



FACULTAD DE FARMACIA

DISFUNCIONES VISUALES ASOCIADAS A LA PRESBICIA

M^a DOLORES GAJETE ORTEGA



FACULTAD DE FARMACIA

Trabajo de fin de grado

Grado en óptica y optometría

DISFUNCIONES VISUALES ASOCIADAS A LA PRESBICIA

M^a Dolores Gajete Ortega

Sevilla, 1 de Septiembre 2016

Área óptica/ Departamento de física de la materia condensada

Tutor: José Antonio Fuentes Najas

Revisión bibliográfica

ÍNDICE

1. Resumen.....	3
2. Introducción.....	3
2.1. El cristalino.....	4
2.2. La transparencia del cristalino.....	4
2.3. El cuerpo ciliar.....	5
2.4. Acomodación.....	5
3. Objetivos de la revisión.....	8
4. Metodología.....	8
5. Resultados y discusión.....	10
5.1. Teorías de acomodación.....	11
5.2. Cambios con la edad.....	14
5.3. Teorías presbicia.....	17
5.4. Estudios del mono Rhesus.....	19
5.5. Presbicia en hombres y mujeres.....	23
6. Conclusiones.....	24
7. Bibliografía.....	25

1. RESUMEN

Introducción: La presbicia es consecuencia del envejecimiento de nuestro sistema óptico, el cristalino se endurece y reduce la capacidad de ver con nitidez los objetos cercanos. Además de este endurecimiento o esclerosis se producen otras complicaciones que dificultaran la realización de muchas tareas que anteriormente eran fáciles, penalizando así, la calidad de vida.

Objetivos: Dar a conocer cómo envejece nuestro sistema óptico además de cómo puede afectarnos en nuestro entorno ya que es una complicación que sufrirá toda la población a partir de cierta edad.

Métodología: Se realizó una búsqueda bibliográfica en las bases de datos de MedLine, Scopus, Pubmed y Medes, sin restricción de fecha, en los idiomas inglés y español. No se limitó respecto al tipo de estudio. Se revisaron los abstracts y en los casos necesarios los artículos completos, para eliminar los irrelevantes y seleccionar aquellos que incluían contenido específico sobre la presbicia y todo lo que ésta conlleva.

Resultados y discusión: Desde hace mucho tiempo se ha estudiado el envejecimiento del sistema visual, hay diversas teorías sobre la acomodación y sobre la presbicia.

A día de hoy, podemos decir que no existe un solo factor implicado en la presbicia y que es el resultado de diversos factores. Con la edad, son muchos los cambios que se producen: Aumenta el peso del cristalino y cambia su geometría, se produce una pérdida de elasticidad en el vítreo, hay cambios en la movilidad del músculo ciliar, la pupila se vuelve más miótica y la agudeza visual y sensibilidad al contraste disminuye comprometiendo así, la visión espacial.

Gracias a estudios con el ojo del mono Rhesus se ha podido profundizar más en los conocimientos de los cambios que se producen en el sistema óptico con la edad.

Conclusiones: La presbicia es una disfunción que afecta a toda la población que supera los 40 años, esta palabra resume una cantidad de cambios que se producen en el ojo envejecido y son muchos los síntomas que reducen la calidad visual en cerca dificultando diversidad de tareas. Compete al óptico-optometrista informar y dar a conocer los nuevos cambios que se producirán en los ojos presbitas y la forma de tratarlos para que no afecte a su calidad de vida.

2. INTRODUCCIÓN.

El envejecimiento, al igual que se hace patente en nuestra piel, pelo y rostro, también aparece en nuestro sistema visual.

La visión espacial presenta un deterioro y se produce una disminución de la agudeza visual y la sensibilidad al contraste.

La presbicia o vista cansada, resulta como consecuencia de un endurecimiento del cristalino que imposibilita la capacidad de ver con nitidez los objetos cercanos. [National Eye Institute, Enero 2012]

Primero vamos a dar un breve paseo por ciertos conceptos que debemos tener claros a la hora de hablar de presbicia.

2.1 El cristalino

Es una de las estructuras más importantes de este estudio. El cristalino es una cápsula biconvexa que tiene su cara anterior por detrás del iris y la posterior por delante del vítreo. Es el segundo medio refractivo del ojo con una potencia de 22D.

Consta de tres partes: Cápsula, corteza y núcleo.

Su índice de refracción va aumentando conforme nos adentramos desde la corteza al núcleo.

Está formada por un manojo de células fibrosas, es avascular y tiene una estructura transparente.

A lo largo de la vida del cristalino se van formando fibras en la periferia quedándose así las más viejas en su núcleo, de forma que aumenta su tamaño y grosor con la edad.

Al nacer mide entre 3,5 y 4mm; hacia los 40 años entre 4 y 4,5 mm; a los 80 unos 5 mm.

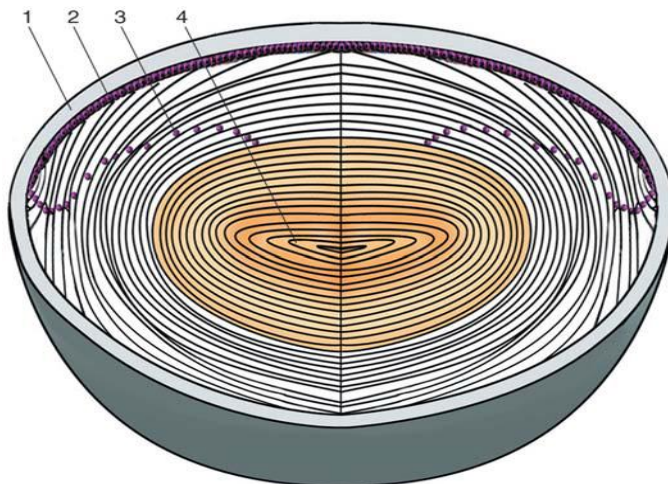


Figura 1. Se muestra una sección de cristalino, todos los componentes de su constitución anatómica. 1) Cápsula, 2) Epitelio, 3) Corteza, 4) Núcleo. [Carmen López-Sánchez,...]

2.2 La transparencia del cristalino

La transparencia permite que se disminuya la distorsión y absorción de la luz.

Las cristalininas del citoplasma son un elemento esencial en la transparencia; la eliminación de la dispersión se obtiene gracias a la interacción de corto alcance entre cristalininas muy concentradas.

El gradiente del índice de refracción entre las fibras superficiales y las profundas hace que, en parte, se corrija la aberración esférica.

2.3 El cuerpo ciliar

Es una estructura muscular de fibra lisa que desempeña funciones como la acomodación, la nutrición del segmento anterior y la secreción del humor acuoso.

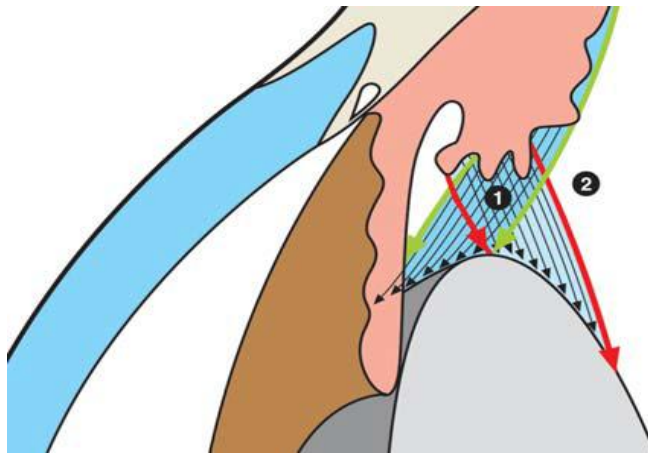


Figura 2. Esquema del cuerpo ciliar. [Carmen López-Sanchez,...]

2.4 Acomodación

El efecto acomodativo produce un cambio en el poder dióptrico del ojo, de forma dinámica, rápida y progresiva para permitir el enfoque de los objetos situados a una distancia cercana mediante la contracción del músculo ciliar.

Un ojo emétrepe en visión lejana no necesita acomodar porque la imagen focaliza en retina, pero cuando la distancia del objeto que queremos ver disminuye tenemos que hacer uso de la acomodación para poder cambiar la potencia y poder enfocar en retina esta nueva distancia.

Se cuantifica en dioptrías y se denomina amplitud de acomodación. Esta amplitud es mayor de 20 dioptrías al nacer pero se va perdiendo con la edad.

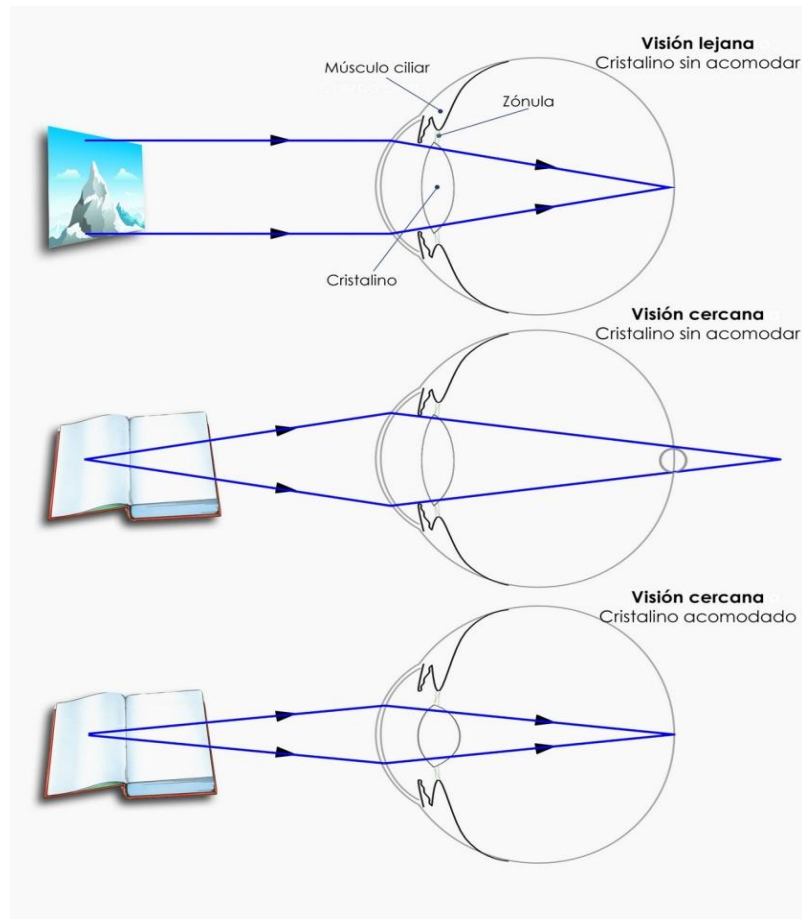


Figura 3. Esquema de acomodación [Ahmad Zaher Makhmalji, 2012]

Y ahora sí, entremos en materia:

La presbicia se puede definir como la pérdida fisiológica y progresiva de acomodación con la edad, [Kaufman, 1994] lo que dificulta la capacidad de ver objetos cercanos.

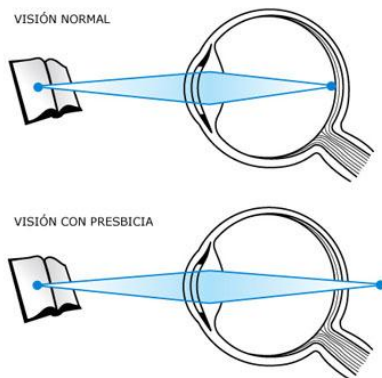


Figura 4. Visión normal y visión con presbicia. [Valerio Hilaro, Karina, 2008]

Afecta al 100% de la población mayor de 40 años. Esta pérdida comienza desde el inicio de la vida y acaba produciendo la incapacidad total para enfocar objetos cercanos al alcanzar una edad aproximada de 60 años.

El cristalino en personas jóvenes es suave y flexible, lo que permite enfocar a diferentes distancias, por lo que podemos afirmar que la presbicia está asociada a la edad, cuando se vuelve más rígido.

El punto próximo del ojo se posiciona más lejos que la distancia habitual para trabajos de lectura por lo que mantener la nitidez en el cerca se vuelve una ardua y molesta tarea, que provoca fatiga ocular y cefaleas.

A la edad de 45 años, la amplitud de acomodación está entorno a las 3,5 dioptrías, pero solo se usan para ver bien de cerca la mitad de la acomodación en reserva, lo que supone aún un mayor esfuerzo. Hacia los 60 años la pérdida de acomodación es casi total [Atchinson, 1995]

EDAD	AMPLITUD	EDAD	AMPLITUD
10	14 D	45	3.5 D
15	12 D	50	2.5 D
20	10 D	55	1.75 D
25	8.5 D	60	1 D
30	7 D	65	0.5 D
35	5.5 D	70	0.25 D
40	4.5 D	75	0 D

Tabla 1. Valores de amplitud de acomodación respecto a la edad de Donders. [Valerio Hilario, Karina, 2008]

El comienzo de la presbicia puede depender del error refractivo, la profundidad de foco y de las actividades que el sujeto realice en cerca (Una mayor demanda de visión próxima prolongada en el tiempo dará lugar a la presbicia mucho antes que alguien que durante su vida no haya usado mucho el cerca)

Es un tema de estudio muy importante porque afecta a toda la población e induce una pérdida completa de una función fisiológica.

Cada vez ha ido adquiriendo más importancia debido al aumento de la esperanza de vida, el interés de la población por culturizarse, el excesivo uso de dispositivos digitales, etc.

Las personas mayores de 40 años siguen leyendo, estudiando, usando dispositivos electrónicos, es decir, tienen una demanda visual alta y para ello es necesaria la corrección de la presbicia. Si bien es cierto que ha aumentado la esperanza de vida, está en nuestra mano ayudar a los mayores a paliar esta disfunción, y como ópticos y optometristas, hacer que todos esos años se vivan con la máxima calidad visual posible.

3. OBJETIVOS DE LA REVISIÓN

Este estudio se hace con el fin de dar a conocer esta complicación fisiológica denominada presbicia de la que ninguno estamos exentos, si vivimos lo suficiente. Nuestro objetivo es informar de cómo la edad nos afecta también al sistema visual así como dar a conocer los mecanismos de su funcionamiento una vez envejecido. Debemos pues estar preparados para lidiar con esta reducción funcional y de esta forma conseguir que nuestra calidad de vida continúe siendo buena.

El presente estudio, persigue que se comprendan los fundamentos del porqué se produce una disminución de agudeza visual a una determinada edad y destacar las complicaciones que conlleva la aparición de la presbicia para estar prevenidos y actuar en consecuencia.

4. METODOLOGÍA

Diseño: Se realizó una revisión bibliográfica sistemática de documentos científicos dedicados al desarrollo, estudio y aprendizaje de la presbicia, así como de estudios científicos y revisiones sistemáticas previas. Se ha centrado principalmente en aquellas publicaciones que hablan de las disfunciones visuales y mecanismos afectados en la presbicia.

Estrategia de búsqueda: La búsqueda bibliográfica inicial se realizó en dos pasos para una mayor organización en función del contenido de las publicaciones. Por una parte, documentos con información de la presbicia en sí; y por otra, sobre sus complicaciones.

En primer lugar, se llevó a cabo una búsqueda sobre la presbicia. Se empezó con Google Académico para obtener una aproximación general a través de documentos y guías de práctica clínica publicados por diferentes sociedades y asociaciones profesionales tanto en España como en el contexto internacional. Esta búsqueda se hizo tanto en español bajo la ecuación “presbicia”, como en inglés a través del término “presbyopia”.

Para concluir este paso y, haciendo uso de las herramientas que la biblioteca online de la Universidad de Sevilla pone a disposición de los usuarios, se determinó una búsqueda de revisiones sistemáticas y tratados de la literatura científica mediante la ecuación de “presbicia” sin límite de fecha, e incluyendo artículos tanto en inglés como en español.

En segundo lugar, nos centramos en reunir contenido, esta vez, sobre las complicaciones (cómo funciona el mecanismo de acomodación en un sistema óptico envejecido, cómo se alteran las capacidades visuales con la edad, cómo afecta neurológicamente, etc) Se recurrió de nuevo a Google Académico y en los recursos de la biblioteca de la Universidad de Sevilla, usando “acomodación y envejecimiento”, no se limitó por año y solo se incluyeron estudios en inglés y español.

En tercer lugar, para la búsqueda de los estudios originales se consultaron las bases de datos de Pubmed, Medline, Scopus y Medes ayudándonos del buscador de bases fama+. Este proceso se llevó a cabo mediante las siguientes ecuaciones de búsqueda:

(“Presbyopia”) AND complication.

(“Accommodation”) AND age.

(“crystalline lens”) AND age.

(“Optical system”) AND age.

(“ciliary muscle”)

(“ciliary body”)

(“monkey Rhesus”)

(“Dual optic intraocular lens”)

En este caso, el único filtro que se puso fue el lenguaje, limitando la búsqueda al inglés o español. Asimismo, en la base de datos de Medline se aplicaron estas ecuaciones por partida doble, se limitaba la disponibilidad de los textos a solo free full text; y una segunda sin este filtro para comparar la accesibilidad de los mismos.

Gracias a las conexiones a través de la Universidad de Sevilla y la biblioteca online se pudo acceder a mucho contenido, que a priori, no era posible rescatar para nuestro estudio.

Por último, se analizaron además las referencias bibliográficas de los artículos y documentos seleccionados con el fin de rescatar otros estudios potencialmente incluíbles para esta revisión actual. Dichos artículos adicionales fueron localizados a través de Pubmed, Scopus y Google Académico. El acceso libre y sin restricciones al material en cuestión se realizó gracias, como ya hemos mencionado, a la amplia red de recursos académicos de dicha Universidad.

Criterios de inclusión y exclusión: Durante la búsqueda se incluyeron todos aquellos documentos aportados por las asociaciones y sociedades profesionales que han estudiado el mecanismo de la presbicia y todo lo que conlleva en el sistema óptico.

Respecto a los estudios de investigación y a las revisiones bibliográficas se aplicó como criterio de inclusión la incorporación de estudios del sistema óptico acomodativo en el mono Rhesus. También los factores de riesgo de la presbicia, tratamiento, frecuencia y posible prevención.

El principal criterio de exclusión fue decidir que los artículos no incluyeran información sobre estos últimos aspectos mencionados, y que nombraran solo el concepto de compilación sin entrar en más detalles relevantes.

Extracción de datos: Una vez finalizada la búsqueda inicial se localizaron 42 estudios, aunque se excluyeron 21, que no cumplieron los criterios preestablecidos para el objetivo de esta revisión bibliográfica. Para proceder a esta selección se revisaron los abstracts de todos los estudios, y en caso de duda, los artículos completos con el fin de aclarar si la información que contenía estaba o no relacionada con nuestro trabajo.

Finalmente, se repasaron los artículos seleccionados haciendo hincapié en la introducción, resultados y conclusiones. Dada la extensa cantidad de información que se pudo localizar en las bases de datos, decidimos dividir las publicaciones en varios subgrupos ya que no todos presentaban los mismos enfoques sino que estudiaban las complicaciones de la presbicia desde varios puntos de vista.

Así, la extracción de datos se hizo más amena, al separar, por un lado, las publicaciones que solo se centraban en los resultados clínicos de ojos de mono Rhesus o pacientes de distintas edades sometidos a estudios, y por otro lado, aquellos que estudiaban la influencia de diversos factores como entrenamientos, sexo, situación geográfica, tipo de iluminación adecuada a la edad,...

Análisis de los datos: La información analizada se estructuró en varios subapartados.

- Clasificación de teorías existentes sobre presbicia y acomodación.
- Estudios de investigación de sistema óptico en mono Rhesus y evolución con la edad.
- Complicaciones de la presbicia (cómo afecta la edad a las estructuras de nuestro sistema óptico y cómo repercute en la forma de percibir nuestro entorno)
- Influencia de factores como sexo, situación geográfica o raza en la presbicia.
- Posible prevención a través de programas de entrenamiento visual.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como hemos mencionado en apartados anteriores, el aumento de la esperanza de vida en la población en las últimas generaciones es un hecho y debido a ello aparecen problemas que antes no conocíamos, como por ejemplo la presbicia.

Las estimaciones de población para el año 2020, son que el grupo de personas mayores de 65 años, constituirán más de un cuarto de la población de la Unión Europea. Según el último informe de prospectiva de Naciones Unidas, se estima que España será el país “más viejo” del mundo en el 2050. Ya hoy, nos encontramos en España con una esperanza de vida al nacer de

78,03 años como media, para los varones será de 74,44 años y para las mujeres de 81,63 años. [Jiménez Navascués, Hija Ordoñas, 2007]

Pero para poder llegar a entender lo que es un ojo presbita, hemos de conocer cómo funciona nuestro ojo, siendo más concretos, nuestro sistema acomodativo. Ya Kepler, en el siglo XVII, fue uno de los primeros en hablar del mecanismo del cristalino, gracias a sus observaciones con la cámara oscura pudo decir que el cristalino debía de moverse hacia delante y atrás para poder enfocar a distintas distancias. Descartes apoyó esta hipótesis y gracias a sus estudios con la ley de Snell aceptó que el cambio de curvatura podría explicar el mecanismo de enfoque del ojo.

En el siglo XVIII, Porterfield acuñó el término acomodación. Thomas Young, a principios del siglo XIX, estudió el reflejo de una vela en la córnea para comprobar que cuando el ojo acomodaba no se modificaba el tamaño del reflejo, lo que descartaba la idea de que la acomodación se debiese a cambios en la curvatura de la córnea, como ocurría en algunas aves. Purkinje, en esa época, descubrió las imágenes correspondientes a las reflexiones que producía una fuente de luz sobre las caras anterior y posterior del cristalino. Cuando el sujeto acomodaba, se veían variaciones en el tamaño de esas imágenes, lo que venía a decir que había un cambio en la curvatura de las caras de la lente. [Poyales Villamor, 2011]

5.1 Teorías de acomodación

Hay diversas teorías sobre la acomodación a lo largo de la historia. [Adrian Glasser,... 1999]

1. Teoría de Helmholtz:

Es la teoría más aceptada hoy en día. Según su descripción, cuando el ojo está sin acomodar, las tensiones de la zónula mantienen al cristalino aplanado.

Cuando el músculo ciliar se contrae, se desplaza el ápex anterior-interno del cuerpo ciliar hacia el ecuador del cristalino para relajar la tensión de las fibras zonulares y entonces, la cápsula se moldea incrementando el grosor y permitiendo que la superficie anterior y posterior aumente su curvatura.

Helmholtz demostró que la superficie anterior del cristalino se desplaza hacia delante y que su curvatura aumenta a través del cambio de tamaño en la tercera imagen de Purkinje reflejada en la parte anterior del cristalino. También observó un cierto cambio, que en menor medida se producía en la parte posterior del cristalino, con lo que pudo afirmar que ésta superficie posterior aumenta levemente su curvatura.

Helmoltz concluyó que el músculo ciliar era el responsable de la acomodación pero no pudo explicar cómo el cristalino acomoda. Nunca mencionó el papel de la cápsula ni tampoco el de las fibras zonulares posteriores.

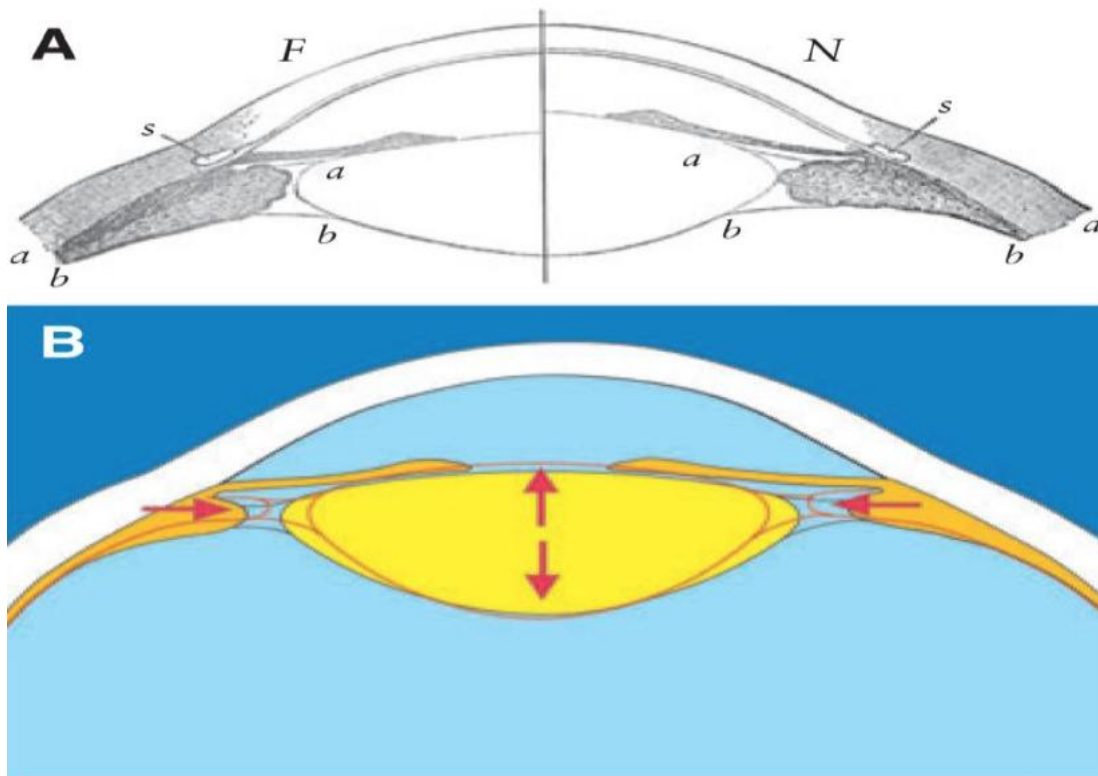


Figura 5. Esquema del mecanismo de acomodación descrito por Helmholtz. [Ahmad Zaher Makhmalji, 2012]

2. Teoría de Tschering:

Reta a Helmholtz diciendo que con la acomodación se incrementa la tensión zonular aumentando el centro del cristalino y aplanando la periferia. Debido a la mayor resistencia y curvatura del núcleo del cristalino.

También propone un papel para el vítreo, que empuja la superficie posterior del cristalino ayudándolo así en el mecanismo de acomodación.

3. Teoría Scharchar:

Al igual que Tshering propone que la acomodación se debe a un aumento de la tensión zonular. La diferencia que describe es que las zónulas insertadas en la cara anterior del músculo ciliar, se mueven hacia atrás durante el proceso de acomodación. Propone que

durante la acomodación se incrementa la tensión de la zónula ecuatorial provocando un aumento del diámetro ecuatorial del cristalino y se desplaza el contorno ecuatorial radialmente hacia la esclera, lo que provocaría un aplanamiento de la periferia del cristalino y un abombamiento del centro del mismo, en contraposición a la teoría de Helmholtz que consideraba la liberación de tensiones de la zónula en estado acomodado, así como el alejamiento del ecuador del cristalino respecto de la esclera. Sin embargo, las observaciones empíricas no dan soporte a esta teoría. Se han obtenido imágenes del mono Rhesus que muestran como, durante el proceso de acomodación, el ecuador del cristalino se aleja de la esclera de acuerdo con la teoría de Helmholtz, y como en estado de máxima acomodación, el cristalino se desplaza ligeramente hacia abajo a causa de la acción de la gravedad, lo que implicaría que la tensión de la zónula se ha liberado.

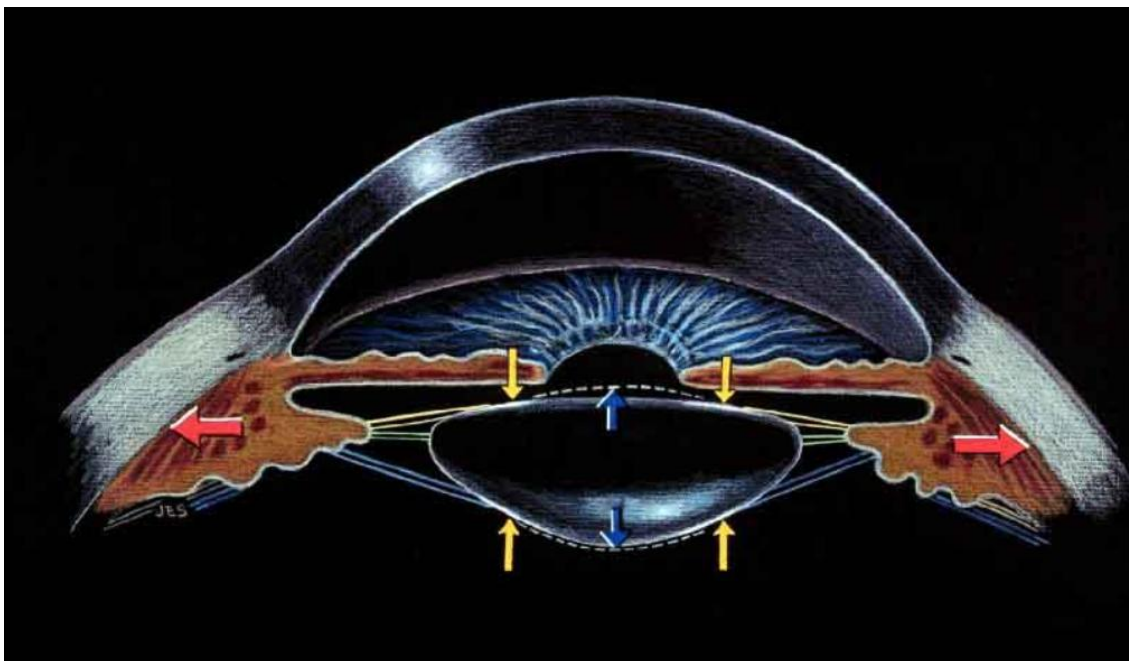


Figura 6. Teoría de Scharchar. [Ahmad Zaher Makhmalji, 2012]

4. Teoría de Coleman:

Asigna al humor vítreo un papel relevante. Propone que el cristalino, la zónula de Zinn y la región anterior del cuerpo vítreo conforman un diafragma entre las cámaras anterior y posterior del ojo. Cuando el músculo ciliar se contrae, se genera un gradiente de presión intraocular entre el vítreo, donde aumenta la presión, y la cavidad del humor acuoso, donde disminuye, causando el desplazamiento frontal del cristalino asociado al proceso de acomodación. Entonces, la superficie anterior del cristalino presenta un incremento en la curvatura de la parte central y un ligero aplanamiento en la periferia. Es conocida como teoría

catenaria porque se asimila en sección a la forma de una catenaria. La cápsula anterior y la zónula de Zinn forman un conjunto similar a un trampolín, por lo que el cuerpo ciliar condiciona la forma como los pilares de un puente suspendido, pero no necesita ejercer tracción ecuatorial para aplanar al cristalino. Sin embargo, las observaciones de los desplazamientos en cristalinios in Vitro contradicen la hipótesis de que el vítreo juegue un papel activo en la acomodación.

5.2 Cambios con la edad.

Son muchos los cambios que se producen con la edad. El cristalino está aumentando desde el momento del nacimiento, estudios in vivo e in vitro demuestran que el peso aislado del cristalino aumenta linealmente a lo largo de la vida. El peso al nacimiento en fresco es de 180 mg y aumenta de forma uniforme a razón de 1,33 mg por año resultado en un aumento de más de 150% de su masa a lo largo de la vida.

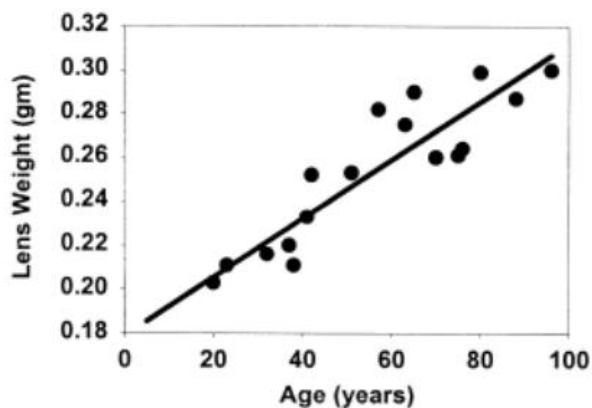


Figura 6. Cambio del peso del cristalino con la edad. [Poyales Villamor, 2011]

Lo que no está claro es si el diámetro del cristalino crece o permanece constante, ya que el diámetro solo podía ser medido en los ojos de cadáver. La teoría de que aumenta el diámetro del cristalino con la edad y que este aumento es la causa de la presbicia, dio pie a una controvertida teoría sobre la acomodación que sirvió de base para la cirugía de los expansores esclerales como tratamiento de la presbicia [Poyales Villamor, 2011]

In vivo se ha estudiado los cristalinios sin acomodar con la cámara de Scheimplfug, y se confirma que la curvatura anterior y posterior del cristalino aumenta con la edad. Esto da lugar a lo que conocemos como “paradoja del cristalino” ya que cuando se aumenta la curvatura aumenta también la potencia por lo que la lente se debería volver más potente, sin embargo lo

que ocurre en el ojo es que se va perdiendo visión de cerca. Esto podemos explicarlo por el aumento del índice de refracción del cristalino para compensar el aumento de curvatura.

Con la edad también se produce una tendencia al aumento de las aberraciones oculares, la causa de este incremento la encontramos en los cambios de las aberraciones de córnea y cristalino y en su desacoplamiento. La consecuencia resulta en un deterioro de la calidad de imagen retiniana y, por tanto, de la visión espacial con la edad. [Owsley y Sloane, 1990]

La sensibilidad al espectro de luz también se ve afectada por el paso de los años. Un 40% de la misma es debida a la absorción de luz en los medios oculares, pero el resto se debe a un deterioro de los niveles receptorales y postreceptorales. En la retina se produce una pérdida considerable de bastones a partir de los 60 años [Curcio, 1990] y una reducción de la densidad de conos en fóvea. De los 20 a los 70 años, las células ganglionares de la retina se reducen continuamente, hasta un 50% [Balazsi, 1984] y el número de axones de estas células desciende en un 25% de los 20 años a los 80. La pérdida de neuronas del córtex es también un proceso continuo [Devaney y Johnson, 1980], reduciéndose en un 50% el número de ellas de los 20 a los 80 años.

La pupila de las personas mayores es mucho más miótica, por lo tanto, la luz que incide es menor, esto sumado al envejecimiento del cristalino del que ya hemos hablado en líneas anteriores crea un efecto de nebulosidad. Una persona mayor necesita 4 veces más de luz que una persona joven para realizar una tarea. Una persona de 80 años requiere 10 veces más luz que un joven de 25 años. Es cierto que llegados a una cierta edad es necesario el uso de una mayor cantidad de luz, pero hay que tener en cuenta que debido a los cambios que se producen en las lentes oculares y sensibilidad de la retina, el fulgor de las luces intensas disminuyen después de los 50 años.

Además de pasar menos luz debido a la miosis de la pupila, hay un incremento de la absorción por las diferentes estructuras del ojo que rebaja el nivel absoluto de luz que llega a los fotorreceptores, reduciendo la sensibilidad al contraste y la agudeza visual. En media, para una luz de 400 nm, un ojo de 70 años transmite 22 veces menos luz que el de un recién nacido. [Werner, 1982]

La pérdida de transmitancia es continua, en córnea disminuye pero donde se hace más notable es en el cristalino.

Por todo ello, es muy importante la elección de una fuente de luz para optimizar resultados a estas edades, el mejor tipo de iluminación depende del modo en que se usa. Las luces

incandescentes son buenas para iluminar las tareas cercanas, en especial la iluminación con focos pequeños de halógeno, ya que emiten menor radiación azul y producen un menor efecto calorífico. Por otra parte, la luz fluorescente es mejor en la iluminación de ambientes. Una combinación de ambos tipos de iluminación es a menudo lo mejor para muchas personas mayores. Hay que decir que la nueva iluminación LED aporta ventajas siempre que la temperatura de calor elegida no sobrepase los 4000 °K, ya que es la que emite mayor cantidad de luz azul, perjudicial para las estructuras internas del ojo como la retina [web, sf]

Otro de los cambios a remarcar es la aparición del scattering intraocular (“fenómeno óptico que degrada la imagen de la retina en el ojo humano, similar a los efectos de aberraciones oculares o de difracción [Piñero DP,... 2010]) en general, por la aparición de alteraciones estructurales y bioquímicas en el humor vítreo, aunque principalmente por el aumento de tamaño que provoca pérdida de solubilidad. En cuanto a la degradación de la córnea, su papel en el scattering solo es importante a partir de los 90 años, mientras que el cristalino produce scattering ya en las primeras décadas de vida, aunque la proporción es mayor a partir de los 50 años. El scattering intraocular produce un halo en la imagen retiniana cuyo efecto es una disminución del contraste y un deterioro de la visión espacial.

El deterioro de la visión espacial se hace evidente debido a las medidas realizadas con el test de Snellen, muestran que la agudeza alcanza valores de 1 a 1,2 en personas de hasta 30-40 años y, a partir de esa edad, empieza a decaer progresiva y constantemente. [Pitts, 1982]

Con la presbicia no corregida para cerca, la agudeza visual y la sensibilidad al contraste es inferior a la normal. El contraste es importante en la conducción de las respuestas neuronales en la corteza visual. La consecuencia de una entrada de imagen borrosa puede resultar en respuestas neuronales más débiles y más lentas en la corteza visual, lo que provocaría una reducción en las habilidades de lectura. Hay estudios basados en la hipótesis de que una imagen retiniana borrosa podría usarse de forma más eficiente por el cerebro y de esta forma retrasar los efectos de la presbicia. En el estudio de este artículo, con entrenamientos, se consigue acercarse al rendimiento visual normal con el grupo de contrastes bajos y se aumenta la capacidad de enfoque de palabras muy borrosas. Con este estudio se concluye que la formación puede mejorar tanto la sensibilidad como la velocidad de procesamiento del sistema visual con el fin de compensar la entrada visual ópticamente degradada que es transmitida por el ojo envejecido. La pérdida de acomodación es una consecuencia inevitable del envejecimiento pero se pueden retrasar los efectos no deseados de la presbicia y mejorar la calidad de vida en la población mayor y/o anciana. [Polat, 2012]

La aparición de la presbicia es el resultado de diversos factores que incluyen, cambios en la movilidad del músculo ciliar, pérdida de elasticidad del vítreo y de los tejidos adyacentes al músculo y cambios estructurales del cristalino que además de aumentar su densidad con la edad también cambia de geometría.

5.3 Teorías presbicia.

Hay varias teorías sobre la presbicia. [Poyales Villamor, 2011]

1. Esclerosis del cristalino: La teoría clásica de la presbicia. Dice que el cristalino se endurece a medida que avanza la edad, al volverse más duro ya no puede adoptar la forma necesaria para el estado de acomodación. Además al estar endurecido tampoco podrá ser estirado por la tensión zonular para que adopte la forma aplanada en el estado de relajación, quedando así en un estado fijo.

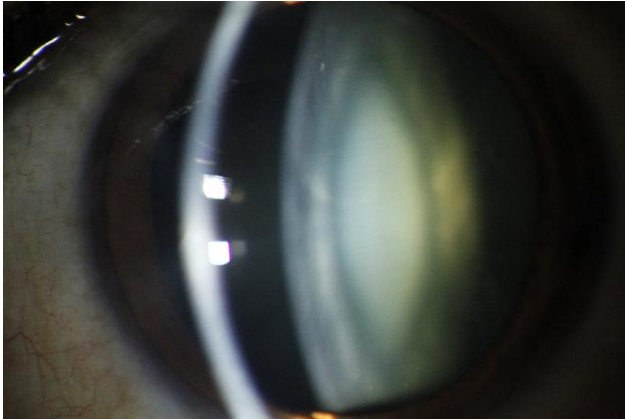


Figura 7. Esclerosis del cristalino. [Poyales Villamor, 2010]

2. Teoría geométrica de la presbicia: Al aumentar el grosor del cristalino se produce un movimiento zonular anterior, se ha propuesto que la presbicia puede ser la consecuencia de la alteración de las relaciones geométricas entre cristalino y la zónula al avanzar la edad. En el cristalino envejecido el punto de inserción de la zónula es más anterior y el ángulo que forma con las fibras zonulares está alterado, como resultado dichas fibras zonulares del ojo presbita ejercen una fuerza que casi es tangencial a la superficie del cristalino, de manera que la relajación de la zónula ejerce un efecto muy escaso sobre la cápsula y por ende, sobre la forma del cristalino.
3. Teoría de la des-acomodación: Dice que se debe a un fallo gradual del cristalino para mantenerse sin acomodación en reposo. Esta teoría viene de las pruebas que indican que la curvatura anterior y posterior del cristalino aumentan con la edad. Si aumenta

el diámetro del cristalino, se alteran las relaciones geométricas zónula/cristalino, se pierde parte de la distensibilidad en la coroides y se altera la configuración del músculo ciliar con el envejecimiento, ya no podrá aplicarse la tensión zonular de reposo para mantener el cristalino en un estado sin acomodación. Como consecuencia, el cristalino adopta una forma progresiva de mayor acomodación y en las fases finales de la presbicia la falta de acomodación se debe a que el cristalino está completamente acomodado. Se dice que el ojo sigue siendo emélope (paradoja del cristalino) debido a la compensación del gradiente del índice de refracción del cristalino para mantener una potencia óptica constante según avanza la edad. Esta teoría contradice las observaciones de que ni el aumento ni la liberación de la tensión zonular pueden alterar la distancia focal del cristalino de la persona con edad avanzada, de que no existe ninguna disparidad entre las curvaturas de la superficie del cristalino y la distancia focal del mismo, de que la distancia focal del cristalino con presbicia no se mantiene constante con la edad y de que la forma del núcleo del cristalino con presbicia es distinta de la que presenta el de la persona joven acomodando.

4. Teoría de Scharchar: El crecimiento ecuatorial continuado del cristalino se ha sugerido como base teórica para la presbicia. Debido a este aumento ecuatorial se produciría una relajación gradual de la tensión zonular en el ecuador del cristalino de forma que el esfuerzo acomodativo no podría incrementar la zónula relajada con envejecimiento en un grado suficiente como para traccionar activamente sobre el ecuador del cristalino. Esta teoría presenta muchos fallos, ya que el cristalino aumenta durante toda la vida a través del grosor axial, sin incremento de su diámetro. Solo se observa aumento del diámetro cuando se estudia el cristalino aislado. In vivo se demuestra que este valor es independiente de la edad. Si esta teoría fuese correcta, con el incremento del diámetro y la pérdida de tensión zonular aparecerían microfluctuaciones de acomodación más pronunciadas en ojos de edad avanzada a consecuencia de una disminución de estabilidad del cristalino. Sin embargo, estas microfluctuaciones son más pronunciadas en ojos jóvenes y, sin embargo, no se observan en ojos de edad avanzada.
5. Teoría multifactorial de la presbicia: Se propone que la presbicia no se debe a un solo factor causal si no a un deterioro global de la función acomodativa de varios aspectos.

Esta teoría se opone a la existencia de un solo factor, como la esclerosis lenticular, el endurecimiento o la pérdida de la contractilidad del músculo ciliar.

5.4 Estudios del mono Rhesus.

El mono Rhesus es un buen modelo para estudiar el mecanismo de la presbicia ya que aunque hay diferencias, el mecanismo acomodativo es prácticamente el mismo ya que monos y humanos desarrollan la presbicia en la misma escala de tiempo relativa.

Este primer estudio se centra en la zónula posterior y el vítreo en relación con la acomodación y la presbicia en monos y humanos. Implica la pérdida de la capacidad de deformación del cristalino, además de la deformación del músculo ciliar.

Se investiga la zónula, el vítreo posterior y sus anexos por varias técnicas. Tras observar los resultados se puede plantear la hipótesis acerca de cómo este sistema puede afectar el movimiento del músculo ciliar. Además, proporciona la prueba fisiológica preliminar de que el movimiento del músculo ciliar se puede incrementar por interrupciones en el sistema.

Las relaciones anatómicas de la zónula y la membrana vítrea fueron similares en monos y humanos. La diferencia más notable era que la zónula de vítreo posterior estaba más pegada a la zónula pars plana en la región de la ora serrata. En el mono, la inserción era similar a una esponja y abarcó una longitud sagital aproximadamente de una sexta parte de la distancia entre el espolón escleral y la ora serrata. En el ser humano, la inserción era desproporcionadamente más gruesa y abarcaba entre un tercio y la mitad de la distancia sagital entre el espolón escleral y la ora serrata. [Lütjen-Drecoll, 2010]

En el mono, hablando del ojo en reposo, se pudo afirmar que la anchura de la hendidura entre la pars plana del cuerpo ciliar y los haces intermedios zonulares vítreo, en el punto más ancho de la hendidura, aumentaba con la edad. Además, el espesor del músculo ciliar en el punto más ancho de la hendidura, disminuyó con la edad, mientras que la curvatura de la pars plana y la pars plicata aumentaron con la edad.

Los resultados del análisis de regresión muestran que la amplitud de acomodación y el movimiento hacia delante de acomodación de la zona de inserción posterior disminuyeron significativamente con la edad. El movimiento de acomodación hacia delante de la zona de inserción posterior se redujo en un 60% frente los ojos jóvenes no presbítas.

Con la edad, se ensancha el espacio entre el cuerpo ciliar y la membrana vítrea y se reduce el movimiento hacia delante de la zona de inserción posterior. Este cambio podría restringir el movimiento hacia delante del plexo zonular durante el esfuerzo acomodativo. Sin embargo, el análisis de regresión muestra que la edad era más importante en la predicción de amplitud acomodativa, de lo que era o bien la anchura de la hendidura o el movimiento hacia delante de la zona de inserción posterior.

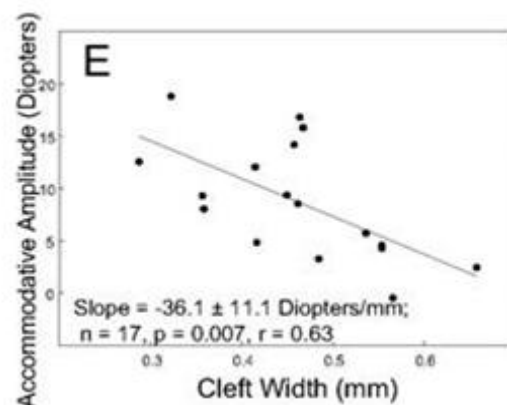
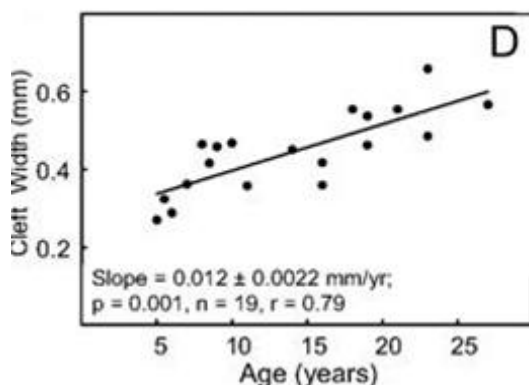
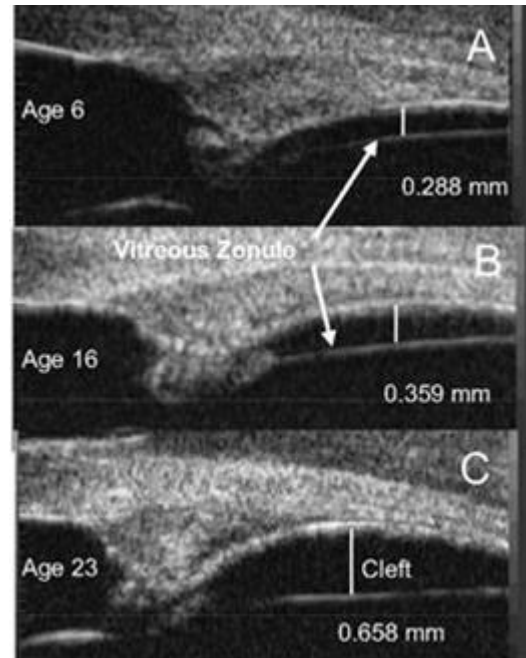


Figura 8 y 9. Variación de la anchura de la hendidura con la edad. [Lütten – Drecoll, 2010]

Este hallazgo no es sorprendente, dado que hay otros cambios relacionados con la edad que también afectan. A pesar de que la técnica no es aplicable clínicamente, los hallazgos e interpretaciones apoyan aún más la restricción posterior relacionada con la edad del músculo ciliar y el movimiento zonular, tanto como un factor fisiopatológico y una diana terapéutica potencial en presbicia. [Lütten-Drecoll, 2010]

El siguiente estudio se centra en los cambios que se producen relacionados con la edad en los movimientos acomodativos del cuerpo ciliar y de la lente en monos.

Con 3 dioptrías de acomodación la lente no cambia significativamente con la edad, sin embargo la cantidad de movimiento de los procesos ciliares aumenta significativamente con la edad mientras que el movimiento del cuerpo ciliar hacia delante disminuye.

En monos de más edad se requiere mayor movimiento de los procesos ciliares para inducir un movimiento de la lente en comparación con los jóvenes.

Con la edad, el sistema de acomodación puede estar tratando de compensar la pérdida de movimiento hacia delante del cuerpo ciliar mediante el aumento de la cantidad de movimiento de los procesos ciliares. Esto, a su vez, permitiría la relajación zonular suficiente para alcanzar el movimiento necesario de la lente que permita una determinada amplitud de acomodación.

La disminución del movimiento de la lente podría ser consecuente a la disminución del movimiento de avance del cuerpo ciliar dado que no existe una correlación significativa entre ellos.

El músculo ciliar no pierde la capacidad para contraerse con la edad pero si la de moverse hacia delante, quizá debido a una inserción posterior cada vez más inelástica. La pérdida de movimiento muscular con la edad es suficiente para explicar las pérdidas en el movimiento de la lente y en la amplitud de acomodación y puede estar implicado en la fisiopatología de la presbicia.

El estudio nos muestra que la pérdida en el movimiento del cuerpo ciliar hacia delante se produce primeramente en el ecuador. Hay muchas fibras zonulares que se extienden desde los procesos ciliares hasta la superficie anterior y posterior de la lente, algunas de estas fibras pueden ser dependientes de los movimientos del cuerpo ciliar para permitir la relajación y el redondeo de la lente.

El movimiento activo del cuerpo ciliar es posible solo por la contracción del músculo ciliar. Debido a la restricción posterior de movimiento de los músculos en el ojo envejecido, la parte longitudinal del músculo puede someterse a más de una contracción isométrica de la porción, así la pérdida es circular en el movimiento hacia delante. Sin embargo, la porción circular del músculo durante la contracción aplica su fuerza centrípeta en una dirección perpendicular a la restricción. Apoyando esta idea se afirmó que la porción circular del músculo ciliar aumenta con la edad en los ojos humanos extirpados, mientras que el área de la parte longitudinal del músculo ciliar disminuye con la edad.

Este cambio del envejecimiento puede ser adaptable para compensar la restricción posterior del músculo o para apoyar aún más el esfuerzo acomodativo. El cambio probablemente no sería para compensar la deformabilidad reducida de la lente (por lo menos en ojos de mediana edad) ya que, por extrapolación a partir de datos humanos, los cambios en la deformabilidad de la lente no se producen hasta después de los 19 años de edad en monos (40 años en seres humanos)

Dejando la bolsa capsular vacía, el movimiento centrípeto de los músculos se mejoró, pero el movimiento muscular hacia delante se mantuvo sin cambios en comparación con el ojo normal. Con la sustancia del cristalino y la cápsula eliminados, la pérdida de movimiento muscular hacia delante fue mucho más pronunciada (del 50%) que la pérdida en el movimiento muscular. Esto sugiere que puede haber fuerzas traccionales agonistas, suministrados por la unión del complejo zónula/lente, anterior al músculo ciliar durante la acomodación que mejoren el movimiento muscular.

En los ojos humanos extirpados, los cambios relacionados con la edad en la resistencia a la deformación de la lente fueron mínimos antes de los 40 años. La resistencia a la deformación de la lente aumenta después de los 40 años. El engrosamiento de la lente relacionado con la edad podría ser considerado un cambio significativo. Sin embargo, mientras el espesor del cristalino humano comienza a crecer antes de los 40, la densidad del núcleo del cristalino humano solo empieza a aumentar después de los 40 años, y lo hace de forma lineal con la edad. También se produce un aumento de la dispersión de la luz intraocular así como algunas aberraciones, que disminuyen la calidad de la imagen óptica [Alió, 2005] Esto sugiere que los cambios significativos de la lente no son evidentes hasta después de los 40 años en seres humanos, momento en el que más de 2/3 partes de la acomodación se ha perdido.

La respuesta de acomodación de la lente no cambió significativamente en los monos de mediana edad en comparación con los jóvenes. La pérdida relacionada con la edad en la función del cuerpo ciliar que medimos podría ser debido a la disminución de la elasticidad de la coroides, a la de los tendones de los músculos ciliares posteriores o a la zónula vítrea posterior.

La capacidad del cuerpo ciliar para mover hacia delante durante el esfuerzo de acomodación y de este modo prevenir o retrasar los cambios relacionados con la edad quizá facilitaría la movilidad/deformabilidad de lentes intraoculares acomodativas. [Croft, 2009]

5.5 Presbicia en hombres y mujeres.

Se estima que en todo el mundo más de mil millones de adultos están afectados por la presbicia. De acuerdo con los datos del censo de todo el mundo, un tercio de la población es mayor de 40 años, edad en la que los efectos de la presbicia pueden volverse sintomáticos. A medida que envejece la población mundial, la prevalencia de la presbicia aumentará. Para el año 2030, se espera que la población mundial mayor de 40 años aumente un 41%.

La carga de la presbicia es mayor entre las poblaciones más vulnerables según condicionantes como el sexo, la raza, el origen étnico, el clima, la ruralidad y las ubicaciones geográficas que se consideran factores que parecen estar contribuyendo. La presbicia puede tener un impacto sustancial en la calidad de vida, independientemente de la alfabetización o profesión.

Estudios recientes confirman el dato de que las mujeres se prescriben mayores correcciones para cerca que los hombres de la misma edad, la razón de esta diferencia entre sexos no es inmediatamente evidente, ya que la presbicia se ve influenciada principalmente por tres factores: la capacidad de enfoque, distancia de lectura habitual y la profundidad de foco. Hay otros factores secundarios que también pueden influir, tales como la ocupación, el error refractivo y otras aberraciones oculares, la longitud del brazo, el tamaño de la pupila y las posibles diferencias en la densidad óptica de la lente. Consideramos otros factores terciarios que podrían influir en el tiempo de aparición de la presbicia, y que por lo tanto subyace a las diferencias de sexo como son la radiación solar, la complejidad de las tareas de cerca, los niveles de luz interiores y otras condiciones específicas de las tareas que podrían tener un sesgo de sexo.

En las mediciones de la capacidad de enfoque, revelan que las mujeres tienen una mayor capacidad de enfoque que los hombres de la misma edad. [Hickenbotham, 2012]

Las mujeres adultas tienen una distancia de lectura habitual más corta que el hombre, lo que puede ser una causa de la mayor necesidad de corrección de cerca. No hay estudios que indiquen diferencias entre hombres y mujeres en cuanto a la profundidad de foco medida.

Las mujeres mayores de 40 tienen tasas de hipermetropía mayores que los hombres de esta misma edad. Aunque la hipermetropía y la presbicia tienen diferente etiología, bajas cantidades de hipermetropía sin diagnosticar se manifestará como un adelanto en la necesidad para la corrección de la visión de cerca con el inicio de presbicia.

6. CONCLUSIONES.

La presbicia es un tema que nos incumbe a todos ya que está muy ligado a la edad. La resistencia a la deformación de la lente aumenta después de los 40 años y todos los cambios significativos no son evidentes hasta después de esta edad. En todo el mundo hay más de mil millones adultos afectados por la presbicia y debido al aumento de la esperanza de vida cada vez tendremos una mayor población con ésta disfunción.

Hombres			Mujeres		
Clasificación	País	Esperanza de vida	Clasificación	País	Esperanza de vida
1	Islandia	81.2	1	Japón	87
2	Suiza	80.7	2	España	85.1
3	Australia	80.5	3	Suiza	85.1
4	Israel	80.2	4	Singapur	85.1
5	Singapur	80.2	5	Italia	85
6	Nueva Zelandia	80.2	6	Francia	84.9
7	Italia	80.2	7	Australia	84.6
8	Japón	80	8	República de Corea	84.6
9	Suecia	80	9	Luxemburgo	84.1
10	Luxemburgo	79.7	10	Portugal	84

Tabla 2. Esperanza de vida al nacer de hombres y mujeres. [Martinez Guzman,... 2015]

Son muchas las teorías sobre acomodación y presbicia que se han ido descubriendo a lo largo de la historia y en la actualidad se puede profundizar más en ellas basándonos en estudios de ojos con mono Rhesus; de dichos estudios podemos concluir que el movimiento de acomodación hacia delante de la zona de inserción posterior se reduce un 60% frente a ojos de monos jóvenes. Con la edad, se requiere mayor movimiento de los procesos ciliares para inducir un movimiento de la lente, esto puede deberse a que se intenta compensar la pérdida de movimiento hacia delante del cuerpo ciliar. El músculo ciliar pierde la capacidad de

moverse hacia delante pero no la capacidad de contraerse. Esta pérdida de movimiento es suficiente para explicar pérdidas en amplitud de acomodación.

Otros estudios, confirman que, debido a diferentes factores como son la distancia de lectura habitual y la mayor cantidad de hipermetropía, la mujer necesitará más adición que el hombre de su misma edad.

Cuando escuchamos la palabra presbicia o como vulgarmente es conocido el término, “vista cansada” nuestro pensamiento visualiza de inmediato esas pequeñas gafas en forma de media luna que nos permiten ver nítidamente al cerca. Sin embargo este término engloba muchos más cambios pese a que la población, generalmente los reduce a uno: la disminución de agudeza visual en el cerca. Primeramente, diremos que el cristalino aumenta de peso y su curvatura anterior y posterior varía, a su vez, el índice de refracción también aumenta para compensar este cambio de curvatura en el cristalino. Aparecen más aberraciones oculares, así como disminución de la visión de sensibilidad al contraste, además, la pupila se vuelve más miótica por lo que se necesitará más cantidad de luz en todas las tareas.

Si bien en la córnea hay una pérdida de transmitancia, ésta pérdida se hace más notable en los cambios del cristalino y la aparición del scattering intraocular. Hay una pérdida significativa de conos y bastones. Consecuente y paralelamente a éste cuadro, también hay una disminución de la agudeza visual.

Todos estos cambios se resumen en la palabra presbicia y nuestra labor como ópticos optometristas es darlos a conocer e instruir y tratar a nuestros pacientes para educir los síntomas de manera que la calidad de vida no sufra deterioro.

7. BIBLIOGRAFÍA.

Adrian Glasser, PhD, Paul L. Kaufman, MD, Ophthalmology The Mechanism of Accommodation in Primates, 1999; 106:863-872

Ahmad Zaher Makhmalji, Cirugía refractiva corneal multifocal en pacientes presbitas: Resultados clínicos del algoritmo SUPRACOR. Máster universitario en optometría y ciencias de la visión. 2012.

Atchinson, D.A. *Accommodation and presbyopia*. Ophthalmol. Physiol. Opt., 15, 255-272 (1995)

Balazsi, A. G., Rootman, J., Drance, S. M., Schulze, M. y Douglas, G. R. *The effect of age on the nerve fiber population of the human optic nerve*. Am. J. Ophthalmol., 97, 760-766 (1984)

Cambios normales en los ojos envejecidos. American Foundation for the blind (AFB) (s.f) <http://www.afb.org/info/ancianos/perdida-de-la-vision-despues-de-los-cincuenta/cambios-normales-en-los-ojos-envejecidos/234>

Carmen López-Sánchez, Ricardo Lagoa, Carlos M. Gañán, Virgilio García-Martínez, Anatomía del cristalino, <http://www.oftalmoseoformacion.com/wp-ofthalmoseo/documentacion/p2008/Cap007.pdf>

Croft, M. A., McDonald, J. P., Nadkarni, N. V., Lin, T.-L., & Kaufman, P. L. (2009). Age-Related Changes in Centripetal Ciliary Body Movement Relative to Centripetal Lens Movement in Monkeys. *Experimental Eye Research*, 89(6), 824-832. <http://doi.org/10.1016/j.exer.2009.07.009>

Curcio, C. A., Kimberly, A. A. y Kalina, R. E. *Reorganization of the human photoreceptor mosaic following age-related rod loss*. ARVD Abstracts, 31,38 (1990)

Devaney, K. O. y Jhonson, H. A. *Neuron loss in the aging visual cortex of man*. J. Gerontol., 35, 836-841 (1980)

Hickenbotham, A., Roorda, A., Steinmaus, C., & Glasser, A. (2012). Meta-Analysis of Sex Differences in Presbyopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 53(6), 3215–3220. <http://doi.org/10.1167/iovs.12-9791Croft>

Hilaro Valerio, Karina. *Acomodación. Imagen óptica, periodismo con visión*. (2008) <http://www.imagenoptica.com.mx/pdf/revista46/acomodacion.htm>

Información sobre la presbicia o presbiopía, National Eye Institute (NEI), Enero 2012, <https://nei.nih.gov/heath/espanol/presbicia/presbicia>

Jiménez Navascués, Lourdes, & Hajar Ordovas, Carlos A.. (2007). Los ancianos y las alteraciones visuales como factor de riesgo para su independencia. *Gerokomos*, 18(1), 16-23. Recuperado en 15 de junio de 2016, http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1134-928X2007000100003&lng=es&tlng=es

Kaufman, P. L. *Envejecimiento de los mecanismos de acomodación: presbiopía*. En: *Fisiología del ojo*, cap 11, pp 404-410, Hart, W. M. JR ed., Mosby/Doyma, Madrid (1994)

Lütjen-Drecoll, E., Kaufman, P. L., Wasielewski, R., Ting-Li, L., & Croft, M. A. (2010). Morphology and Accommodative Function of the Vitreous Zonule in Human and Monkey Eyes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 51(3), 1554–1564. <http://doi.org/10.1167/iovs.09-4008>

M. A., McDonald, J. P., Nadkarni, N. V., Lin, T.-L., & Kaufman, P. L. (2009). Age-Related Changes in Centripetal Ciliary Body Movement Relative to Centripetal Lens Movement in Monkeys. *Experimental Eye Research*, 89(6), 824–832. <http://doi.org/10.1016/j.exer.2009.07.009>

Martínez-Guzmán, Gerardo, Bustillo Díaz, Mario Mauricio, González Velázquez, Rogelio, Bernabé Loranca, Beatriz, Rangel Huerta, Alejandro, Juárez Díaz, Gabriel, Ata Pérez, Apolonio, Quiroz Hernández, Nicolás, & Reyes Vélez, Rosa María De Lourdes. (2015). Cálculo de la

mortalidad en la población del estado de Puebla, usando las Tablas modelo de la ONU y el método de Ricard Genova. *Papeles de población*, 21(85), 177-210. Recuperado en 16 de agosto de 2016, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252015000300007&lng=es&tlng=es.

Owsley y Sloane, C. y Sloane, M. E. *Vision and aging*. En: *Handbook of Neuropsychology*, vol. 4, pp. 229-249, Boller, F. y Grafman, J. eds., Elsevier Science Publishers B. V. (Biomedical Division) (1990)

Pitts, D. G. *The effects of aging on selected visual functions: dark adaptation, visual acuity, stereopsis and brightness contrast*. En: *Aging and human visual function*, pp. 131-159, Sekuler, R., Kline, D. y Dismukes, K. eds., Alan R. Liss, Inc., New York (1982)

Polat, U., Schor, C., Tong, J.-L., Zomet, A., Lev, M., Yehezkel, O., ... Levi, D. M. (2012). Training the brain to overcome the effect of aging on the human eye. *Scientific Reports*, 2, 278. <http://doi.org/10.1038/srep00278>

Werner, J. S. *Development of scotopic sensitivity and the absorption spectrum of the human ocular media*. *J. Opt. Soc. Am.*, 72, 247-258 (1982)

