

## ARTÍCULO ORIGINAL

# Evaluación dinámica de estructuras anatómicas involucradas en el mecanismo de acomodación por UBM y ecografía modo A



María Fernanda Pinzón Magaña<sup>a,\*</sup>, Guillermo Villanueva Pérez<sup>b</sup>, Leticia Perdiz Calvo<sup>c</sup> y Alberto Milla Quiroz<sup>d</sup>

<sup>a</sup> Residente de Oftalmología, Hospital Oftalmológico Nuestra Señora de la Luz (HONSL), Acapulco, México

<sup>b</sup> Medico Adscrito del Servicio de Ecografía, Hospital Oftalmológico Nuestra Señora de la Luz (HONSL), Acapulco, México

<sup>c</sup> Jefe del Servicio de Ecografía Hospital Oftalmológico Nuestra Señora de la Luz (HONSL), Acapulco, México

<sup>d</sup> Hospital Oftalmológico Nuestra Señora de la Luz (HONSL), Acapulco, México

Recibido el 28 de agosto de 2015; aceptado el 31 de octubre de 2015

Disponible en Internet el 4 de febrero de 2016

### PALABRAS CLAVE

Acomodación;  
Cristalino;  
Cuerpo ciliar;  
Ultrabiomicroscopia;  
Ecografía modo A

### Resumen

**Objetivo:** Evaluación dinámica de estructuras anatómicas involucradas en el mecanismo de acomodación por ultrabiomicroscopia (UBM) y ecografía (US) modo A.

**Material y método:** Estudio prospectivo, observacional, descriptivo en una serie de casos en el Hospital Oftalmológico Nuestra Señora de la Luz. Se incluyeron pacientes menores de 40 años, con una refracción < 0.50 dioptrías en equivalente esférico, fáquicos, distancia del punto de fijación (preestablecida a 150 cm y a 33 cm) realizándose una evaluación dinámica por medio de UBM y US modo A.

**Resultados:** Evaluación de 12 ojos; por UBM se evaluó: profundidad de cámara anterior con un rango en relajación (2.51-3.43 mm), un promedio (3.07 mm), desviación estándar (0.18 mm), rango en acomodación (2.44-3.98 mm), promedio (3.06 mm) desviación estándar (0.09 mm). Profundidad de cámara posterior con un rango en relajación de (0.47-0.69 mm), promedio (0.56 mm), desviación estándar (0.04 mm), rango en acomodación (0.40-0.57 mm), promedio (0.46 mm) desviación estándar (0.02 mm). La biometría sectorial del cuerpo ciliar rango en relajación (0.78-1 mm) promedio (0.87 mm), desviación estándar (0.03 mm); el rango en acomodación fue (0.71-0.91 mm), promedio (0.77 mm), desviación estándar (0.02 mm). Por US modo A, en relajación un rango (3.45-4.22), promedio (3.77 mm), desviación estándar de (0.06 mm), en acomodación el rango (3.63-4.33 mm), promedio (3.90 mm) desviación estándar (0.03 mm).

\* Autora para correspondencia. Hospital Oftalmológico «Nuestra Señora de la Luz» (OFNSL), Ezequiel Montes n.º 135, Col Tabacalera, Delegación Miguel Hidalgo, Acapulco, México. Teléfono: +7442282337.

Correo electrónico: [mariferpinzon@hotmail.com](mailto:mariferpinzon@hotmail.com) (M.F. Pinzón Magaña).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.mexoft.2015.10.007>

0187-4519/© 2016 Sociedad Mexicana de Oftalmología. Publicado por Masson Doyma México S.A. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

**Conclusiones:** La evaluación por UBM y US modo A evidencia cambios en estructuras que intervienen en el mecanismo de acomodación.

© 2016 Sociedad Mexicana de Oftalmología. Publicado por Masson Doyma México S.A. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## KEYWORDS

Accommodation;  
Lens;  
Ciliary body;  
Ultrabiomicroscopy;  
Ultrasound mode A

## Dynamic evaluation of anatomical structures involved in the mechanism of accommodation by UBM and A mode ultrasound

### Abstract

**Purpose:** Dynamic evaluation of anatomical structures involved in the mechanism of accommodation by ultrabiomicroscopy (UBM) and ultrasound (US) mode A.

**Material and method:** A prospective, observational, descriptive study in a series of cases in Hospital Oftalmológico Nuestra Señora de la Luz. Patients under 40 years were included, with a refraction < 0.50 diopters spherical equivalent, phakic, distance from the attachment point (preset to 150 cm and 33 cm) dynamic assessment performed by UBM and US mode A.

**Results:** Assessment of 12 eyes, was evaluated by UBM: anterior chamber depth relaxation with a range (2.51-3.43 mm), average (3.07 mm), standard deviation (0.18 mm), accommodation range (2.44-3.98 mm), average (3.06 mm) standard deviation (0.09 mm). Posterior chamber depth with a range of relaxation (0.47-0.69 mm), average (0.56 mm), standard deviation (0.04 mm), range in accommodations (from 0.40 to 0.57 mm), average (0.46 mm) standard deviation (0.02 mm). Biometrics sector ciliary body relaxation range (0.78-1.00 mm) average (0.87 mm), standard deviation (0.03 mm); It was in the range accommodation (0.71-0.91 mm), average (0.77 mm), standard deviation (0.02 mm). Ultrasonic mode A, in a range relaxation (3.45-4.22), average (3.77 mm), standard deviation (0.06 mm) in accommodation range (3.63-4.33 mm), average (3.90 mm) standard deviation (0.03 mm).

**Conclusions:** UBM and evaluation US mode A evidence changes in structures involved in the mechanism of accommodation

© 2016 Sociedad Mexicana de Oftalmología. Published by Masson Doyma México S.A. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introducción

La acomodación es un término que describe un cambio óptico dinámico de la potencia dióptrica del ojo, y ocurre mediante el incremento de curvaturas de las superficies anterior y posterior de cristalino y con ello el aumento en el grosor del mismo, permitiendo modificar el punto de enfoque del ojo con respecto a los objetos alejados y próximos<sup>1,2</sup>. A lo largo de la historia varios investigadores han postulado diversas teorías que intentan describir el mecanismo de acomodación<sup>3</sup>. Kepler en 1602 propuso que durante la acomodación existía un desplazamiento del cristalino respecto de la córnea<sup>4</sup>. Descartes en 1664 propuso que existía un aumento de la potencia del ojo durante la acomodación mediante cambios en las curvaturas de la superficie anterior y posterior del cristalino. Von Helmholtz en 1855 describe una teoría en la cual propone que en la situación sin acomodación la tensión de la zónula sobre el ecuador del cristalino lo mantiene con una configuración relativamente plana y durante la acomodación ocurre contracción del músculo ciliar y el diámetro interno de dicho músculo ciliar disminuye y con ello también se reduce la tensión a nivel de la zónula lo que permite que el cristalino aumente su curvatura central adquiriendo una configuración redondeada debido a la fuerza ejercida por la cápsula sobre la sustancia

del cristalino; dicha teoría fue ampliamente aceptada en su tiempo, no obstante las observaciones clínicas y experimentales en el siglo pasado llevaron a otros investigadores a proponer sus teorías<sup>5,6</sup>. Tscherning estudió el comportamiento de cristalinios en los ojos de unguilados, cerdo, buey y caballos; con ello llega a conclusiones que lo llevan a señalar que el proceso de acomodación tiene lugar a través del aplanamiento de la curvatura superficial periférica del cristalino con un incremento en la curvatura de la parte central de la misma<sup>7</sup>.

Hoy en día la creación de nuevos equipos hace posible realizar investigaciones detalladas que nos llevan a una mejor comprensión de la anatomía y procesos fisiológicos que tienen lugar dentro del globo ocular. Uno de ellos es el *ultrabiomicroscopio* (UBM) desarrollado por Pavlin en 1991 ante la limitación que presenta la ecografía para evaluar estructuras específicas siendo una herramienta diagnóstica que nos brinda imagen de alta resolución, utiliza ultrasonido de alta frecuencia 50 Mhz y visualiza en forma detallada estructuras del segmento anterior del globo ocular *in vivo* y su campo acústico es de 4 × 4 mm, y aporta información sobre la anatomía y enfermedades a nivel del cuerpo ciliar, esclera, cristalino, cámara anterior y cámara posterior<sup>8-10</sup>. La *ecografía (US) modo A* fue introducida en 1956 por Mundt y Hughes quienes emplearon el método unidimensional o

técnica modo «A»; su nombre deriva de amplitud y nos aporta información con exactitud de la ubicación de la interface reflectante dentro de los tejidos examinados; los ecos son representados con picos verticales que se elevan desde una línea de base; la distancia entre los picos depende del tiempo que tarda el ultrasonido en regresar desde las diferentes interfaces; el tiempo puede ser convertido en distancia conociendo la velocidad a la cual se transmite el sonido de los tejidos, esto es de importancia capital para la ecometría ya que la altura del pico indica la amplitud del eco. El tipo especial de US modo A diseñado por Ossining debe poseer una amplificación en S y utilizar una sonda desenfoada de 8 MHz<sup>11-14</sup>. Los aparatos que poseen este tipo de estandarización son: el Ophthascan S y el Mini Scan, los cuales requieren de una estandarización interna hecha en la fábrica y una externa que debe ser hecha por el ecografista con el modelo tisular para determinar con esta última cuál es la sensibilidad tisular para cada sonda<sup>15</sup>.

El mecanismo de acomodación se conoce desde hace más de 400 años; no obstante, aún hace falta realizar estudios y observaciones más detalladas de las estructuras anatómicas involucradas en el mecanismo de la acomodación por lo que UBM y US modo A son equipos que nos proveen de imágenes en tiempo real.

## Objetivo

Evaluar en forma dinámica las estructuras involucradas en el proceso de acomodación en personas jóvenes por medio del UBM y US modo A.

## Justificación

A pesar de que varios investigadores han descrito sus hipótesis sobre los cambios anatómicos que ocurren durante el proceso de acomodación, existen pocos estudios en humanos que nos demuestren, en vivo y tiempo real, el comportamiento dinámico y anatómico de las estructuras involucradas en el mecanismo de la acomodación (cuerpo ciliar, cristalino, dimensiones de la cámara anterior y posterior).

## Hipótesis

De todas la teorías propuestas sobre el mecanismo de acomodación, pocas han sido probadas en vivo en humanos y de manera dinámica. Y es precisamente en ese punto en donde tenemos la hipótesis de que estos cambios pueden ser examinados a través de un estudio dinámico que visualiza las dimensiones anatómicas que ocurren en el proceso de acomodación utilizando el UBM, donde evaluaremos con precisión dimensiones de la cámara anterior, cámara posterior, cuerpo ciliar; y a través de US modo A el diámetro anteroposterior del cristalino; todo ello evaluado en forma dinámica, indicando al paciente que fije a 2 puntos en diferentes distancias predeterminada (un punto a 33 cm y otro a 150 cm).

## Material y métodos

Se realizó un estudio prospectivo, observacional, descriptivo en una serie de casos y tuvo lugar en el Hospital Fundación Nuestra Señora de la Luz. Para ello se utilizó UBM y US modo A. Entre los criterios de inclusión se encuentran pacientes de ambos sexos, menores de 40 años, con una refracción < 0.50 dioptrías en equivalente esférico, fáquicos, cooperadores para el estudio. Entre los criterios de exclusión están pacientes con antecedente de enfermedad de superficie ocular, uveítis, cirugía ocular previa y refracción > 0.50. Las variables a estudiar son distancia del punto de fijación (preestablecida a 150 cm y a 33 cm) y con ello se realizó una evaluación dinámica por medio de UBM que visualizó la profundidad de cámara anterior, profundidad de cámara posterior, biometría del cuerpo ciliar en sector temporal superior, y la US modo A que nos aportó información en la dimensión dinámica del diámetro anteroposterior del cristalino. A continuación se describe la evaluación por ambos equipos. Descripción de la evaluación por UBM. En la evaluación dinámica de estructuras de cámara anterior, cámara posterior, cuerpo ciliar con UBM se utiliza la técnica de inmersión y para ello se posicionó al paciente en decúbito dorsal sobre una camilla, se inició exploración primero del ojo derecho aplicando anestésico tópico, se coloca copa de inmersión sobre la cual se aplica meticel al 2% y solución salina, y sobre esta dilución se coloca el transductor oscilatorio del brazo mecánico del UBM, mientras tanto se indica al paciente que debe mantener fijación con el ojo contralateral (ojo izquierdo) al punto lejano previamente establecido a 150 cm y el punto cercano preestablecido fue a 33 cm y con ello se obtuvieron imágenes dinámicas de las estructuras previamente mencionadas las cuales fueron congeladas en el monitor para ser grabadas y posteriormente medir las dimensiones que alcanzaron estas estructuras (tanto en relajación como en acomodación). En la descripción de la evaluación dinámica del cristalino se utilizó US modo A, y de igual forma que en la evaluación previa se posicionó al paciente en decúbito dorsal sobre una camilla, se inició exploración primero del ojo derecho aplicando anestésico tópico, se coloca copa de inmersión sobre la cual se aplica meticel al 2% y solución salina, y sobre esta dilución se coloca el transductor y se indica al paciente que debe mantener fijación con el ojo contralateral (ojo izquierdo) al punto lejano previamente establecido a 150 cm y el punto cercano preestablecido fue a 33 cm y con ello se obtuvo el promedio de 10 lecturas realizadas de las dimensiones que alcanzó el cristalino en ambos puntos de fijación.

## Resultado

Se evaluaron un total de 12 ojos, la edad promedio de los pacientes fue 29 años de edad con un rango de edad de 16-38 años. Las estructuras evaluadas por UBM fueron profundidad de cámara anterior, profundidad de cámara posterior, biometría sectorial del cuerpo ciliar en cuadrante temporal superior (fig. 1A, 1B) y las mediciones obtenidas fueron como sigue: profundidad de cámara anterior con un rango en relajación de 2.51-3.43 mm, con un promedio de 3.07 mm, y una desviación estándar de 0.18 mm; el rango en acomodación fue de 2.44-3.98 mm con un promedio de 3.06 mm

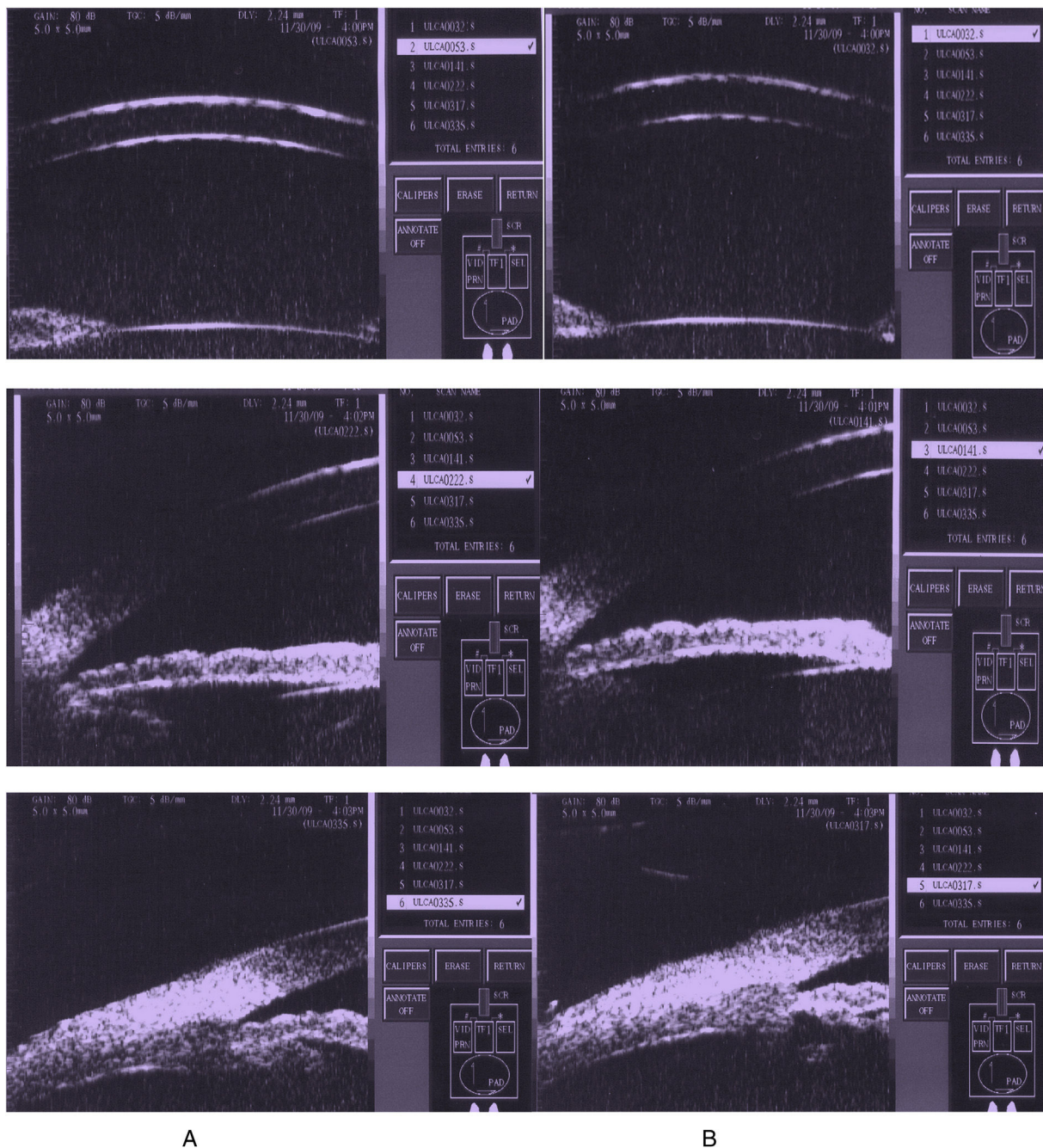


Figura 1 Imágenes sectoriales por UBM en A) acomodación y B) relajación respectivamente.

y una desviación estándar 0.09 mm. Profundidad de cámara posterior con un rango en relajación de 0.47-0.69 mm y un promedio de 0.56 mm con una desviación estándar 0.04 mm; el rango en acomodación fue de 0.40-0.57 mm y un promedio de 0.46 mm con una desviación estándar de 0.02 mm. En la biometría sectorial del cuerpo ciliar el rango en relajación fue de 0.78-1.00 mm y el promedio de 0.87 mm con una desviación estándar 0.03 mm; el rango en acomodación fue de 0.71-0.91 mm y el promedio 0.77 mm con una desviación estándar de 0.02 mm. En la evaluación dinámica del cristalino por US modo A obtuvimos en relajación un rango de 3.45-4.22 con un promedio de 3.77 mm con una desviación

estándar de 0.06 mm y en acomodación el rango fue de 3.63-4.33 mm con un promedio de 3.90 mm con una desviación estándar de 0.03 mm (tabla 1 y figs. 2-5)

## Discusión

Sabemos que el punto de relajación en un ojo emétrepe es a 6 m de distancia y que a 33 cm se obtiene una acomodación de 3 dioptrías, por tanto, inicialmente se había pensado en realizar este estudio tomando en cuenta ambas distancias; sin embargo, no era posible trasladar el equipo ni modificar

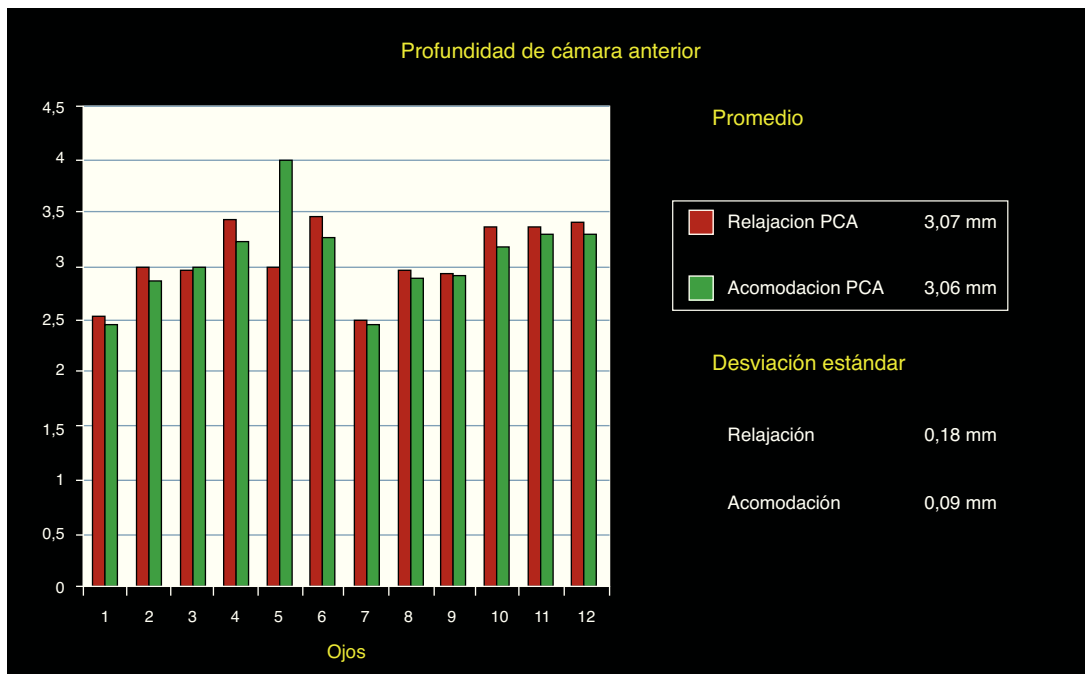


Figura 2 Profundidad de cámara anterior.

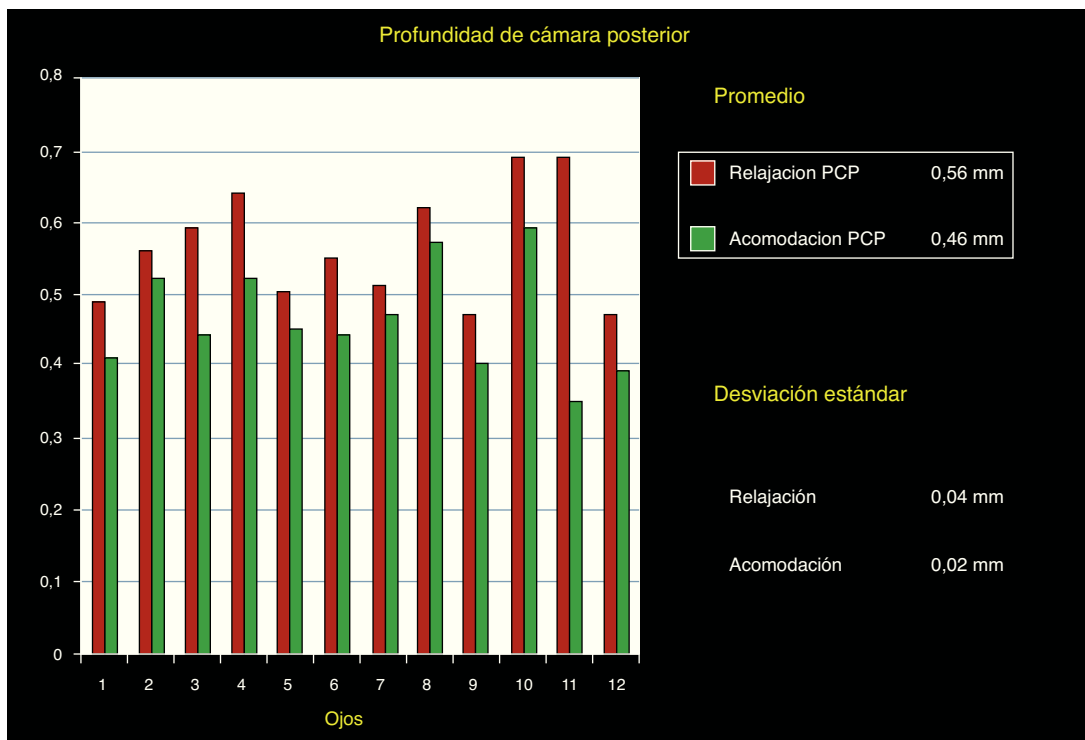


Figura 3 Profundidad de cámara posterior.

las condiciones de infraestructura, de manera que se optó por establecer el primer punto de fijación a 150 cm con lo que intencionalmente inducimos 1.75 dioptrías de acomodación y a 33 cm con lo cual la acomodación era de 3 dioptrías. Además, debido a que existen pocos reportes que evidencien cambios dinámicos de estas estructuras se decidió realizar el

estudio solo en jóvenes dejando para otro momento la posibilidad de llevar a cabo un estudio en el que la población a evaluar sea de personas por arriba de 60 años en quienes en teoría existe escasa acomodación y así posteriormente comparar ambos grupos y evidenciar si existen diferencias en cuanto a dinámica de movimiento y qué estructuras

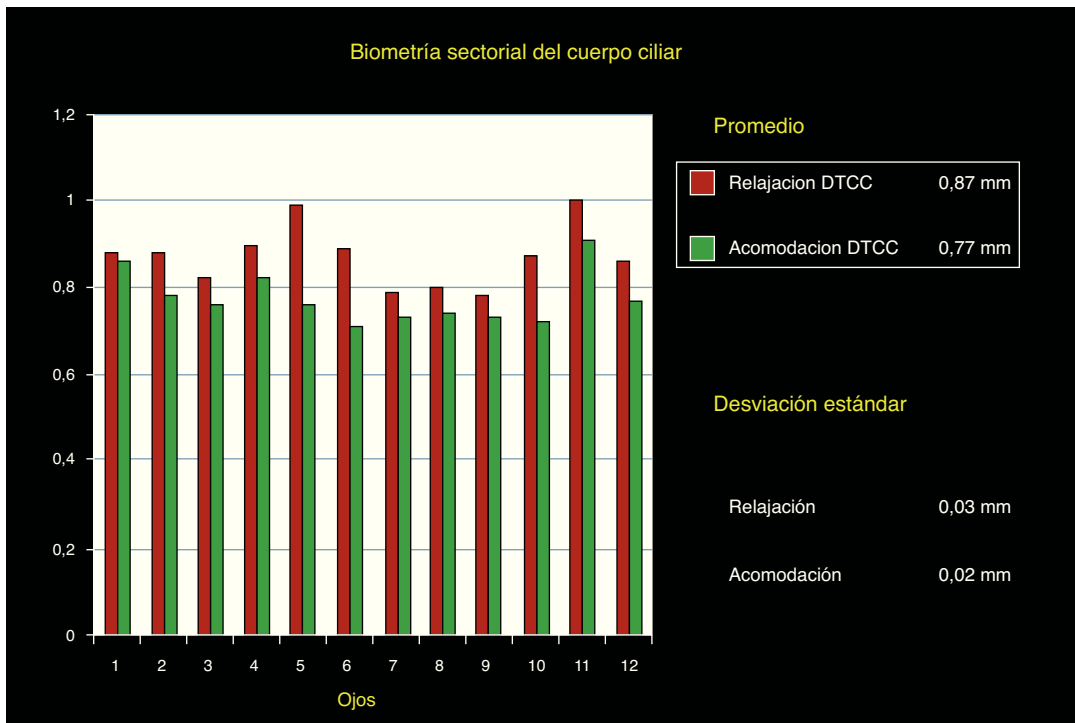


Figura 4 Biometría sectorial del cuerpo ciliar.

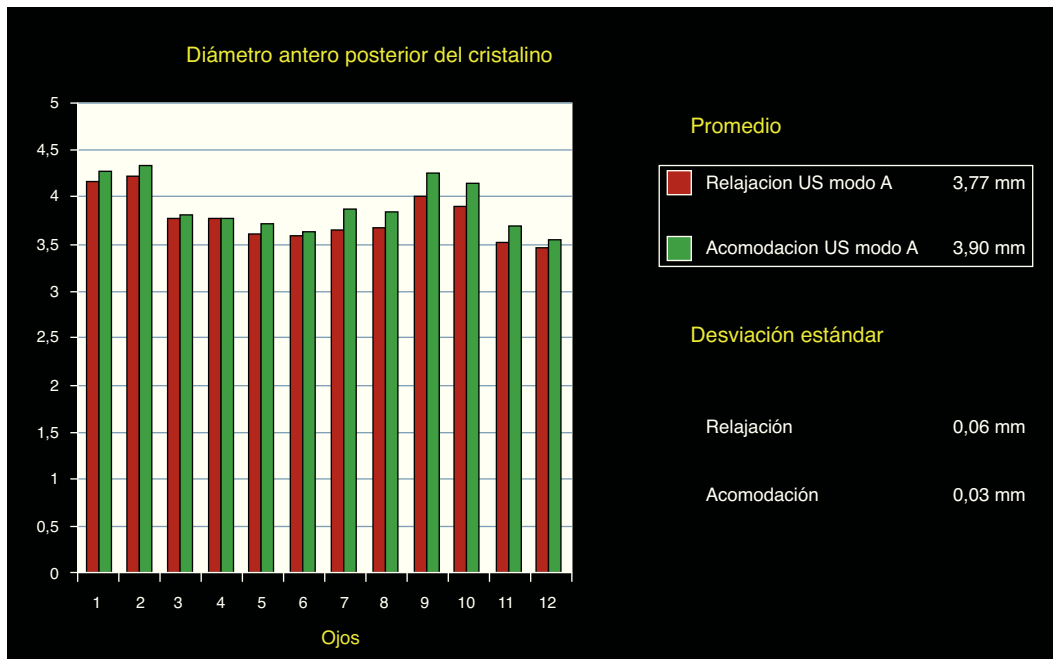


Figura 5 Diámetro anteroposterior del cristalino.

son las que manifiestan mayores cambios a través del UBM ya que al utilizar US de alta frecuencia (50 Mhz) visualiza en forma detallada estructuras del segmento anterior del globo ocular *in vivo* con un campo acústico de 5 × 5 mm y con ello brinda una alta resolución pero escasa penetración siendo posible evaluar las dimensiones de cámara anterior, cámara posterior y cuerpo ciliar. El US modo A nos aporta

información exacta de la ubicación de la interface reflectante de la superficie anterior y posterior del cristalino; los ecos son representados con picos verticales que se elevan desde una línea de base<sup>5,6</sup>.

Bacskulin et al. reportaron un estudio realizado con UBM en donde evaluaron cambios morfológicas en el músculo ciliar, incluyeron a 105 pacientes en edades que fluctuaban

**Tabla 1** Resultados en la evaluación dinámica

Estructura	Promedio R/A	Desviación estándar R/A
PCA	3.07/3.06	0.18/0.19
PCP	0.56/0.46	0.04/0.02
CC sectorial	0.87/0.77	0.03/0.02
Cristalino	3.77/3.90	0.06/0.03

CC: cuerpo ciliar; PCA: profundidad de cámara anterior; PCP: profundidad de cámara posterior; R/A: relajación/acomodación).

entre los 10 y los 91 años de edad, obteniendo resultados variables en cuanto a las mediciones sectoriales del músculo ciliar durante acomodación. Asimismo mencionan que el software del UBM podría ser de utilidad para investigaciones futuras en la evaluación de causas de presbicia<sup>9,10</sup>.

Schachar, quien es uno de los autores que hasta el momento ha realizado más investigaciones sobre el mecanismo de acomodación, reportó un estudio en el cual utilizó tomografía de coherencia óptica en 9 pacientes en el cual determina que durante la acomodación existe un incremento en la tensión en la cápsula anterior del cristalino por lo que supone que además la tensión de la zónula se encontraría incrementada<sup>3,15</sup>; y si esto fuera así, se contraponen a la hipótesis propuesta por Helmholtz con respecto a que durante la acomodación disminuye la tensión a nivel de la zónula, lo que permite que el cristalino aumente su curvatura central.

Sabemos que la zónula tiene una participación importante en la dinámica de este mecanismo; no obstante, debido a las diferentes inserciones que presenta tanto en pars plana como en pars plicata y diferentes áreas de la cápsula del cristalino y sobre todo debido a la baja reflectividad que presenta esta estructura por UBM, se hace difícil obtener imágenes evidentes que nos permitan evaluar con precisión la dinámica de esta estructura<sup>3</sup>.

## Conclusiones

En el presente estudio, durante la evaluación dinámica por UBM fue posible observar y medir de manera dinámica cambios en las dimensiones de la cámara anterior, cámara posterior y cuerpo ciliar.

Asimismo por US modo A fue posible evaluar el cristalino de manera dinámica, observamos aumento en su dimensión anteroposterior cuando el paciente mantenía fijación a 33 cm con el ojo contralateral al evaluado y también se hizo evidente la disminución del diámetro anteroposterior del cristalino cuando se indicaba al paciente que cambiara la fijación del ojo contralateral al punto de fijación distante que se localizaba a 150 cm.

Los cambios que adoptan las estructuras ya mencionadas fueron muy similares en todos los pacientes evaluados debido a que las condiciones de las pruebas fueron previamente estandarizadas, lo cual es independiente del error refractivo.

A pesar de que el mecanismo de acomodación ha sido tema de investigación por diferentes autores a lo largo de 400 años de historia, aún se requiere de una apreciación más detallada de la anatomía de estructuras que «como

un todo» o «como una unidad» se coordinan para propiciar la secuencia de eventos fisiológicos que hacen posible que ocurran cambios en las dimensiones anatómicas de todas las estructuras involucradas en este mecanismo que darán como resultado el enfoque de imágenes u objetos a cierta distancia.

Sabemos que con el paso de los años este fenómeno o mecanismo al cual debemos el poder enfocar imágenes en la retina se va deteriorando hasta prácticamente desaparecer (a lo que llamamos presbicia) y es entonces cuando se requiere de ayuda óptica externa para lograr enfocar imágenes solo a cierta distancia predeterminada por lo tanto. Hoy en día pensamos que con el advenimiento de la tecnología y la creación de nuevos equipos se hará posible no solo evidenciar en forma objetiva el comportamiento dinámico de todas las estructuras que están inmersas en este mecanismo y que el paso de los años va deteriorando, sino también llevar a la búsqueda en un futuro no muy lejano de nuevos tratamientos que corrijan o retarden la presbicia.

## Responsabilidades éticas

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

## Financiamiento

Los autores no recibieron patrocinio para llevar a cabo este artículo.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Bibliografía

- Duke Elder S, Waybar KC. *The anatomy of the visual system.* En: Duke Elder S, editor. *System of ophthalmology*, 2. London: Henry Kimpton; 1961. p. 80–1.
- Almog Y. A Benign syndrome of transient loss of accommodation in young patients. *Arch Ophthalmol.* 2008;126:1643–6.
- Schachar RA, Koivula A. The stress on the anterior lens surface during human in vivo accommodation. *Br J Ophthalmol.* 2008;92:348–50.
- Glasser A, Kaufman PL. *Fisiología del ojo* (10.ª ed.). Capítulo 7: Acomodación y presbicia. Madrid: Elsevier España. p. 197-233.
- Schachar RA. Zonular function: A new hypothesis with clinical implications. *Ann Ophthalmol.* 1994;26:36–8.

6. Schachar RA, Davila C, Pierscionek BK, et al. The effect of human in vivo accommodation on crystalline lens stability. *Br J Ophthalmol*. 2007;91:790-3.
7. Weeber HA, van der Heijde RG. Internal deformation of the human crystalline lens during accommodation. *Acta Ophthalmol*. 2008;86:642-7.
8. Pavlin CJ, Foster FS. Ultrasound biomicroscopy of the eye; Chapter 3. New York: F. Springer; 1995. p. 132-43.
9. Glasser A, Croft MA, Brumback L, et al. A morphometric ultrasound biomicroscopic. Study of the aging rhesus monkey ciliary region. *Optom Vis Sci*. 2000. En prensa.
10. Bacskulin A, Martin H, Kundt G, et al. Analysis of the dynamics of the ciliary muscle during accommodation. *Ophthalmology*. 2000;97:855-9.
11. Glasser A, Kaufman PL. The mechanism of accommodation in primates. *Ophthalmology*. 1999;106:863-72.
12. Stachs O, Martin H, Kirchhoff A, et al. Monitoring accommodative ciliary muscle function using three-dimensional ultrasound. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2002;40:906-12.
13. Schachar RA, Cudmore DP, Black TD. Experimental support for Schachar's hypothesis of accommodation. *Arch Ophthalmol*. 1993;25:404.
14. Schachar RA, Black TD, Kash RL, et al. The mechanism of accommodation and presbyopia in the primate. *Ann Ophthalmol*. 1995;27:59-67.
15. Schachar RA. References are required for measurement of OCT images. *J Cataract Refract Surg*. 2005;31:257-8.