TEMA V

ACOMODACIÓN Y PRESBICIA

I - Acomodación: Punto próximo

II - Amplitud de acomodación e intervalo de visión nítida

III - Modificaciones del ojo durante la acomodación

IV - El ojo teórico acomodado

V - Tamaño de la imagen retiniana

VI - Pseudoimagen y círculo de desenfoque en el ojo acomodado

VII - Errores acomodativos. El foco oscuro

VIII - Disminución de la amplitud de acomodación con la edad. Presbicia.

IX - Compensación de la presbicia: Compensación de cerca y Adición.

X - Intervalos de visión nítida.

XI - Condición para obtener compensación completa.

XII – Cálculo de la segunda adición

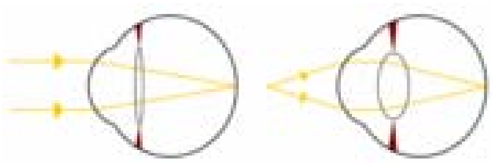

Figura 1.- Ojo emétrope en visión de lejos y ojo emétrope en visión de cerca.

TEMA V

ACOMODACIÓN Y PRESBICIA

I - Acomodación: Punto próximo

En el tema anterior, se ha establecido que ***el ojo emétrope en reposo sólo puede enfocar los objetos situados en el infinito***. Sin embargo, sabemos por experiencia que el ojo es capaz de enfocar objetos situados a diferentes distancias; esto lo consigue mediante un mecanismo llamado *acomodación*.

La acomodación es la capacidad del sistema óptico del ojo para incrementar su potencia, lo cual le permite enfocar a distancias cortas. Sin esa capacidad el ojo sólo vería enfocados los objetos lejanos teniendo una visión próxima borrosa.

Matemáticamente, la acomodación se define y calcula por la expresión:

$$\mathbf{A = R - X} \qquad \textbf{(V.1)}$$

siendo R la proximidad del punto remoto y X la proximidad del punto que se desea enfocar. En el ojo emétrope, puesto que R = 0 la acomodación se obtiene de:

$$\mathbf{A = - X} \qquad \textbf{(V.2)}$$

esto significa que si se desea enfocar a 2metros de distancia, X = -0.5 dioptrias, el ojo deberá acomodar A = +0.5 dioptrías. Para enfocar a 1 metro, X = -1 dioptría, la acomodación es de +1 dioptría. Enfocar a 0.5 metros supone +2dioptrías de acomodación, y así sucesivamente. Nótese que ***la acomodación es siempre una cantidad positiva*** y que se requiere mayor cantidad de acomodación cuanto más cerca queremos enfocar. Como veremos más adelante, ***la acomodación es un esfuerzo*** que tiene que realizar el ojo. Recordemos que el ojo en reposo enfoca al punto remoto.

II - Amplitud de acomodación e intervalo de visión nítida

La capacidad de acomodación del ojo tiene un límite, de modo que la máxima acomodación posible, A_m , nos permite llegar a enfocar hasta un punto P llamado **punto próximo** porque es la distancia más cercana que un ojo puede enfocar. Supongamos que un ojo emétrope puede acomodar como máximo +4 dioptrías, de acuerdo con (V.2) esto significaría que su punto próximo estará a X = P = -4 dioptrías, lo que equivale a x = p = -25 cm. Se llama **amplitud de acomodación** de un ojo, A_m, a la máxima acomodación que ese ojo es capaz de desarrollar. Dicha cantidad de acomodación es la que le permitirá enfocar al punto próximo. Por lo tanto la ecuación (V.1) se convierte en:

$$\mathbf{A_m = R - P} \qquad \mathbf{(V.3)}$$

Para un ojo emétrope la expresión queda:

$$\mathbf{A_m = - P} \qquad \mathbf{(V.4)}$$

Los puntos próximo y remoto del ojo son los extremos del llamado **Intervalo de Visión Nítida** (IVN).

$$\mathbf{IVN = [R \quad P]} \qquad \mathbf{(V.5)}$$

Este intervalo comprende todas aquellas distancias a las que el ojo puede enfocar y puede expresarse tanto en distancias (m ó cm) como en proximidades (dioptrias). Ejemplo, sea un ojo emétrope cuya amplitud de acomodación es Am =5 dioptrías ¿cuál será su IVN? Veamos sus puntos remoto y próximo: por ser emétrope el remoto está en el infinito y su proximidad es 0 dioptrias, $r = \infty$ y R = 0; el punto próximo según (V.4) es $P = -A_m = -5$ dioptrías que equivale a una distancia de 20 cm delante del ojo, p =-20 cm. Así pues el IVN =[R P] = [0   -5] dioptrías, o bien IVN = [infinito   -20] cm.

III - Modificaciones del ojo durante la acomodación

1º) <u>Contracción de la pupila</u>: en visión de cerca la pupila se contrae, esto reduce la necesidad de acomodación al disminuir el tamaño del círculo de desenfoque. Este es el cambio conocido con mayor antigüedad (Scheiner 1619). Si con A=0 consideramos el diámetro de la pupila unidad, con A=1 dp obtendríamos 0'82< d <0'95 y con A=7 dp 0'52< d <0'76 correspondiendo los límites a iluminaciones de 0'5 y 200 lux. Una luz intensa disminuye el efecto al tender la pupila a permanecer cerrada.

2º) <u>Ligero desplazamiento hacia delante del borde pupilar del iris</u>: 0'4 mm con A=7 dp según Helmholtz.

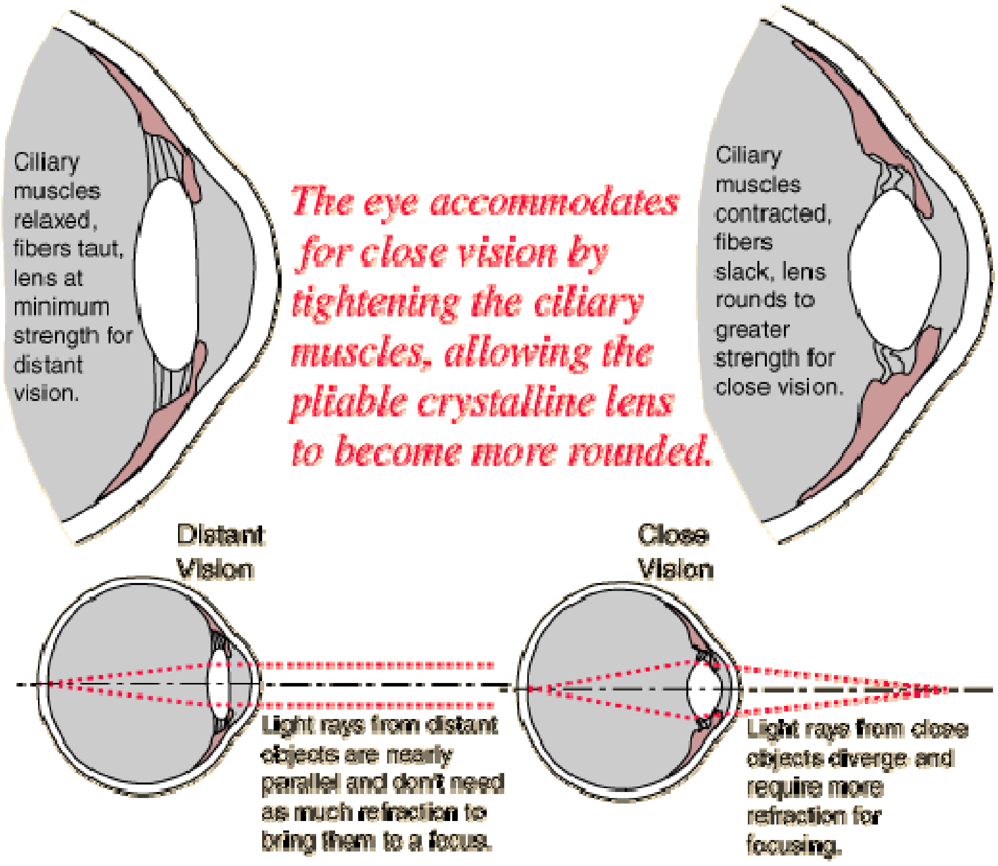

Figura 2.- Modificaciones del cristalino en la acomodación

3º) <u>Desplazamiento hacia delante de la cara anterior del cristalino</u>: Numerosas medidas con la imagen de Purkinje dan una media de 0'5 mm de desplazamiento (entre 0'3 y 1 mm) para acomodaciones entre 7 y 10 dp. Fichman midió la distancia entre la córnea (vértice S) hasta la primera cara del cristalino con la lámpara de hendidura y el microscopio corneal para dos sujetos encontrando la curva de variación de r (mm) con A (dp). El ojo de Legrand toma (como Helmholtz) 0'4 mm de variación para A = 7 dp.

4º) Desplazamiento de la cara posterior del cristalino: Este desplazamiento es muy pequeño. En el ojo teórico de Legrand se admite 0'1 mm de retroceso de dicha cara, de tal modo que el espesor del cristalino del ojo teórico pasa a ser de 4 mm cuando A = 0 a 4'5 mm cuando A = 7 dp.

5º) Disminución del radio de curvatura de la cara anterior del cristalino: Medidas de la imagen de Purkinje muestran que para $7 < A < 10$ dp el valor de r está entre 5 y 7 mm. El ojo teórico de Legrand toma como media el valor de r = 6 mm.

6º) Disminución del radio de curvatura de la cara posterior del cristalino: esta disminución es pequeña. Legrand sigue, una vez más, el valor dado por Helmholtz de r = 5'5 mm.

7º) Aumenta el índice total del cristalino: para una acomodación de A = 7 dp el ojo teórico de Legrand considera n= 1'427.

IV - El ojo teórico acomodado

Con todos los cambios enumerados en el apartado anterior se modificará también el cálculo del ojo teórico variando la posición de los planos principales (p.p.) H y H'. El desplazamiento del plano principal objeto, H, puede considerarse despreciable frente al valor de las distancias objeto (siempre superiores a 10 o 20 cm); sin embargo, el desplazamiento del plano principal imagen, H', será considerable respecto al valor de la distancia imagen (alrededor de 20 mm). Para el ojo teórico de Legrand supondremos un desplazamiento de $(5 \cdot 10^{-5} \cdot A)$ m.

Si no se considera ese desplazamiento, la acomodación, medida desde el p.p. objeto, es:

A = P*(A) – P(0)

sin embargo, el ojo de Legrand tiene P* - P = 7’74 dp para A = 6’96 dp, esta discrepancia entre ambos valores es debida al desplazamiento de H’. En el ojo de Gullstrand acomodado a 10’66 dp se tiene: P* - P = 11’93 dp.

Escribamos las ecuaciones de Gauss para el ojo no acomodado:

$$\frac{n'}{l'} = R_H + P \quad \Rightarrow \quad R_H = \frac{n'}{l'} - P$$

donde l’ es la distancia de H’ a la retina, conjugada del punto remoto R_H. Cuando el ojo acomoda a un punto de proximidad X la ecuación de Gauss será:

$$\frac{n'}{l' - \Delta l'} = X + P^* \quad \Rightarrow \quad X = \frac{n'}{l' - \Delta l'} - P^*$$

la acomodación se puede calcular de las dos expresiones anteriores:

$$A = R_H - X = \frac{n'}{l'} - P - \frac{n'}{l' - \Delta l'} + P^* = P^* - P - \frac{n' \cdot \Delta l'}{l'(l' - \Delta l')}$$

$$A = P^* - P - \left(\frac{n'}{l'}\right)^2 \frac{\Delta l'}{(l' - \Delta l')} \frac{l'}{n'} \qquad \text{haciendo } \frac{l'}{(l' - \Delta l')} \approx 1 \text{ se obtiene:}$$

$$A = (P^* - P) - \frac{\Delta l'}{n'}\left(R_H + P\right)^2$$

Como en el ojo teórico de Legrand se considera que el desplazamiento de H’ es aproximadamente ($5 \cdot 10^{-5} \cdot A$) m, podemos sustituir $\Delta l'/n' = k \cdot A$ siendo $k = 3 \cdot 10^{-5}$

Por lo que queda:

$$A = (P^* - P) - k \cdot A(R_H + P)^2 \quad \text{o bien :}$$

$$P^* \text{-} P = A\left[1 + k(R_H + P)^2\right]$$

En el caso del ojo emétrope R_H =0 , y suponiendo P=60 dp el corchete vale 1’108. Así, por ejemplo, si A=10 dp resulta que (P*-P) = 11’08 dp, vemos que la diferencia no puede considerarse despreciable.

V - Tamaño de la imagen retiniana

Si no se considera el desplazamiento del plano H’ se tiene que el aumento:

$$\frac{y'^*}{y} = \frac{x'}{n'x} \;\Rightarrow\; \text{siendo}\ \frac{x'}{n'} = \frac{l'}{n'} = \frac{1}{P} \;\Rightarrow\; y'^* = \frac{y}{xP} = \frac{u_H}{P}$$

Si se considera el desplazamiento del plano H’:

$$y'^* = \frac{y}{x}\frac{(l' - \Delta l')}{n'} = u_H \frac{l'}{n'} - u_H \frac{\Delta l'}{n'} = \frac{u_H}{P} - u_H \frac{kAn'}{n'} = \frac{u_H}{P}[1 - kAP] = \frac{u_H}{P}[1 + kXP]$$

Considerando k=3·10-5, P=60 dp y X= -10 dp, el corchete vale 0’982. Si u_H permanece constante, la imagen ha disminuido un 2%. Lo cual es poco para una acomodación tan alta.

VI - Pseudoimagen y círculo de desenfoque en el ojo acomodado

No haremos aquí el cálculo exacto de la pseudoimagen con el ojo acomodado ya que se llega a una solución prácticamente idéntica a la del ojo sin acomodación. La η^* es inferior a η sólo en un 1%, lo cual es despreciable.

Helmholtz realizó medidas de la imagen de un punto desenfocado y llegó a la conclusión de considerar que no cambia su tamaño con la acomodación.

La influencia de la acomodación sobre el tamaño de la imagen retiniana de un objeto desenfocado es por tanto despreciable.

VII - Errores acomodativos. El foco oscuro

(Véase diapositivas de clase)

VIII - Disminución de la amplitud de acomodación con la edad. Presbicia.

El valor de la amplitud de acomodación decrece con la edad. Los niños de 10 años pueden tener hasta 14 dioptrías según Donders y 11 dioptrías según Duane. La disminución se produce paulatinamente a lo largo de toda la vida, a los 30 años su valor es de unas 7 dioptrías.

Duane determinó el valor máximo, medio y mínimo de la amplitud de acomodación con 2.000 sujetos. Aunque lo midió desde el foco objeto (Figura 3), se puede trasladar al vértice de la córnea para comparar con Donders.

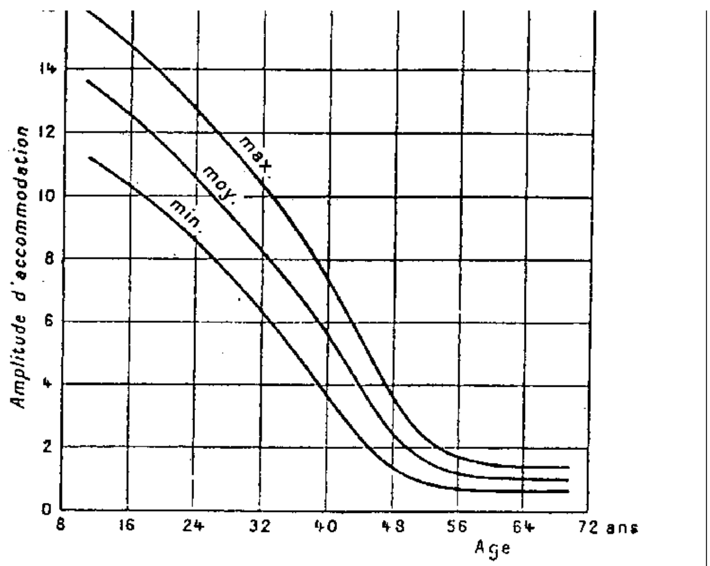

Figura.-3 — Amplitude d'accommodation (origine au foyer), selon Duane

Donders con 123 sujetos encontró la ley empírica que relaciona la Am con el número, N, de años.

$$Am = 12'5 - 0'2\ N$$

En la Tabla I se comparan los valores de Donders con los de Duane.

Gullstrand hizo notar que la medida de la Am depende del diámetro del círculo de difusión máximo tolerado como "imagen nítida" (véase profundidad de foco) y por tanto del diámetro de la pupila de entrada, d_{PE}.

Cuando el valor de la Am de un sujeto ha disminuido hasta un valor tal que no permite enfocar a la distancia normal de trabajo, se dice que el sujeto es présbita. La presbicia comienza cuando el punto próximo está más alejado del ojo que el llamado punto de lectura, L, o distancia de trabajo en visión próxima. El punto normal de trabajo *en visión cómoda* (más adelante se definirá este concepto) se considera a 33cm del ojo en la actualidad, es decir, L= -3 dioptrías, aunque conviene graduar a cada sujeto según sus necesidades interesando conocer cual es su principal ocupación y cuales sus expectativas al ponerse gafas. Según Donders el punto de lectura era – 4'5 dp.

Tabla I. Comparación de los datos de Donders y Duane sobre la variación de la A_m con la edad.

N (años)	Donders: Am(dp)	Duane: Am(dp)
10	14	11
15	12	10’3
20	10	9’5
25	8’5	8’6
30	7’0	7’6
35	5’5	6’5
40	4’5	5’3
45	3’5	3’5
50	2’5	2’1
55	1’75	1’5
60	1’0	1’2
65	0’5	1’1
70	0’25	1’0

IX - Compensación de la presbicia: Compensación de cerca y Adición.

Si el ojo es emétrope el IVN abarcará desde el punto próximo, P, hasta el remoto, en el infinito. Sin embargo, para calcular la lente que necesita un paciente présbita para la visión próxima no contamos con toda la Am del paciente (lo que le obligaría a éste a forzarse al máximo para llegar al punto de lectura) sino con los 2/3 de su Am que es lo que llamaremos Am en visión cómoda (Amvc =2/3 Am).

Cuando comienza la presbicia la lente compensadora, que necesita el ojo para enfocar al punto de lectura, se calcula con la ecuación de Gauss, sabiendo que la lente ha de llevar el punto de lectura, L, al punto próximo P (en visión cómoda). A esta lente le llamaremos indistintamente compensación de cerca o Adición y su potencia será P'_{fc}

$$X' = X + P' \quad \Rightarrow \quad P = L + P'_{fc} \quad \Rightarrow \quad P'_{fc} = P - L$$

(potencia frontal de la lente compensadora de cerca) o Ad. Nótese que P'_{fc} = Ad cuando el ojo es emétrope, así de la ecuación de Gauss se obtiene el valor de la lente de cerca:

Ojo! Recuérdese siempre que P'_{fc} coincide con la Ad sólo si el ojo es emétrope. *Cuando tratemos con ojos amétropes veremos que la lente compensadora de cerca no coincide con el valor de la Adición que necesita el paciente.*

Ejemplo: Un ojo emétrope con Am = 3 dioptrías ¿qué lente necesita para leer a 25 cm?

Amvc = (2/3)·3 = 2 dioptrías y L = -4 dioptrías luego el punto próximo en visión cómoda es P = -Amvc = -2 dioptrías y por lo tanto: $P'_{fc} = P - L = -2 - (-4) = +2$ dp

X - Intervalos de visión nítida.

Cuando el ojo lleva le lente de cerca que hemos calculado en el apartado anterior el IVN es diferente al IVN sin lente. En efecto, al poner una lente, por la ecuación de Gauss, los puntos remoto y próximo del ojo se corresponden con otros dos puntos que denominaremos X_2 y X_1 respectivamente, de tal modo que la lente hace que el intervalo $[X_2 \ \ X_1]$ se corresponda con [R P] a través de la lente. Por lo tanto el nuevo IVN se obtiene de las ecuaciones:

$$\begin{aligned} R &= X_2 + P'_{fc} \quad \Rightarrow \quad X_2 = R - P'_{fc} \\ P &= X_1 + P'_{fc} \quad \Rightarrow \quad X_1 = P - P'_{fc} \end{aligned}$$

Nota: Recuérdese que siempre que realicemos la compensación de cerca estaremos utilizando la Am en visión cómoda por lo tanto el punto próximo (aunque no lo especifiquemos cada vez) también será el P en visión cómoda.

XI - Condición para obtener compensación completa.

Al corregir la presbicia puede ocurrir que entre el IVN del ojo [R P]y el IVN del ojo con la gafa de cerca $[X_2 \ X_1]$, exista una zona de visión borrosa, en ese caso el paciente no quedaría bien compensado y necesitaría una segunda adición. La condición para que no quede una zona borrosa y la compensación con la primera lente sea completa es que:

$$(Am)_{vc} \geq -L/2$$

XII – Cálculo de la segunda adición

(Véase ejercicios de clase)