

El cristalino del ojo joven: una fuente de inspiración para lentes intraoculares

Susana Marcos (Instituto de Óptica “Daza de Valdés, Consejo Superior de Investigaciones Científicas)

No cabe duda de que la cirugía de cataratas es uno de los procedimientos que más deprisa ha evolucionado en los últimos años. A ello ha contribuido la adopción de nuevas técnicas quirúrgicas, avances en los materiales (que han permitido el plegado de las lentes y su inserción por incisiones cada vez más pequeñas), y, en buena medida, la sofisticación de los diseños ópticos de las lentes intraoculares. De este modo, la cirugía de cataratas ha pasado de tener como único objetivo la eliminación de la opacidad cristaliniiana -devolviendo la transparencia del ojo joven-, a ser también un procedimiento refractivo. Pero es más, en los últimos años, diseños asféricos tienen como objetivo la eliminación de la aberración esférica, y crece el número de diseños multifocales –que persiguen dotar al ojo de una profundidad de foco extendida- y más lejos aún, de diseños acomodativos –que pretenden emular la capacidad acomodativa del ojo joven-. El funcionamiento del cristalino del ojo joven es fuentes de inspiración para estos nuevos dise-

ños de lentes intraoculares. La investigación de las propiedades ópticas y estructurales del cristalino, del proceso de acomodación y de su envejecimiento es esencial para el avance de nuevos diseños.

El cristalino del ojo: Investigación de sus propiedades ópticas y estructurales

El cristalino humano es extremadamente com-

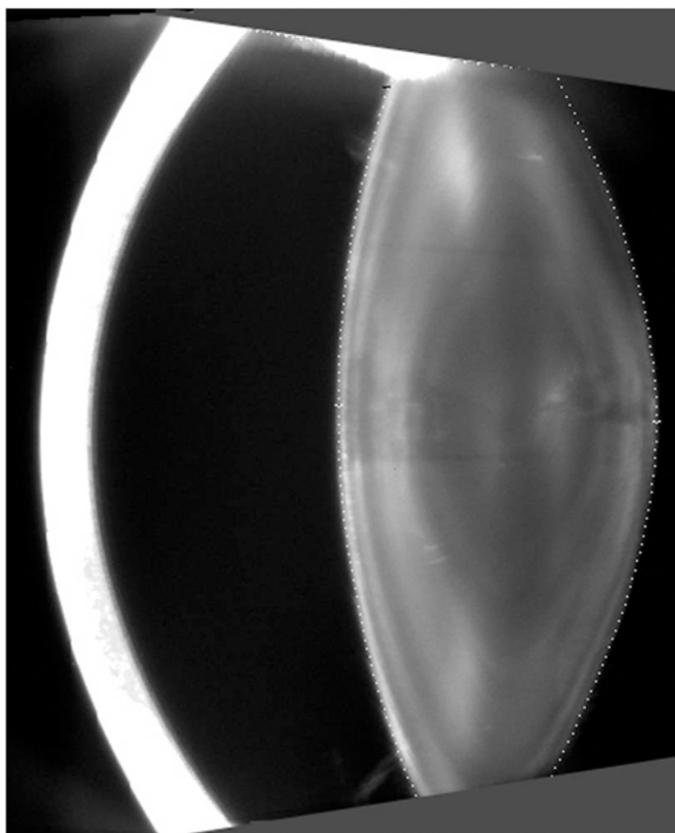
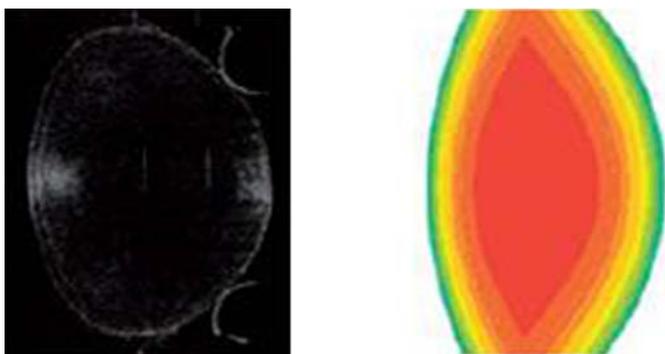


Imagen de Scheimpflug corregida del segmento anterior del ojo (Rosales et al. JOV 2006)

plejo. Hasta la fecha los datos en la literatura sobre sus propiedades ópticas y geométricas

han sido bastante controvertidos, debido fundamentalmente a las diferencias entre medidas realizadas sobre cristalinos aislados in vitro (máximamente acomodados) y el cristalino in vivo, y sobre todo a las distorsiones de las medidas in vivo mediante técnicas de imagen. Técnicas de imagen como Scheimpflug o



Sección OCT de un cristalino in vitro (41 años) y correspondiente reconstrucción tomográfica del gradiente de índice (de Castro et al. JMO 2011)

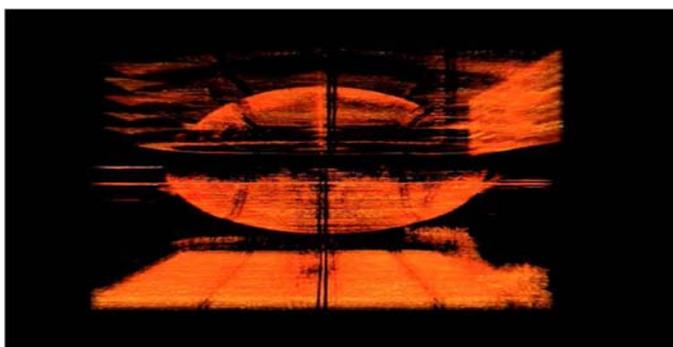
Tomografía de Coherencia Óptica distorsionan las imágenes por la configuración geométrica del instrumento, y por la observación del cristalino a través de superficies refractivas, por lo que deben ser corregidas para la obtención de datos cuantitativos. Además, el cristalino del ojo se trata de una estructura de gradiente de índice (índice de refracción variable del centro a la periferia) Curiosamente, en el ojo joven, la aberración esférica de la cornea se compensa parcialmente con las aberraciones del cristalino (cuya aberración esférica tiende a ser negativa). Además el cristalino del ojo joven es capaz de cambiar la forma de sus superficies para enfocar objetos lejanos y cercanos (capacidad que se conoce como acomodación). El cristalino se encuentra conectado al músculo ciliar a través del cuerpo ciliar y las zónulas alrededor del ecuador del cristalino. Un estímulo acomodativo provoca la contracción del músculo ciliar, el avance del cuerpo ciliar

y la relajación de las zónulas, de manera que la cápsula elástica que contiene el cristalino lo moldea en una forma más esférica, permitiendo enfocar los objetos más cercanos.

Con el envejecimiento, disminuyen los radios de curvatura del cristalino y cambia la distribución del gradiente de índice, provocando un cambio de su aberración esférica hacia valores más positivos, de modo que se pierde la compensación de la aberración esférica positiva de la cornea que ocurre en el ojo joven. Además, con la edad, a pesar de que el músculo ciliar y la cápsula conservan la mayor parte de su función, el cristalino pierde su elasticidad, de modo perdiendo por tanto la capacidad de acomodación.

Imitando la aberración esférica del cristalino joven: lentes intraoculares asféricas

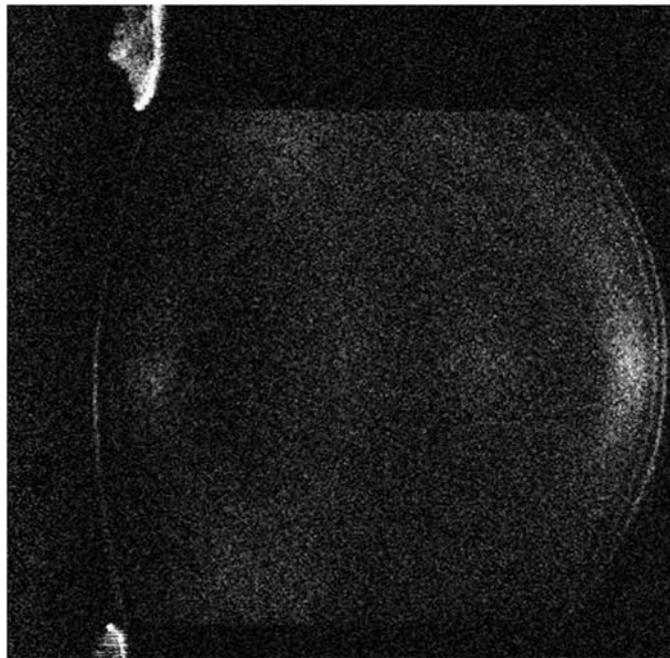
Las lentes intraoculares monofocales convencionales están dotadas de superficies esféricas. Con esta geometría es posible conseguir la potencia deseada, pero la aberración esférica de la lente es inevitablemente positiva. Sin embargo, la aberración esférica del cristalino joven es negativa, compensando, al menos



Primera imagen tridimensional OCT de un cristalino (de Castro et al. Opt. Express 2010)

parcialmente la aberración esférica de la cornea. En los últimos años se ha desarrollado

una nueva generación de lentes con superficies esféricas que pretenden emular esta característica del ojo joven. Existen lentes con



Sección OCT de un cristalino humano acomodando, in vivo (Grulkowski et al. Opt Expr 2010)

geometría esférica en la cara posterior, en la cara anterior o ambas caras, y dependiendo del modelo, están diseñadas con una aberración esférica negativa tal que corrija total o parcialmente la aberración esférica positiva promedio de la población, o no inducir aberración esférica. Este tipo de lentes mejoran la calidad óptica del ojo al disminuir sus aberraciones, reduciendo también en general la tolerancia al desenfoque. Al tratarse de lentes monofocales, el paciente sólo estará corregido de lejos y dependerá de gafas u otros métodos para la realización de tareas cercanas.

Imitando la capacidad dinámica acomodativa del cristalino joven: lentes acomodativas

El ojo joven es capaz de cambiar su radio de curvatura para acomodar a distintas distancias. La lente intraocular ideal a implantar en

una cirugía de cataratas (y en edades más tempranas en sustitución del cristalino presbita transparente, de funcionar de manera enteramente satisfactoria) sería aquella capaz de cambiar su potencia dinámicamente para enfocar de lejos y de cerca, restaurando por tanto la capacidad acomodativa del ojo.

Existen varias propuestas de lentes acomodativas, y aunque algunas han alcanzado el mercado sólo un modelo ha sido hasta ahora aprobado por la Food and Drug Administration (FDA) americana. Estas lentes pretenden aprovechar la acción del mecanismo acomodativo para cambiar la potencia del ojo, bien desplazando la lente intraocular axialmente, modificando la distancia (axial o lateral) entre dos lentes de una lente intraocular compuesta, o variando el radio de curvatura de las superficies de la lente intraocular. Hasta la fecha, y a pesar de importantes avances técnicos, ninguna de estas lentes ha demostrado proporcionar una amplitud acomodativa significativa o ajustar correctamente la refracción en el estado desacomodado. También se ha explorado el rellenado de la cápsula mediante un polímero en sustitución del cristalino, aunque esta opción se ha topado, entre otros problemas, con la opacificación de la cápsula posterior. No duda cabe que, si bien las lentes intraoculares acomodativas son la solución del futuro para la corrección de la presbicia, aún quedan importantes avances científicos y técnicos por acometer hasta que se conviertan en una alternativa realmente eficaz.

Más Información:

Rosales P, Dubbelman M, Marcos S, van der Heijde R. Crystalline radii of curvature from Purkinje and Scheimpflug imaging". *J. Vision* 2006; 6: 1057-67.

Grulkowski I, Gora M, Szkulmowski M, Gorczynska I, Szlag, D, Marcos S, Kowalczyk A, Wojtkowski M Anterior segment imaging with Spectral OCT system using a high-speed CMOS camera
Opt. Express. 2009; 17: 4842-58.

Ortiz S , Siedlecki D, Grulkowski I, Remon L, Pascual D, Wojtkowski M, Marcos S. Optical distortion correction in OCT for quantitative ocular anterior segment by three-dimensional imaging.
Opt. Express 2010; 18: 2782–96.

de Castro A, Ortiz S , Gamba E, Siedlecki D , Marcos S. Three-dimensional reconstruction of the crystalline lens gradient index from OCT Imaging.
Opt. Express 2010; 18: 21905-17.

de Castro A, Siedlecki D, Borja D, Uhlhorn S, Parel JM, Manns F, Marcos S. Age-dependent variation of the gradient index profile in human crystalline lenses. *J. Mod. Op.* 2011. Published online March 16, 2

Marcos S, Barbero S, Jiménez-Alfaro I. Optical quality and depth of field of eyes implanted with spherical and aspheric intraocular lenses. *J. Refract. Surg.* 2005; 21, 223-35

Glasser A . Restoration of accommodation: surgical options for correction of presbyopia. *Clin. Exp. Optom.* 2008; 91: 279-95.