

CABEZA Y CUELLO/ ACTUALIZACIÓN EN RADIOLOGÍA

La ultrabiomicroscopía en la acomodación

J. Leiro^a, S. Facal^a, G. Benozzi^a, C. Pérez^a, B. Orman^b y J. Benozzi^{a,*}

^aCentro de Investigación Avanzada para la Presbicia, Buenos Aires, Argentina

^bCátedra de Farmacología, Facultad de Odontología, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

Recibido en julio de 2013; aceptado en octubre de 2013

PALABRAS CLAVE

Acomodación;
Ultrabiomicroscopía;
Presbicia

Resumen El objetivo de este estudio es conocer el comportamiento biométrico de las estructuras oculares que participan en la acomodación. Para estudiar los cambios biométricos de las estructuras del segmento anterior del globo ocular, *in vivo* y durante la acomodación, hemos elegido el ultrasonido de alta frecuencia.

Se estudiaron 75 pacientes divididos en 3 grupos, según su rango etario: grupo 1, de 30 a 45 años; grupo 2, de 46 a 60 años, y grupo 3, de 61 a 70 años.

Los resultados obtenidos nos muestran cómo varían la forma y la dimensión de las estructuras del segmento anterior y las relaciones entre sí, permitiendo conocer sus comportamientos en la pérdida de la acomodación de los distintos grupos etarios estudiados.

Esta técnica permite una evaluación biométrica, morfológica y funcional del segmento anterior, incluyendo la cápsula posterior del cristalino y los cambios del cuerpo ciliar (que no hemos logrado estudiar con otras técnicas). La ultrabiomicroscopía posibilita la visualización durante la acomodación de las cápsulas anterior y posterior del cristalino, la zónula con sus inserciones en la cápsula ecuatorial y el cuerpo ciliar, y la úvea anterior en relación con el cristalino. Las imágenes ultrasónicas obtenidas representan las estructuras del segmento anterior y sus modificaciones *in vivo* y en tiempo real durante la acomodación.

El ultrasonido ha mostrado ser el método diagnóstico más adecuado para esta investigación. © 2013 Sociedad Argentina de Radiología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Accommodation;
High-frequency
ultrasound;
Presbyopia

The ultrabiomicroscopy during the accommodation

Abstract The aim of this study is to understand the biometric behaviour of the ocular structures involved during accommodation. We chose high-frequency ultrasound to study ocular globe anterior segment structures biometric changes *in vivo* and during accommodation.

This technique allows biometric screening, morphological and functional anterior segment, including the posterior lens capsule and changes of the ciliary body that we have failed to study

*Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jbenozzi@hotmail.com (J. Benozzi).

with other techniques. The ultrabiomicroscopy allows visualization during accommodation of the anterior and posterior capsules of the lens, the zonules with insertions in the equatorial capsule and the ciliary body and anterior uvea relative to the lens. The ultrasound images obtained represent the anterior segment structures and their modifications *in vivo* and in real time during accommodation.

We studied 75 patients divided into three groups according to age range: Group 1 from 30 to 45 years, Group 2 of 46-60 years, and Group 3 of 61-70 years.

The results obtained show how they vary the shape and size of anterior segment structures and relationships with each other, allowing to know their behavior in the loss of accommodation of different age groups studied

Ultrasound has proven to be the most appropriate diagnostic method for this research.

© 2013 Sociedad Argentina de Radiología. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La ultrabiomicroscopía (UBM) es un estudio por imágenes del segmento anterior del globo ocular que utiliza los principios físicos del ultrasonido (US). Este último permite estudiar ecográficamente el globo ocular con la técnica de inmersión (poco invasiva). La frecuencia empleada es mayor al límite superior de la audición humana (de 4 a 100 MHz), mientras que la UBM utiliza frecuencias superiores a los 30 MHz^{1,2}.

Quando el sonido atraviesa medios de distinta densidad (impedancia acústica), se produce un «eco» que representa la parte reflejada del US. Solo las interfaces generan un eco de retorno al transductor y este lo transforma en una señal eléctrica. El US tiene una velocidad de conducción diferente, dependiendo del medio que atraviesa (lo cual permite medir las estructuras del globo ocular)³.

Los pulsos eléctricos son procesados de 2 modos: el modo A, método unidimensional, que informa las interfaces mediante espigas desde una línea base; y el modo B, sección acústica bidimensional, que muestra múltiples ecos de diferente reflectividad⁴.

La resolución de las imágenes obtenidas depende de la frecuencia elegida: a mayor frecuencia, mayor resolución y mayor precisión en la medición sobre la imagen.

Durante el proceso acomodativo se producen cambios anatómicos que permiten enfocar un objeto situado a diferentes distancias. En este proceso, el músculo ciliar se contrae, la pupila cambia su tamaño y los ojos convergen (acomodación activa)⁵. Al producirse esta contracción, se genera un cambio conformacional y posicional del cristalino (acomodación pasiva). La amplitud de la acomodación depende de estos cambios activos y pasivos.

En la acomodación, el músculo ciliar se desplaza centripetamente y se acerca a la cara posterior del iris, mientras las fibras zonulares se relajan, permitiendo al cristalino adoptar una forma esferoidal y disminuir el radio de curvatura de sus caras anterior y posterior⁶. La contracción del músculo ciliar aumenta el espesor cristalino, desplazándolo anteriormente y disminuyendo la profundidad de la cámara anterior⁷. Simultáneamente, el tamaño pupilar disminuye, eliminando así, las aberraciones ópticas de la periferia y aumentando la profundidad de foco⁸.

La acomodación no depende solo de la contracción del músculo ciliar estimulado por el sistema parasimpático, sino

también de la solicitud de la convergencia al centro de la acomodación.

El objetivo de este estudio es conocer el comportamiento biométrico de las estructuras oculares que participan en la acomodación.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio retrospectivo en 75 pacientes divididos en 3 grupos según su rango etario: el grupo 1, de 30 a 45 años ($n = 25$: 12 hombres y 13 mujeres; media \pm ES (Error Estándar): 37 ± 6); el grupo 2, de 46 a 60 años ($n = 25$: 13 hombres y 12 mujeres; 53 ± 7); y el grupo 3, de 61 a 70 años ($n = 25$: 11 hombres y 14 mujeres; 64 ± 2). A todos los pacientes se les realizó un examen oftalmológico completo, tomando en cuenta también la refracción (autorefractómetro Nidek FRK 700A). Se incluyó a aquellos que presentaron una refracción de $\pm 0,75$ dioptrías (expresado como equivalente esférico) y el máximo grado de fusión binocular. Ningún caso presentó patologías oculares o sistémicas.

En el examen oftalmológico se evaluó la agudeza visual lejana con el cartel de optotipos de Snellen, situado a 3 metros del paciente, y la agudeza visual cercana con la cartilla de prueba de Jaeger, colocada a 35 cm del paciente. La biomicroscopía del segmento anterior se realizó mediante una lámpara de hendidura (marco ultra), mientras que la amplitud de acomodación fue calculada con el modo relativo negativo-positivo y la binocularidad se examinó con el sinoptóforo (Oculus®).

La UBM se realizó con el UBM Vumax Dimension 5150 con sonda de 35 MHz, utilizando los modos A y B. Al paciente, en decúbito dorsal, se le instiló una gota de anestésico local (proparacaína 0,5% gotas oftálmicas) y se le colocó entre los párpados una copa con solución fisiológica para obtener una buena conducción del US y mantener la sonda alejada de la córnea. Se le explicó que tenía que enfocar un punto fijo lejano (3 m) y luego uno cercano (35 cm).

Se realizaron 6 vídeos de cada ojo (modo B) en igual condición de acomodación cercana y lejana, sin cambios en la iluminación del ambiente durante el estudio. En cada uno de ellos, se obtuvieron imágenes de captura (*freeze*) para poder medir biométricamente (modo A) la cámara anterior (desde el endotelio corneal hasta la cápsula anterior del

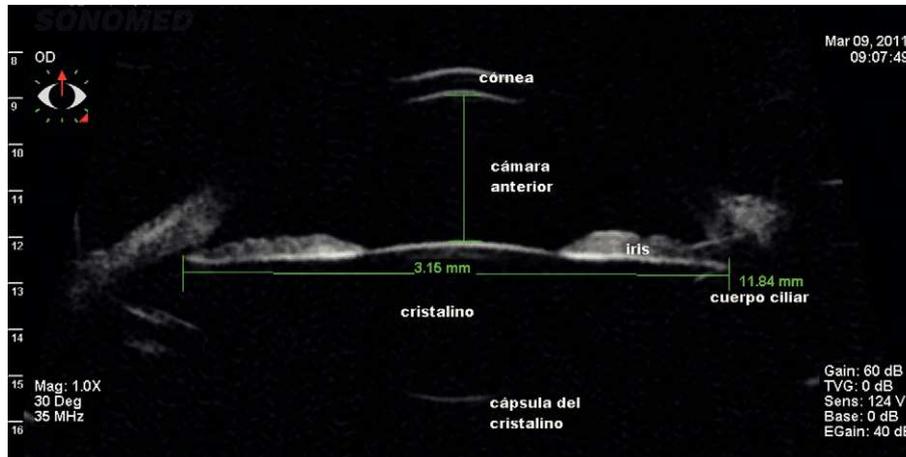


Figura 1 Ultrabiomicroscopía, programa *sulcus to sulcus* de la hora 9 a la hora 3.

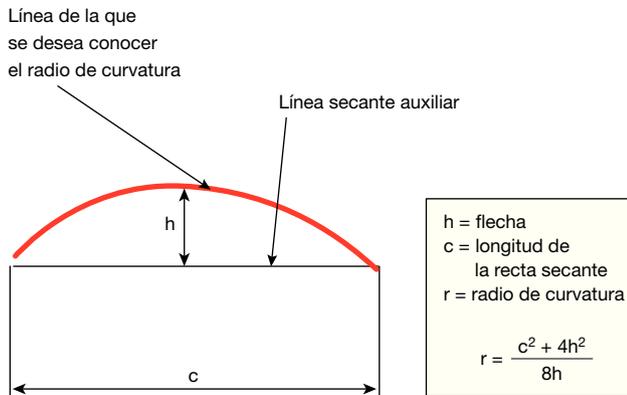


Figura 2 Cuantificación de los radios de curvatura de las cápsulas anterior y posterior del cristalino.

cristalino), el cristalino (distancia entre sus cápsulas) y la distancia desde la córnea hasta el cuerpo ciliar (TCPD).

Las imágenes fueron obtenidas con el programa *sulcus to sulcus* desde la hora 9 hasta la hora 3, tomando como referencia el epitelio pigmentario y la cápsula posterior del cristalino para obtener imágenes centradas. Se trazó una recta paralela al epitelio pigmentario y una segunda recta ortogonal a la anterior (fig. 1). Sobre esta última, se realizaron las mediciones en milímetros tanto de la cámara anterior como del cristalino y su desplazamiento en el eje anteroposterior.

Se realizó la medición de los radios de curvatura^{9,10} de las cápsulas anterior y posterior del cristalino, construyendo una recta secante y llevando a cabo el despeje trigonométrico de su valor (fig. 2).

Para la observación de los cambios ocurridos en la zónula, el cuerpo ciliar y el músculo ciliar se utilizó el programa *angle detail*, realizándose capturas en la hora 12 con *freeze*. Para medir la distancia del endotelio corneal a la superficie anterior del cuerpo ciliar, se utilizó una línea desde la superficie anterior del cuerpo ciliar a un punto del endotelio corneal ubicado a 500 micrones del trabeculado (fig. 3).

Resultados

Los resultados calculados a partir de la biometría obtenida de las imágenes con visión lejana y cercana se muestran en la tabla 1.

A través de los estudios se evidenciaron cambios en el segmento anterior y en la visión lejana y cercana de los 3 grupos estudiados. El grupo 1 (30-45 años) presentó una variación de 2,1% ($p = 0,0217$) en la distancia entre el endotelio corneal y la cápsula posterior del cristalino durante la acomodación de la visión cercana y lejana. El espesor del cristalino aumentó por la disminución de sus radios de curvatura, presentándose más curvos mientras se desplazaban hacia delante. A su vez, el tamaño de la cámara anterior disminuyó (figs. 4a y 4b) y el TCPD se desplazó, cerrando el *sulcus* debido a su contracción (figs. 4c y 4d).

En el grupo 2 (46-60 años), la variación de la distancia desde el endotelio corneal hasta la cápsula posterior del

Figura 3 Ultrabiomicroscopía, programa ángulo hora 12. Distancia entre un punto a 500 micrones del trabeculado y los procesos ciliares en una línea perpendicular al iris.

Tabla 1 Resultados calculados a partir de las imágenes obtenidas por ultrabiomicroscopía

	Cercana (mm)	Lejana (mm)	Variación %	Valor p
<i>Grupo 1</i>				
Córnea a cápsula posterior de cristalino	6,81 ± 0,3	6,67 ± 0,33	2,1%	0,0217*
Cristalino	3,88 ± 0,19	3,71 ± 0,1	4,7%	P < 0,0001*
Cámara anterior	2,92 ± 0,1	2,96 ± 0,1	-1,4%	0,0483*
TCPD	0,69 ± 0,03	0,82 ± 0,04	-15,9%	P < 0,0001*
Radio de curvatura cápsula anterior	3,17 ± 0,15	4,83 ± 0,2	-34,4%	P < 0,0001*
Radio de curvatura cápsula posterior	1,92 ± 0,09	2,47 ± 0,1	-22,3%	P < 0,0001*
<i>Grupo 2</i>				
Córnea a cápsula posterior de cristalino	6,75 ± 0,3	6,69 ± 0,3	0,9%	0,3198
Cristalino	4,14 ± 0,2	4,04 ± 0,2	2,5%	0,0141*
Cámara anterior	2,62 ± 0,1	2,66 ± 0,1	-1,0%	0,0483*
TCPD	0,79 ± 0,03	0,81 ± 0,04	-2,5%	0,0057*
Radio de curvatura cápsula anterior	3,75 ± 0,17	4,81 ± 0,18	-28,2%	P < 0,0001*
Radio de curvatura cápsula posterior	2,14 ± 0,1	2,42 ± 0,1	-13,1 %	P < 0,0001*
<i>Grupo 3</i>				
Córnea a cápsula posterior de cristalino	6,82 ± 0,34	6,79 ± 0,33	0,4%	0,6553
Cristalino	4,54 ± 0,22	4,52 ± 0,22	0,4%	0,6504
Cámara anterior	2,24 ± 0,11	2,25 ± 0,11	-0,4%	0,6504
TCPD	0,69 ± 0,03	0,70 ± 0,03	-1,4%	0,0988
Radio de curvatura cápsula anterior	3,83 ± 0,18	3,85 ± 0,1	-2,4%	0,4938
Radio de curvatura cápsula posterior	2,01 ± 0,21	2,10 ± 0,23	-4,3%	0,0437*

TCPD: distancia desde la córnea hasta el cuerpo ciliar.

En la última columna se expresa la variación porcentual entre la visión cercana y lejana. Diferencias estadísticamente significativas son consideradas con un valor de $p < 0,05$ (*), utilizando la prueba t-Student.

cristalino, en la acomodación entre la visión cercana y lejana, disminuyó a 0,9% ($p = 0,3198$) (figs. 5a y 5b). Además, se redujo la variación en los radios de curvatura, al igual que el espesor del cristalino. La contracción del músculo ciliar fue menor, por lo que disminuyó la distancia de la superficie del TCPD (figs. 5c y 5d).

En el grupo 3 (61-75 años), el cristalino presentó mínimas modificaciones con respecto a los radios de curvatura y su espesor, la profundidad de la cámara anterior (figs. 6a y 6b) y el TCPD (figs. 6c y 6d).

Discusión

La UBM es una herramienta eficaz para medir y visualizar los cambios biométricos y morfológicos que se producen durante la acomodación. El ultrabiomicroscopio con una sonda de 35 MHz¹¹ nos brinda una imagen en tiempo real de 8 mm de profundidad desde la superficie anterior de la córnea hasta la cápsula posterior del cristalino, permitiendo observar las características de este último sin importar las opacidades de los medios¹². Este instrumento cuenta con 2 modos de US: el modo A, que muestra eco-picos sobre una línea basal isoelectrónica que indica 0% de reflectividad (pudiendo llegar a tener 100% de reflectividad, según las características del tejido que se examine); y el modo B, que muestra una imagen bidimensional y cuenta con una secuencia de imágenes de 100 cuadros en modo B, en forma de vídeo. Las mediciones obtenidas de la forma y posición del cristalino, el cuerpo ciliar, el iris, la pupila y la cámara anterior, enfo-

cando a distintas distancias, permiten una evaluación más objetiva de los cambios producidos en la acomodación¹³.

Se sabe que la acomodación disminuye progresivamente a partir de los 3 años de edad¹⁴ y que depende, por un lado, del hipotálamo regulado por el sistema nervioso autónomo y, por otro, de la convergencia relacionada con los pares craneales.

En este trabajo mostramos lo que sucedió morfológica y biométricamente en la acomodación en 3 grupos etarios. En el grupo 1 (30-45 años) se observó la gran capacidad de cambio que tiene el TCPD para modificar las diferentes estructuras del segmento anterior del globo ocular. En el grupo 2 (46-60 años), en el cual se incluyó a los pacientes presbítas, estas modificaciones fueron menores a expensas de la escasa variación del TCPD, mientras que en el grupo 3 (61-75 años) el segmento anterior no presentó variación en las diferentes distancias de la mirada.

Hasta el momento, la evaluación de la función acomodativa se ha realizado a partir de estudios clínicos, con resultados subjetivos y gran variación en los resultados del análisis de un mismo sujeto. Existen varios exámenes que permiten la valoración clínica de la acomodación, pero los más utilizados se muestran en la tabla 2.

Estos estudios, entre otros, arrojan valores clínicos subjetivos de la acomodación, pero no explican anatómicamente cómo se produce y cuáles son los cambios en el segmento anterior. Además, existen otros instrumentos^{15,16}, como el Pentacam, que permiten un diagnóstico no invasivo con base en la cámara rotatoria de Scheimpflug, produciendo imágenes tridimensionales del segmento anterior del ojo. En este



Figura 4 Paciente Grupo 1. Ultrabiomicroscopía. (a) En visión lejana. (b) En visión cercana. (c) Distancia desde la córnea hasta el cuerpo ciliar en visión lejana. (d) Distancia desde la córnea hasta el cuerpo ciliar en visión cercana.

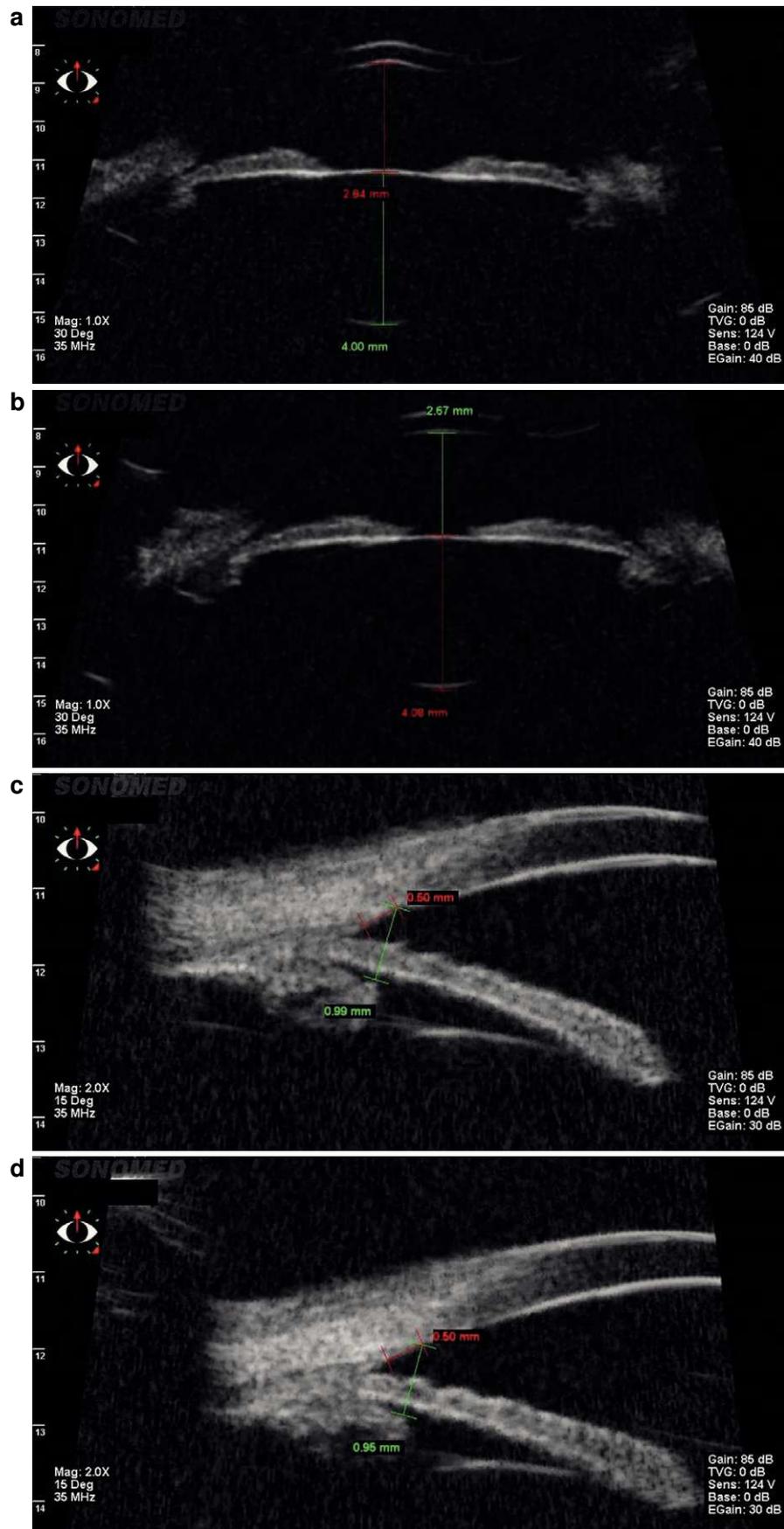


Figura 5 Paciente Grupo 2. Ultrabiomicroscopía. (a) En visión lejana. (b) En visión cercana. (c) Distancia desde la córnea hasta el cuerpo ciliar en visión lejana. (d) Distancia desde la córnea hasta el cuerpo ciliar en visión cercana.



Figura 6 Paciente Grupo 2. Ultrabiomicroscopía. (a) En visión lejana. (b) En visión cercana. (c) Distancia desde la córnea hasta el cuerpo ciliar en visión lejana. (d) Distancia desde la córnea hasta el cuerpo ciliar en visión cercana.

Tabla 2 Métodos subjetivos para la valoración de la acomodación

Parámetro	Método
Rango máximo de acomodación	Método de Donders Método de Scheard
Postura acomodativa	Cilindros cruzados fusionados Método de estimulación monocular
Acomodación relativa	Positiva/ negativa
Flexibilidad acomodativa	Test de los flippers
Valoración clínica del alineamiento motor	<i>Cover test</i> Medida de las forias Varilla de Maddox
Valoración clínica de las vergencias	Punto próximo de convergencia Evaluación de la vergencia fusional positiva-negativa
Medición de la convergencia acomodativa	Método de gradiente

método, la fuente de luz consiste en un led (*Light-Emitting Diode*) libre de rayos ultravioletas que incide sobre la superficie de la córnea en forma de hendidura. En 2 segundos, se obtienen 50 imágenes desde la superficie anterior de la córnea hasta la cara posterior del cristalino y, luego, estas se digitalizan en la unidad central y se envían a la computadora para calcular un modelo tridimensional a partir del cual se genera la información. Dado que este método no es capaz de atravesar medios no translúcidos, no es posible obtener imágenes detrás del iris.

En cuanto al biómetro Lenstar, este utiliza como principio físico una luz láser diodo (interferometría de Michelson). El haz luminoso de banda ancha en el espectro infrarrojo se divide en 2 haces en el divisor, uno es dirigido al espejo de distancia conocida y el otro a la retina. Cuando ambos reflejos coinciden, se produce el fenómeno de interferencia, ya que, al conocerse uno de los datos, la incógnita se despeja matemáticamente. Este registro se repite múltiples veces para obtener una imagen tridimensional, pero necesita transparencia para obtener una señal detectable^{17,18}.

La gran variabilidad biométrica encontrada en la población requiere un análisis objetivo, dinámico, *in vivo* y reproducible^{19,20}. La UBM es hasta el momento la herramienta más poderosa con la que contamos para medir y visualizar los cambios biométricos y morfológicos. Además, nos permite evaluar la función acomodativa.

Conclusión

Este estudio pretende colaborar en el conocimiento objetivo de los cambios biométricos y morfológicos del segmento anterior del globo ocular durante la acomodación en la visión cercana y lejana de los pacientes adultos. El US ha demostrado ser el método diagnóstico más adecuado para esta investigación. Los resultados obtenidos nos permitieron observar cómo varían la forma y la dimensión de las estructuras del segmento anterior y las relaciones entre sí, permitiendo conocer también sus comportamientos en la pérdida de la acomodación de los distintos grupos etarios estudiados.

Conflicto de intereses

Los autores del trabajo declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Pavlin CJ, Harasiewicz K, Sherar MD, Foster FS. Clinical use of ultrasound biomicroscopy. *Ophthalmology*. 1991;98:287-95.
- Pavlin CJ, Foster FS. Ultrasound biomicroscopy of the eye. Nueva York: Springer-Verlag; 1995; p. 3-28.
- Mundt GH Jr, Hughes WF Jr. Ultrasonics in ocular diagnosis. *Am J Ophthalmol*. 1956;41:488-98.
- Till P, Ossining KC. First experiences with a solid tissue model for the standardization of A- and B-scan instruments in tissue diagnosis. En: White D, Brown RE, eds. *Ultrasound in medicine*. Nueva York: Plenum Press; 1977; p. 2167-74.
- Helmholtz H. *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Leopold Voss; 1877; p. 116-23.
- Graner LF, Yap MK. Changes in ocular dimensions and refraction with accommodation. *Ophthalmic Physiol Opt*. 1997;17:12-7.
- Glasser A. Restoration of accommodation. *Curr Opin Ophthalmol*. 2006;17:12-8.
- Gullstrand, A. *Einführung in die Methoden der Dioptrik des Auges des Menschen*. Leipzig: Verlag; 1911; p. 45-6.
- Fosales P, Dubbelman M, Marcos S, van der Heijde R. Crystalline lens radii of curvature from Purkinje and Scheimpflug imaging. *J Vis*. 2006;19:1057-67.
- Tanuj D, Ritu G, Sujith V, Anand A, Ramanjit S. Anterior segment imaging in ophthalmology: ultrasound biomicroscopy, anterior segment OCT Pentacam. Nueva Delhi: Jaypee Brothers Medical Publishers (P) Ltd; 2007; p. 63-5.
- Shung KK. High frequency ultrasonic imaging. *J Med Ultrasound*. 2009;17:25-30.
- Cronemberger S, Marigo FA, Calixto N. Biomicroscopia ultra-sônica. En: Yamane R, editor. *Semiología ocular*. Río de Janeiro: Cultura Médica; 2003; p. 367-85.
- Ostrin L, Kasthurirangan S, Win-Hall D, Glasser A. Simultaneous measurements of refraction and A-scan biometry during accommodation in humans. *Optom Vis Sci*. 2006;83:657-65.
- Benozzi J. Patología ocular infantil y su relación con el crecimiento ocular. *Rev Arg de Ultrasonido*. 1999;5:43-55.
- Richdale K, Bullimore MA, Zadnik K. Lens thickness with age and accommodation by optical coherence tomography. *Ophthalmic Physiol Opt*. 2008;28:441-7.

16. Win-Hall DM, Glasser A. Objective accommodation measurements in prepresbyopic eyes using an autorefractor and an aberrometer. *J Cataract Refract Surg.* 2008;34:774-84.
17. Kasthurirangan S, Markwell EL, Atchison DA, Pope JM. MRI study of the changes in crystalline lens shape with accommodation and aging in humans. *J Vis.* 2011;11.pii:19.
18. Díaz-Doutón F, Luque S, Arjona M, Pujol J, Sanabria F, Güell JL, et al. Determinación de la calidad óptica del ojo humano mediante la técnica del doble paso. *Revista Microcirugía Ocular.* 2002 [consultado Ago 2013]. Disponible en: <http://www.oftalmo.com/secoir/secoir2002/rev02-4/02d-03.htm>;4.
19. Benozzi J, Manzitti E, Gamio S, Damel A. Evolución biométrica del crecimiento ocular. *Archivos de Oftalmología de Bs As.* 1993;68:337-47.
20. Benozzi J, Manzitti E, Damel A, Gamio S. Nuevas consideraciones biométricas en el glaucoma congénito. *Archivos de Oftalmología de Bs As.* 1990;65:83-95.