa por el punto nodal.» (Giraud-Teulon. *La Visión*, pág. 574.)

Según esta teoría, el que ve binocularmente, transporta el punto mirado en el espacio á la intersección de las líneas de dirección, que parten de las dos imágenes retinianas de dicho punto y que pasan por los nodales de ambos ojos.

La teoría que puede oponerse á la precedente es la llamada de los *puntos idénticos* ó *puntos sinestésicos* de la retina. Esta teoría consiste en admitir que un punto luminoso es visto único, con ambos ojos, siempre que su imagen se forme sobre los puntos correspondientes de la retina. Esta es la teoría admitida y defendida por Javal.

Con razón este autor hace notar que la teoría de los puntos idénticos es la sola que nos puede hacer comprender el fenómeno de la diplopia fisiológica, inexplicable por medio de la teoría de las proyecciones.

Sabemos en lo que consiste la doble visión fisiológica. Tomemos dos bujías colocadas en una mesa, la una á 50 centímetros, la otra á 80 centímetros, ambas sobre una misma recta. Mirando la bujía más lejana, veremos dos veces la bujía más cercana, y recíprocamente, fijando la bujía más cercana veremos dos imágenes de la más alejada. En el primer caso las imágenes son cruzadas, en el

segundo homónimas; de lo cual es fácil convencerse colocando un vidrio encarnado delante de uno de los ojos.

Si la teoría de las proyecciones fuese verdadera, la bujía no fijada, debería aparecer sencilla como la otra, los dos ojos deberían verla en el espacio, en la intersección de dos rectas que partieran de la superficie retiniana impresionada y que pasaran por el punto nodal de cada ojo.

El solo argumento en favor de la teoría de las proyecciones, es el fenómeno que se produce en los estrábicos, conocido con el nombre de *falsa proyección*, pero es preciso notar, que en este caso, no hay, propiamente hablando, visión binocular fisiológica; no hay nunca fusión de las imágenes; el ojo desviado parece que proyecta la imagen en una dirección falsa, á causa del hábito que anteriormente había tomado de ver los objetos en tal ó cual parte, cuando tal región de la retina era impresionada.

Tales hechos no pueden servir para dilucidar la teoría de la visión binocular, ya que son precisamente su negación. Después de haber aprendido á ver binocularmente, un individuo presenta de pronto una parálisis monocular, el ojo desviado continúa á ver en el espacio el objeto que impresiona su retina, tal como *empíricamente* había aprendido á hacerlo; nada hay aquí de anormal, y verdaderamente no se comprende que pudiera ser de otro modo.

Por lo demás, admitiendo la teoría de los puntos idénticos, hay que reconocer que la visión binocular se adquiere en gran parte por experiencia individual; por atavismo ó por condición innata (teoría nativística de Hering) queda el sujeto en condiciones apropiadas para desarrollar esta facultad (Javal).

Con apoyo de la teoría de los puntos idénticos, es con lo que Javal da la siguiente excelente explicación, sobre la manera cómo alcanzamos la noción del relieve.

Este autor comienza estableciendo que los dos ojos están en un estado de movilidad continua, y basa la noción de la tercera dimensión, sobre la conciencia de los movimientos ejecutados por ambos ojos.

«Consideremos, dice, el objeto más sencillo, cuyo relieve podamos medir. En una línea recta AB situada

en un plano que pase por los dos ojos GD. Para pasar de A á B, la línea visual del ojo izquierdo describe el ángulo A G B y la del derecho el ángulo A D B. En las condiciones de la figura, el segundo de estos ángulos es mayor que el primero y esto es lo que nos muestra que el punto B es más lejano que el punto A. La sola sensación de que disponemos para apreciar la posición relativa de A y B es precisamente la conciencia de haber descrito un ángulo mayor con la línea visual del ojo derecho que con la del ojo izquierdo, y he aquí un elemento suficiente para apreciar el ángulo formado por la línea A B con la línea x y.» (Javal. *Manual del Estrabismo*, páginas 35 y 36.)

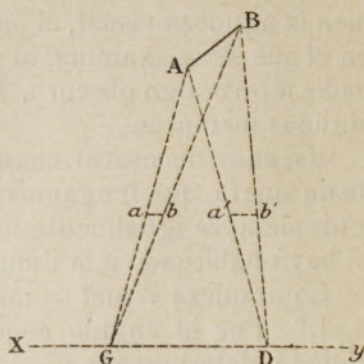


Fig. 21.—(Según Javal.)

Para el estudio de esta cuestión recomendamos los capítulos I y XII de dicha obra, en la que Javal expone cuidadosamente sus opiniones personales.

§ 4.—AGUDEZA VISUAL

La agudeza visual es el poder aislador del ojo, es la facultad que tenemos de distinguir un objeto del medio que le rodea. Depende: 1.º, de la sensibilidad de la retina; 2.º, de la iluminación general; 3.º, de la limpieza de la imagen retiniana y de su intensidad luminosa; 4.º, de la adaptación del ojo á la iluminación ambiente.

No es necesario demostrar que en gran parte la sensibilidad retiniana decide de la potencia de la agudeza visual. La iluminación general aumenta esta agudeza, siempre y cuando no pase de un grado determinado; por el contrario, la agudeza visual disminuye en presencia de una superficie iluminada por una luz blanca excesivamente

intensa. La limpieza de la imagen retiniana y su intensidad luminosa dependen de la transparencia de los medios del ojo y de la naturaleza del objeto. En fin, para apreciar bien la agudeza visual, el ojo debe estar adaptado al medio en el que se le examina; al pasar de un espacio muy iluminado á otro algo obscuro, la agudeza disminuye durante algunos instantes.

Es, pues, necesario, cuando se estudia la agudeza visual de un sujeto, que tengamos una iluminación uniforme, objetos siempre igualmente luminosos, esperar á que el ojo se haya habituado á la iluminación ambiente, etc., etc.

La agudeza visual se mide teóricamente:

1.º Por el ángulo menor bajo el cual un objeto de tamaño determinado y constante puede ser distinguido de objetos de igual tamaño colocados á su lado;

2.º Por la determinación de la imagen menor cuya forma puede percibir el ojo, con la condición de que no se trate de un punto ni de una línea (Landolt);

3.º Por el ángulo mínimo bajo el cual el intervalo que separa los objetos es apreciable. Este ángulo es el *minimum visibile separabile* de Giraud-Teulon.

Ángulo visual es el ángulo bajo el cual vemos los objetos; está formado por dos rectas que, partiendo de los extremos del objeto, se cruzan en el punto nodal del ojo.

El ángulo $A K B$ es el ángulo visual de $A B$; es igual como opuesto por el vértice á $a K b$ que es el ángulo retiniano (fig. 22).

El ángulo visual goza de las propiedades siguientes: 1.º, para un objeto de tamaño constante está en razón inversa de la distancia del objeto al ojo; 2.º, para una distancia constante está en razón directa del tamaño del objeto.

Para ser absolutamente rigurosos tendríamos que medir el ángulo mismo; pero en la práctica, es suficiente medir su cuerda.

La agudeza visual está, pues, determinada por el objeto más pequeño que el ojo puede distinguir de otros objetos del mismo tamaño, á una distancia determinada, estando los objetos separados por distancias iguales á ellos mismos.

La agudeza normal permite ver limpiamente un objeto de $\frac{1}{10}$ de milímetro, colocado á 23 centímetros, que

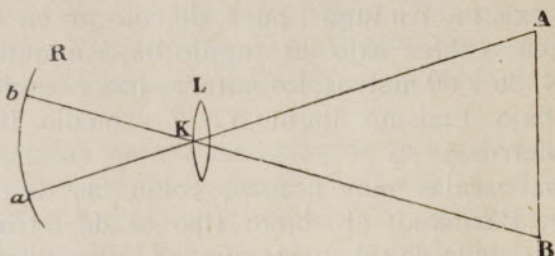


Fig. 22

produzca una imagen retiniana de 0,0043 correspondientes con poca diferencia á la base de un cono ó de un bastoncillo. Si un ojo ve á un pie $\frac{1}{10}$ de milímetro, á dos pies verá tan sólo objetos dos veces mayores; y un ojo que á un pie vea tan sólo objetos de $\frac{2}{10}$ de milímetro, tendrá una agudeza dos veces menor. Cuanto más sea necesario agrandar el objeto, siendo la distancia invariable, tanto más débil será la agudeza visual.

Es sobre este sistema tan sencillo que se basan las distintas escalas métricas de la agudeza visual.

La distancia de un pie podría tomarse como unidad para medir la agudeza visual, pero el examen de la agudeza hecho de este modo no revelaría los vicios de refracción. Un miope de dos dioptrías tendría una agudeza visual perfecta á esta distancia; un hipermetrope nada distinguiría. Para obtener en la práctica, al mismo tiempo que la agudeza visual, el estado de la refracción, es indispensable colocarse á cierta distancia. Se ha escogido la de 5 metros, ya que se admite que los objetos colocados á tal distancia emiten rayos paralelos. Basta colocar delante del ojo el cristal que le dé la mejor visión, para apreciar á la vez la finura de ésta y el valor en dioptrías de la lente que le da el máximo de agudeza visual.

La escala métrica tipo es la de Snellen; tiene por base

un objeto que, visto á 6 metros, aparece bajo un ángulo de 5 minutos. Esta distancia de 6 metros ha sido reemplazada por la de 5, más cómoda en la práctica y suficientemente exacta. En lugar, pues, de colocar en las escalas objetos visibles bajo un ángulo de 5 minutos á 6, 9, 12, 18, 24, 36 y 60 metros, los autores han escogido letras visibles bajo el mismo ángulo á 5, 7 y medio, 10, 20, 30, 40 y 50 metros.

En las escalas más usadas, como las de Wecker, Monoyer, Parinaud, el objeto tipo es de letra, F por ejemplo, trazada de tal suerte que las líneas visuales que parten de sus extremos subtiendan un ángulo de 5 minutos, mientras que cada palo de la letra representa en latitud $\frac{1}{5}$ de la altura total; cada palo ascendente ú horizontal, subtiende, por consiguiente, un ángulo de un minuto, y presenta á 5 metros iguales dimensiones que $\frac{1}{10}$ de milímetro vista á un pie, ya que $\frac{1}{10}$ de milímetro á un pie subtiende un ángulo de un minuto.

Por lo tanto, un objeto que subtienda un ángulo de un minuto, colocado á un pie ó á 5 metros, tendrá en el primer caso $\frac{1}{10}$ de milímetro, y 1 milímetro y medio en el segundo, siendo, pues, tanto el uno como el otro el objeto tipo, tomado como á punto de partida convencional para la medición de la agudeza visual.

Los distintos palos de las letras más pequeñas de las escalas visuales tienen exactamente esta dimensión de 1 milímetro y medio; la totalidad de la letra tiene una extensión de 7 milímetros y medio, correspondiente á un ángulo de 5 minutos, y sus distintos palos constitutivos están separados por un intervalo de 1 milímetro y medio, correspondiendo á un ángulo de 1 minuto. La letra C se distingue de la O, por ejemplo, por la interrupción de su circunferencia; este intervalo mide $\frac{1}{5}$ de la altura total de la letra y subtiende un ángulo de un minuto; el individuo que á 5 metros diferencie estas dos letras, verá evi-

dentemente objetos suficientemente pequeños para que subtiendan este ángulo mínimo.

Para los analfabetos, Snellen y Pflüger han construido, siguiendo las mismas bases que para las letras, cuadrados incompletos; el sujeto examinado debe indicar de qué lado está abierta la figura, qué lado del cuadrado es el que falta.

1.º Escalas para la medición de la agudeza visual.— Hemos convenido que cuando una letra en su conjunto subtiende un ángulo de 5 minutos, y cualquiera de sus partes un ángulo de un minuto, es vista limpiamente á 5 metros, la agudeza visual igual á 1 es normal; si á 5 me-

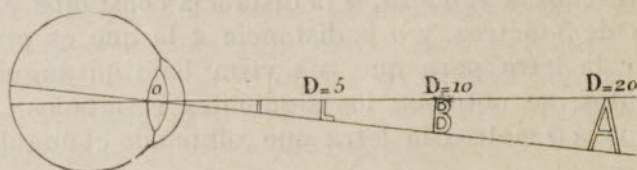


Fig. 23.

tros el ojo sólo puede ver letras correspondientes á ángulos de 10 minutos, 15 minutos ó 20 minutos, la agudeza visual es $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{4}$.

Se han colocado de este modo, sobre un cuadro, letras cuyas dimensiones han sido calculadas según estas diferencias angulares, y que llevan cada una un número proporcional. Coloquemos primeramente sobre un cartón una letra vista á 5 metros bajo ángulos de 5,55, 6,25, 7,13, 8,33 y 10 minutos..., con lo que tendremos letras expresivas de las dimensiones de unidad $\frac{9}{10}$ $\frac{8}{10}$ $\frac{7}{10}$ $\frac{6}{10}$ $\frac{5}{10}$..., y sabiendo qué letra es la que el sujeto distingue, tendremos, en décimas, el valor de su agudeza visual.

En las escalas que tienen por base el ángulo de 5 minutos para la totalidad de la letra y para 5 metros de distancia, las dimensiones de las letras aumentan en igual proporción que la distancia á que debe colocarse el sujeto para que continúe viéndolas bajo un ángulo de 5 minutos. Así la letra que exprese la agudeza $\frac{5}{10}$ se presenta á

5 metros bajo un ángulo de 10 minutos, y á 10 metros bajo un ángulo de 5 minutos.

Supongamos que la letra L de la figura, colocada á 5 metros, sea visible bajo un ángulo de 5 minutos; los triángulos limitados en su base por los palos de las letras L y A dan la siguiente proporción:

$\frac{OL}{OA} = \frac{A}{L}$, ó sea $\frac{5 \text{ m.}}{OA} = \frac{5}{A}$, de donde se desprende que las dimensiones de A estarán expresadas por las mismas cifras que la distancia OA.

De igual modo, aplicando la fórmula $V = \frac{d}{n}$ en la que V representa la agudeza, d la distancia constante y convenida de 5 metros, y n la distancia á la que es preciso colocar la letra para que sea vista bajo un ángulo de 5 minutos, se obtienen los siguientes resultados: si el sujeto ve á 5 metros la letra que subtiende el ángulo de 5 minutos, tenemos $V = \frac{5}{5} = 1$; si ve solamente la letra que á 5 metros subtiende un ángulo de 10 minutos ó sea á 10 metros un ángulo de 5, tenemos $V = \frac{5}{10} = \frac{1}{2}$.

De este modo, se gradúan empíricamente las escalas de agudeza visual colocando al lado de la letra la cifra que expresa la distancia á la cual esta letra aparece bajo un ángulo de 5 minutos. En la ecuación $V = \frac{d}{n}$, n será igual á esta distancia, siendo d 5 metros, con lo cual será fácil hallar la agudeza visual buscada.

Las escalas de Wecker, Perrin, Parinaud, etc., están construídas siguiendo esta regla general.

Esta medida de la agudeza visual, por otra parte muy suficiente en la práctica, es del todo convencional. Javal ha observado, con razón, que se tenía tan sólo en cuenta la diferencia de las imágenes en altura y no en superficie, mientras que lo que importa sobre todo es la superficie impresionadora de la retina; de aquí que Javal y Green hayan construído escalas en las que se tiene en cuenta el cuadrado de las superficies, y que se elevan en progresión geométrica. Estas escalas son ciertamente más exactas,

pero en la medición de la agudeza visual es inútil, en la práctica, buscar su cifra matemática. Basta adaptar el mismo principio y referir á éste todas las evoluciones. Es fácil darse cuenta exacta del aumento ó de la disminución de la función si, para apreciarla, nos valemos siempre de las mismas reglas.

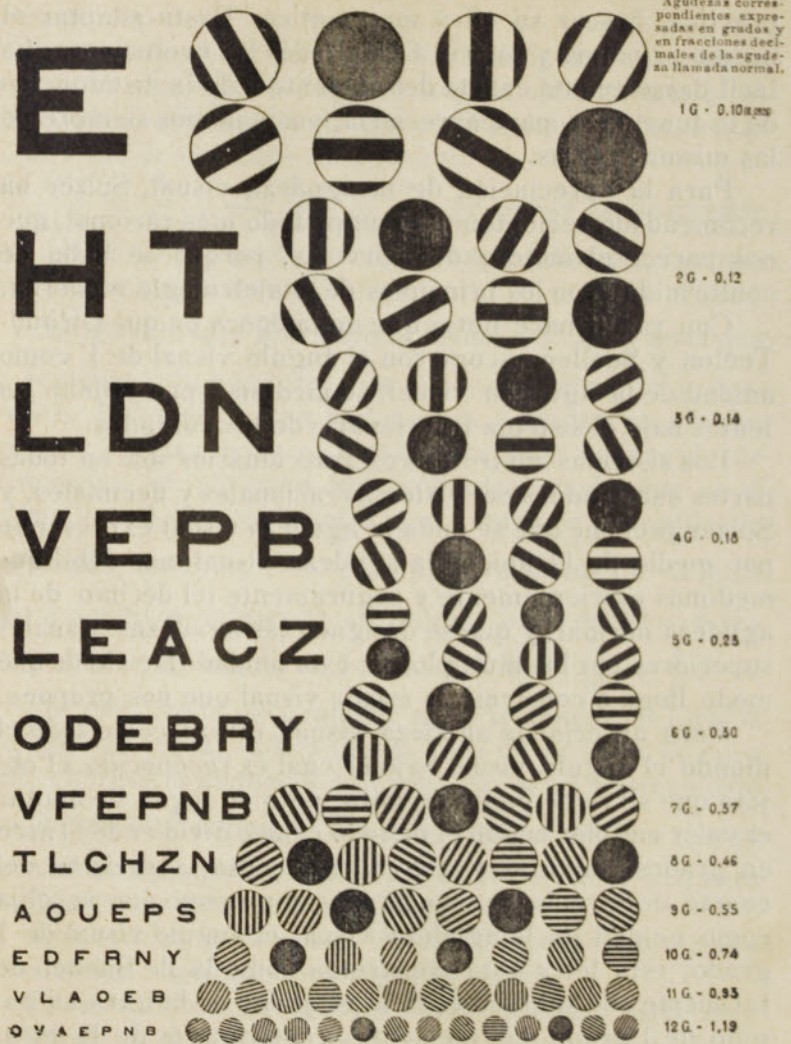
Para la apreciación de la agudeza visual, Sulzer ha recomendado recientemente un método más racional, que nos parece el método del porvenir, porque se halla de conformidad con los principios de la metrología moderna.

Con razón hace notar que en la época en que Giraud-Teulon y Snellen escogieron el ángulo visual de 1' como unidad de la agudeza visual, se medían y prescribían los lentes bajo el sistema fraccionario de las pulgadas.

Los sistemas metrológicos fraccionarios son en todas partes substituidos por sistemas racionales y decimales, y Sulzer propone que se mida la agudeza visual expresando por medio de la unidad la agudeza visual más débil que medimos corrientemente y seguramente (el décimo de la agudeza normal) y que se designen las agudezas visuales superiores por los múltiplos de esta unidad. He ahí de qué modo llega á construir la escala visual que nos propone.

Para apreciar la agudeza visual, utiliza como todo el mundo el ángulo visual bajo el cual es reconocido el objeto que sirve de punto de mira; pero en lugar de anotar el valor angular según el método caldeo dividiendo el arco en grados, minutos y segundos, acepta la división del cuarto de círculo en cien grados; y propone que se elija como unidad de la agudeza visual el ángulo visual de 1 grado; esta letra está construída como la de Snellen de tal suerte que subtendiendo la totalidad de la letra un ángulo de 1 grado, los elementos constitutivos de la letra, los palos en su espesor subtiendan un ángulo de 0,2 ó 20 centígrados, la quinta parte del grado.

Así es como Sulzer ha construído la escala que aquí reproducimos; los valores de las agudezas visuales que corresponden á los diferentes escalones de esta escala se expresan por la denominación 1 grado, 2 grados, 3 grados..., 11 grados, 12 grados.



Escala mural del Doctor Sulzer. Grados de agudeza visual. Distancia: 5^m.

Fig. 24.

La nueva unidad propuesta por Sulzer, el *grado*, equivale á 54 minutos; en el sistema actual, la letra que subtiende el ángulo de 5 minutos representa la agudeza 1

y la que subtiende el ángulo de 50 minutos, ángulo 10 veces mayor, representa la agudeza de $\frac{1}{10}$; puesto que el grado vale 54 minutos, representa, pues, aproximadamente $\frac{1}{10}$ de la agudeza normal; el sujeto que, según el método de Sulzer, tendría 1, 2, 3, 4, 5, etc. grados de agudeza, tendría aproximadamente 1, 2, 3, 4, 5 décimas de agudeza; 10 grados de agudeza corresponden exactamente á 0,0926 de la agudeza según Giraud-Teulon; 12 grados corresponden á 1,111 de esta última agudeza. Como la agudeza 1, tal como la calculamos, es ciertamente inferior á la normal, puede considerarse que la cifra de 12 grados represente la agudeza ordinaria de un sujeto sano.

2.º Modo de determinación de la agudeza visual.—Ante todo, al colocar al enfermo frente la escala, es necesario corregir su ametropia, si existe, con una lente de las contenidas en las cajas de ensayo, lente esférica ó cilíndrica, según los casos.

Una prueba preliminar excelente consiste en hacer mirar al enfermo á través de un agujero de alfiler. La pequeñez de esta abertura suprime la ametropia al aniquilar la importancia de la curvatura de la córnea y del cristalino. Esta prueba demuestra si los medios dióptricos son ó no transparentes y permite ya adivinar aproximadamente la agudeza visual. El agujero estenopeico permite ver mejor á los ametropes sin cristal corrector; pero, lejos de aumentarla, disminuye considerablemente la agudeza visual y he aquí por qué:

El agujero estenopeico debe colocarse á 30 milímetros aproximadamente de la retina, á 15 del punto nodal, de igual modo que los vidrios correctores en general; de este modo podemos considerar el agujero estenopeico como el vértice común del cono que abraza el objeto exterior, y el del que desarrolla su imagen en la retina. Pero este cono tiene 30 milímetros aproximadamente en lugar de los 15 que tendría en la visión ordinaria, partiendo del punto nodal del ojo. Siendo el cono así formado de doble longitud, la imagen retiniana es aproximadamente dos veces mayor que si el mismo objeto fuese visto por el ojo

por sí solo. Parece, pues, que la retina debiera distinguir por este agujero de alfiler, los objetos dos veces menores que el objeto límite ($\frac{1}{10}$ de milímetro á un pie). Pero no sucede así, antes al contrario, la experiencia demuestra que la visión en estas condiciones es tan sólo $= \frac{1}{1,5} = \frac{2}{3}$.

Este fenómeno se explica por las condiciones de iluminación. El agujero estenoico tiene un milímetro de diámetro, la pupila tiene 3 por término medio y la cantidad de luz que penetra en el ojo, estando en razón directa del cuadrado de la abertura, resulta que es nueve veces menor por el agujero de alfiler que por la pupila normal. La imagen, vista á través del agujero estenoico, es, pues, dos veces mayor, pero está nueve veces menos iluminada, por lo cual es, finalmente, mucho menos sensible al ojo (Giraud-Teulon. *La Visión*, pág. 147).

Esta consideración demuestra que el agujero estenoico, muy útil para señalarnos la existencia de un vicio de refracción, no permite apreciar la agudeza visual normal, y que es necesario, antes de determinarla, recurrir á las lentes correctoras, si el sujeto es ametrope.

La agudeza visual varía según la iluminación, la edad, las dimensiones de la pupila, el estado dióptrico del ojo, las lentes utilizadas y, finalmente, con las lesiones patológicas, de las cuales puede el ojo estar afecto.

La agudeza visual crece en razón directa de la intensidad de la iluminación hasta cierto grado, disminuyendo si la luz es demasiado intensa. Es necesario tomar como á término medio la iluminación de una habitación clara que reciba indirectamente los rayos solares.

Hay que insistir igualmente sobre las relaciones entre la agudeza visual y la refracción.

El vidrio corrector que exprese la igualdad de las imágenes retinianas da por resultado que el miope adquiriera una agudeza aparente más pequeña que su agudeza verdadera, y el hipermetrope una agudeza aparente superior á la agudeza verdadera. Berdier, en su tesis sobre la agudeza visual (Th. Burdeos, 1894) y en un trabajo

publicado en los *Archives d'ophtalmologie* (1894) sobre la agudeza visual de los ojos ametropes, ha dado una excelente demostración de esta proposición.

De este estudio sumamente preciso resulta que, con el vidrio corrector, un miope de 10 dioptrías posee una agudeza visual que es los $\frac{83}{100}$ de su agudeza verdadera y un miope de 20 D. una agudeza que es los $\frac{66}{100}$ de su verdadera potencia visual.

En la hipermetropía, por el contrario, el vidrio corrector da una agudeza aparente superior á la agudeza verdadera, de tal suerte que con una lente de 10 dioptrías, la agudeza visual aparente de la hipermetropía axil corregida equivale á 1,22, estando la agudeza verdadera expresada por 1.

Esta diferencia tan grande entre las agudezas aparentes y reales de las ametropías axiales es todavía mayor cuando se trata de ametropías de curvatura.

3.º Disminución de la agudeza visual con la edad.—

La edad del sujeto no es indiferente; la agudeza visual del adolescente es mayor que la unidad, la de los viejos disminuye en proporción notable, aun sin lesiones del fondo del ojo. Monoyer ha hallado, tomando como á tipo el ángulo de un minuto, á los 10, 20, 30, 40, 50 años, que la agudeza visual normal es sucesivamente igual, á 1,18 1,15 1,03, 0,94, etc., y ha resumido sus experiencias en la fórmula $V = 1,19 \times 0,0001 x^2$, siendo x la edad del individuo.

Por lo expuesto, vemos que la agudeza visual sólo á cierta edad es inferior á la normal; á treinta y tres años, es aún superior, en la inmensa mayoría de los casos. Las escalas tomadas como á tipo, no son, pues, rigurosamente exactas, las letras son demasiado grandes, y para poderlas ver á la distancia reglamentaria, no es necesario poseer una agudeza visual normal.

Esta consideración es de tal naturaleza que justifica las reformas que actualmente se han propuesto, sobre todo por Sulzer, en el estudio y en la apreciación de la agudeza visual.

§ 5. — DETERMINACIÓN DE LA REFRACCIÓN ESTÁTICA,
NUMERACIÓN DE LAS LENTES DE ENSAYO

En los párrafos siguientes hablaremos tan sólo de la miopía y de la hipermetropía; el estudio de la astigmatía, formará un capítulo especial.

Para la determinación de las anomalías de la refracción no debemos olvidar nunca los dos principios siguientes: 1.º, la refracción y la acomodación son dos cosas absolutamente distintas; 2.º, la agudeza visual debe de ser determinada al mismo tiempo que la refracción.

«La refracción ocular propiamente dicha, es la refracción del ojo en estado de reposo); es una propiedad del aparato dióptrico, dependiente de la constitución misma de este aparato, pero independiente de toda acción muscular; por consiguiente independiente de la acomodación. La acomodación del ojo se basa, por el contrario, en las variaciones de la refracción, determinadas por una acción muscular voluntaria» (Donders).

Estos estados distintos, refracción y acomodación, pueden estudiarse separadamente, provocando, á beneficio de los midriáticos, una relajación completa del músculo ciliar. Pero en la práctica es preferible medir la agudeza visual, conservando á la acomodación su poder ordinario; los resultados que se obtienen son suficientemente precisos, si sabemos interpretarlos razonablemente.

Aquí debemos abrir un paréntesis para estudiar los cristales de ensayo.

Cristales de ensayo.—El antiguo sistema de la numeración de las lentes, se apoyaba sobre la longitud, en pulgadas, del radio de curvatura; una lente del número 36 ó del 25 tenían respectivamente 36 ó 25 pulgadas de longitud focal.

Este sistema, hoy completamente abandonado, presentaba muchos inconvenientes. Así se admitía que el número de la lente indicaba á la vez su valor refringente y su radio de curvatura, y para ello se suponía que el índice de refracción del cristal era de 1,50 y no, como en realidad es, de 1,543. Además, la unidad era la lente de

una pulgada de foco, lente demasiado fuerte é inútil en la práctica. Finalmente, la pulgada no era una medida uniforme, sino una longitud arbitraria, variable en cada país: la pulgada de París valía $27^{\text{mm}},07$; la pulgada inglesa $25^{\text{mm}},4$; la pulgada prusiana, $26^{\text{mm}},15$.

Para remediar estos inconvenientes, Javal propuso en 1867, en el Congreso de Oftalmología, numerar las lentes según su distancia focal, pero medida en metros y no en pulgadas. En el mismo Congreso, Nagel propuso el metro como medida no ya del radio de curvatura, sino del poder refringente. Esta proposición fué adoptada en 1875, á instancias de Donders, en el Congreso de Bruselas: entonces quedaron establecidos los principios de la nueva numeración de las lentes, expuestos por Nagel del siguiente modo:

1.º Numeración de las lentes según su fuerza refringente.

2.º Elección de una unidad, suficientemente débil, para que los números de las lentes usuales sean números enteros y no fracciones de unidad.

3.º Substitución de la pulgada por el metro en la evaluación de las distancias focales.

4.º Progresión creciente y regular de los intervalos entre los diferentes números.

La unidad del nuevo sistema es una lente de un metro de distancia focal; Monoyer le ha dado el nombre de dioptria. Su fuerza refringente está representada por $\frac{1}{1}$. Las lentes de 2, 3 dioptrias, tienen una refringencia 2, 3 veces más grande, una distancia focal 2, 3 veces más pequeña; su valor se expresa por $\frac{1}{0,50} = 2$; $\frac{1}{0,30} = 3$.

En la práctica necesitamos á menudo lentes más débiles que una dioptria, así pues, se han admitido fracciones de la dioptria; tres cuartos de dioptria (0,75), media dioptria (0,50). Se han, además, intercalado cuartos de dioptria entre los números más débiles de la serie hasta 2 D 5, y medias dioptrias desde 2,25 á 6.

La diferencia entre los valores de los cristales se calcula por una simple substracción.

Siendo la distancia focal de las lentes inversa á su poder refringente, la distancia focal de una lente de 4 D, por ejemplo, será igual á $\frac{1^m}{4} = 0,25$.

Del mismo modo, conociendo la distancia focal, obtendremos su poder refringente, el número de la lente, dividiendo 100 centímetros por la distancia focal; si ésta es de 40 centímetros, por ejemplo, la lente $\frac{100}{40} = 2$ D, 5.

Frecuentemente necesitamos, en la práctica, convertir el valor de lentes numeradas según el antiguo sistema, en el de las numeradas según el nuevo, y viceversa; esta conversión es fácil.

El metro tiene 36 pulgadas. Una lente de 1 dioptria corresponderá, por consiguiente, al número 36 del antiguo sistema; de 2 dioptrias á 18 pulgadas = 0,50 de distancia focal; 3 dioptrias, foco á 33 centímetros ó 12 pulgadas al antiguo número 12. Por lo tanto 1 dioptria = $\frac{36}{1} = 36$; 2 dioptrias = $\frac{36}{2} = 18$; 3 dioptrias = $\frac{36}{3} = 12$.

Es necesario, por lo tanto, dividir 36 por el número de dioptrias para obtener el valor en pulgadas. Inversamente si conocemos el valor en pulgadas es necesario dividir 36 por este número para obtener su valor en dioptrias: una lente de 9 pulgadas valdrá 4 dioptrias.

Suponemos en lo expuesto que el índice de refracción es igual á 1,5; que el radio de curvatura iguala la distancia focal: estos cálculos son, en realidad, erróneos, por ser el índice de refracción del cristal 1,534; pero este error es despreciable y no nos impide dar á un ametropo el mejor cristal corrector.

A menudo deseamos conocer el valor dióptrico de un cristal esférico indeterminado. Para una aproximación relativa, se busca en la caja de cristales de ensayo, el cristal que neutraliza, aquel cuyo valor refringente buscamos. Sea una lente cóncava, cuyo valor aproximadamente apreciaremos por el tacto, le superpondremos un cristal convexo correspondiente y miraremos un objeto lejano cualquiera, la lente positiva colocada de este modo contra la negativa que neutraliza nos da la distancia focal

de este último. Este examen se basa sobre la teoría del transporte paraláctico por el prisma:

Cuando miramos á través del centro mismo de un cristal esférico un objeto cualquiera, la imagen de este objeto nos indica su situación exacta; pero si transportamos el cristal hacia la derecha, hacia la izquierda, arriba ó abajo, la imagen del objeto se transporta en el mismo sentido en las lentes cóncavas, en sentido inverso en las convexas.

Por consiguiente, si examinamos un cristal cóncavo y colocamos delante de él un cristal convexo, la neutralización del primero por el segundo no será completa mientras el transporte de la imagen sea en el mismo sentido; el cristal positivo será excesivamente fuerte cuando la imagen se mueva en sentido contrario; después de algunos tanteos encontraremos el cristal que neutraliza exactamente aquel cuyo valor buscamos, no habrá entonces transporte de la imagen á pesar del transporte de las dos lentes superpuestas.

Para evitar estos tanteos y obtener más rápidamente un resultado exacto, Badal imaginó su phakómetro ó focómetro. Este instrumento se compone de dos tubos, que se deslizan el uno dentro del otro á frotamiento suave. El primero lleva una lente biconvexa de 10 dioptrías, distante 10 centímetros de su

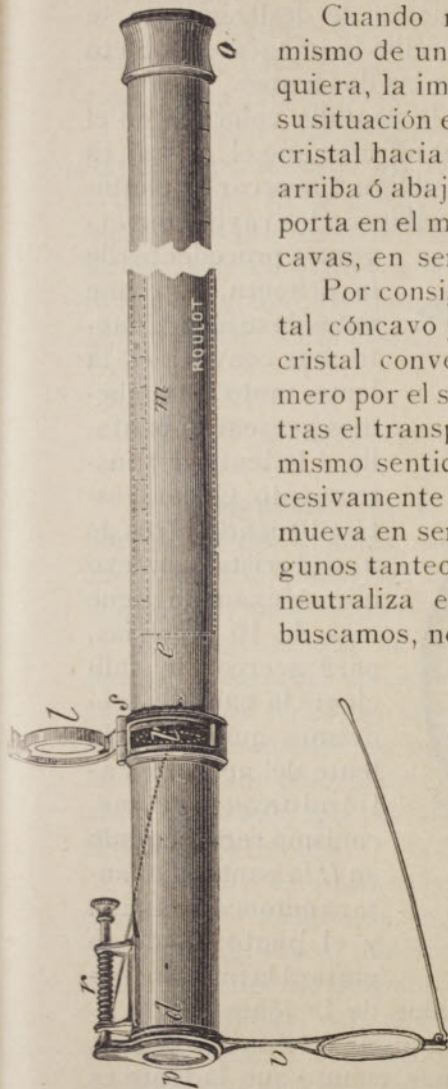


Fig. 25.—Focómetro del profesor Badal.

extremidad hay un mecanismo ó resorte que sirve para fijar la lente que se quiere examinar, situada, por lo

tanto, en el foco de la lente del instrumento. El segundo tubo está provisto, en su extremo interno, de una pantalla, la cual, gracias al movimiento de deslizamiento se acerca ó se aleja de la lente y recibe la imagen del objeto exterior cuyos rayos atraviesan las dos lentes.

Si esta imagen se pinta en la pantalla colocada en el foco, á 10 centímetros, podemos afirmar que el cristal es neutro. Un cristal convexo nos obliga á acercar la pantalla de la lente l' , ya que ésta, recibiendo los rayos conver-

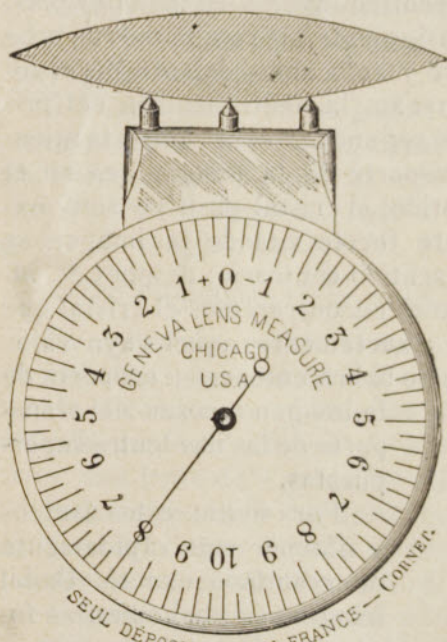


Fig. 26.—Medidor de lentes.

pia nos indicará el foco y el valor de la lente.

Para los vidrios cóncavos, en lugar de acercar la pantalla debemos alejarla, tanto más cuanto que la lente es más cóncava. Pero la pantalla no puede recibir la imagen más que si el cristal tiene menos de 10 dioptrías; para un cristal más divergente, debemos yuxtaponerle en el resorte una lente positiva de 10 dioptrías, la cual aniquilará 10 dioptrías negativas; si después hallamos aún

gentes procedentes de la primera, los reúne antes de su foco. Cuanto más convexa es la lente, tanto más debemos acercar la pantalla á la lente del instrumento. Como l' está á 10 centímetros de p , si el cristal convexo que se examina tiene más de 10 dioptrías, para acercar lo suficiente la pantalla tendremos que quitar la lente del aparato valiéndonos del mecanismo representado en l ; la pantalla avanzará entonces más aún y el punto donde se pintará la imagen lim-

dos dioptrías negativas, sabremos que hay que añadirle diez.

En el segundo tubo está marcada la longitud que ha penetrado para enfocar; la longitud focal de la lente examinada está expresada en dioptrías.

En la práctica recomendamos el uso del medidor de lentes representado en la figura 26. Basta colocar el cristal sobre la parte superior del instrumento; una aguja indica el valor positivo ó negativo de la lente. Una disposición fácil de comprender, con sólo mirar el aparato, indica también rápidamente la dirección del eje y el grado de una lente cilíndrica.

§ 6.— APLICACIÓN DE LOS CRISTALES DE ENSAYO

1.º Diagnóstico de la hipermetropía y de la miopía por medio del examen subjetivo.—Un sujeto emетроpe, cuya agudeza visual sea normal, ve las últimas letras de la escala á cinco metros.

Supongamos que la agudeza visual del enfermo nos sea conocida; que, en ciertos casos, á ciertas distancias y para ciertos trabajos, su visión sea muy buena. Se tratará evidentemente de un vicio de refracción que podremos remediar colocando delante de sus ojos lentes cóncavas ó convexas, que aumentarán ó disminuirán el poder refringente del ojo.

Sentado el enfermo á cinco metros de la escala suficientemente iluminada, le cubrimos un ojo, el izquierdo, por ejemplo, con ayuda de un cristal opaco y procedemos al examen del ojo derecho.

Comenzamos con una lente convexa de una dioptría. Puede suceder que la visión se enturbie ó quede normal; supongamos que continúa leyendo todas las letras de la escala: concluiremos que tiene hipermetropía, un déficit de refracción; con una lente convexa de una dioptría, el enfermo disminuye su esfuerzo de acomodación y la visión queda la misma.

Esto no puede suceder más que en la hipermetropía;

el emетроpe no soportaría tal lente, que lo colocaría en iguales condiciones que un ojo anormal acomodado á un metro: vería entonces los objetos situados á un metro de distancia, pero los que distan cinco metros formarían sobre la retina círculos de difusión.

Siguiendo nuestro ejemplo, supongamos que el ojo de nuestro sujeto conserva su agudeza visual con una lente convexa de 1 D; ensayaremos sucesivamente los de 1,50 D, 2 D, 2,50 D, 3 D, hasta que la agudeza disminuya; la lente *más fuerte*, que deja al enfermo su agudeza mayor, mide exactamente su hipermetropía.

Para que el examen dé este resultado exacto, es de absoluta necesidad que la acomodación esté relajada. Pero en el hipermetrope no sucede siempre así; muy á menudo los esfuerzos de acomodación producen una contractura del músculo que no permite relajar la acomodación. En este caso, con el cristal corrector obtendremos tan sólo el valor de la hipermetropía manifiesta y no el de la total, porque queda una parte en estado latente.

Puede hasta suceder que la contractura sea de tal naturaleza que el hipermetrope no soporte los cristales convexos. Si la ametropía, por ejemplo, es de 4 dioptrías, y el paciente, joven, está afecto de una contractura del ciliar y acomoda de 5 dioptrías, tendrá su remotum á un metro, y será por consiguiente, un falso miope, á quien las lentes convexas disminuirán la visión, mientras que un cristal cóncavo apropiado se la aumentará.

Es, pues, importante recordar lo siguiente: cuando un vicio de refracción se mejora por una lente cóncava, débil, y se agrava por una convexa ó cóncava de mediana fuerza, hay que pensar en la contractura de la acomodación y tratar de descubrirla.

Si el individuo es joven, si mejora su visión con una lente cóncava de 1 ó 2 dioptrías y no puede ver bien con un cristal cóncavo más fuerte, se tratará evidentemente de un hipermetrope con contractura; ya que un miope joven, de 2, 3 dioptrías podrá, si dispone de toda su acomodación, compensar el déficit producido en ella por una lente mucho más fuerte que su miopía.

Buscaremos entonces los síntomas que comúnmente acompañan á la contractura: miosis, neuralgias frontales más ó menos intensas; inyección periquerática. Pero estos síntomas pueden faltar ó ser poco aparentes, y en tal caso, el mejor medio para hacer cesar el espasmo, relajar la acomodación y medir por el método de Donders la hipermetropía total, consiste en paralizar completamente el músculo ciliar por medio de los midriásicos, agentes que suprimen el poder de acomodación: atropina, hematrofina, scopolamina, etc.

Bajo la influencia de la atropina, la pupila empieza á dilatarse á los veinte minutos aproximadamente; la midriasis llega al máximo en veinticuatro horas, quedando en tal estado más de un día, y desaparece lenta y gradualmente, no recobrando la pupila su diámetro y movilidad normales hasta pasadas una ó dos semanas.

Según Donders, la parálisis de la acomodación comienza á manifestarse algunos minutos después que se nota la acción de la atropina sobre la pupila, pero el efecto máximo sobre el músculo ciliar, la parálisis total, tarda más en presentarse; son necesarias dos horas próximamente para suprimir completamente la acomodación en los casos comunes, y no es extraordinario encontrar individuos en los cuales el midriásico debe ser instilado varios días y aun varias semanas consecutivas.

La duración de su efecto sobre el músculo ciliar es aproximadamente de veinticuatro horas, pero la midriasis dura mucho más tiempo. No hay parálisis de la acomodación siempre que la pupila está dilatada; para lograrla, debemos instilar el colirio varias veces antes del examen.

Pero este procedimiento tiene, en la práctica, multitud de inconvenientes; primeramente la parálisis del músculo dura varios días, con grande incomodidad de los enfermos; además, cuando el sujeto pasa de cuarenta años, la instilación de atropina puede ser* peligrosa, provocando un aumento de la tensión intraocular hasta producir el glaucoma agudo.

Por este motivo se recurre más frecuentemente á los procedimientos objetivos, de los que trataremos más ade-

lante, que permiten, sin la ayuda de los midriáticos, medir exactamente la hipermetropía.

Volvamos á nuestro enfermo y á su ojo derecho. Si el cristal convexo disminuye la visión, lo escogeremos cóncavo, y si el sujeto es emетроpe y posee aún cierta cantidad de acomodación, su agudeza visual no mejora, pero queda al máximo con la lente cóncava débil, porque neutraliza, con la acomodación, la refringencia negativa de la lente. Se puede comprobar este esfuerzo del ciliar: al colocar el cristal, la visión se enturbia; y tan sólo después de mirar con atención las letras de la escala reaparecen limpias aunque un poco achicadas por el cristal cóncavo. Un emетроpe de 30 años podrá compensar 7 D, uno de 45 años 2 de refringencia negativa.

No debemos deducir que el sujeto sea miope aunque vea con un cristal cóncavo porque puede ser emетроpe y acomodar, es decir, neutralizar el efecto del cristal por medio de la acomodación.

Si hemos paralizado previamente la acomodación, una lente cóncava turbará inmediatamente la visión del emетроpe. Pero, en la práctica, es inútil apelar á este medio seguro de diagnóstico, pues es fácil discernir inmediatamente si el sujeto es miope ó no.

La miopía puede ser débil, mediana ó fuerte.

Cuando el enfermo, afecto de miopía débil, mira la escala á 5 metros, no ve la última ó últimas líneas, compuestas de las letras más pequeñas; una lente cóncava le da en seguida mejor visión y le permite la lectura. Aumentando ó disminuyendo la fuerza del cristal primeramente empleado, encontramos el máximo de la agudeza visual, y á su vez el cristal que corrige la miopía total, que muy raramente puede prescribirse, conforme diremos más adelante. Si la miopía es bastante fuerte ó muy elevada, dése un libro al enfermo y hágasele leer; aproximará inmediatamente el libro al ojo hasta 20, 15 ó 10 centímetros de la córnea y así obtendremos aproximadamente la distancia de su remotum. Guiados por este dato, se invita al enfermo á que mire la escala, colocada á 5 metros, con el cristal correspondiente al remotum: de

6 D si lee á 15 centímetros, de 10 D si ha leído á 10 centímetros. El sujeto acusa inmediatamente una notable mejoría de su agudeza visual. Tanteando, buscaremos la lente *más débil* que le permita ver el mayor número de letras y las más pequeñas, y de este modo obtendremos la medida exacta de su agudeza visual después de corregida su refracción.

Sin embargo, es cierto que á pesar de la mejor voluntad posible, muchos miopes, y aun todos los miopes jóvenes, no relajan completamente su acomodación en este examen por el método de Donders. Si deseamos una medición muy precisa usaremos la atropina, que dejará manifiesta tan sólo la refracción estática.

2.º Determinación de la refracción dinámica ó amplitud de acomodación.—Se obtiene buscando la situación del *próximum*, para lo cual acercamos al ojo caracteres de imprenta sumamente pequeños, ó bien grupos de puntos negros sobre fondo claro, ó hilos negros sobre fondo blanco, tendidos en un marco, que se acercan hasta volverse algo indistintos y entonces están en el *punctum próximum*.

Para obtener el poder de acomodación, si el sujeto es emетроpe, basta dividir 1 por la distancia del *próximum*: ejemplo, el *próximum* está á 10 centímetros, el sujeto tiene, por consiguiente, $\frac{1}{0,10} = 10$ dioptrías de amplitud de acomodación.

Si es hipermetrope ó miope, deberemos tener en cuenta su vicio de refracción; un hipermetrope de 3 D, que tenga su *próximum* á 10 centímetros tendrá $10 + 3 = 13$ D de acomodación; un miope de 3 D, cuyo *próximum* sea á 10 centímetros, tendrá tan sólo $10 - 3 = 7$ D de acomodación.

En la práctica, la determinación del *próximum* presenta á veces algunas dificultades. Cuando la agudeza visual es débil, se puede, á pesar de una buena amplitud de acomodación, no ver los pequeños caracteres de imprenta; es necesario servirse entonces de objetos más luminosos y bien coloreados.

En todos los casos, la solución del problema consiste