

Análisis de la robustez del perfil GRIN del cristalino en un modelo esquemático de ojo

Nicolás Blazejewski¹, José A. Díaz¹ *, José Fernández-Dorado²

¹ *Departamento de Óptica. Universidad de Granada. Edificio Mecenas. 18071-Granada*

² *SnellOptics, Prat de la Riba, 35. 08222-Terrassa.*

<http://www.ugr.es/local/jadiaz>

1. Introducción

La estructura interna del cristalino, desde el punto de vista óptico, es un aspecto de gran importancia en la formación de imágenes por parte del ojo humano, así como en la calidad óptica de dichas imágenes. Dado que es bien conocido que dicha estructura es de gradiente de índice (GRIN), se desarrollan en la actualidad diferentes estudios experimentales que intentan caracterizar ese perfil GRIN. Es más, el cristalino, a la par que la córnea, son elementos constituyentes de nuestro ojo que cambian su geometría óptica con la edad del sujeto[1, 2, 3], y en el caso de cristalino, además, cambia el perfil GRIN[4, 5]. Inevitablemente, los datos biométricos nos llevan a que, para modelizar la formación de imágenes en nuestra retina, los modelos de ojo deben considerar que nuestro ojo es un sistema sin simetría de revolución entorno al eje visual.

Recientemente se ha publicado un modelo esquemático de ojo desacomodado y para sujetos emétropes[6], que incluye un único perfil GRIN para el cristalino, y que proporciona un buena bondad en la predicción de la calidad óptica retiniana, todo ello teniendo en cuenta tanto la variación de datos biométricos con la edad, y la demostrada variación del perfil GRIN del cristalino, aunque con ciertas discrepancias[4]. No obstante, en dicho modelo esquemático, se tomó como primera aproximación, que la córnea era un elemento con simetría de revolución, es decir, no era astigmática. Existen datos experimentales que demuestran que la córnea no tiene simetría de revolución[1], por lo que cabe plantearse si parte las discrepancias en la predicción del modelo esquemático anteriormente considerado, se deben en parte a esa errónea modelización de la córnea. Por otra parte, cabe también pensar si el modelo de perfil GRIN del cristalino, es lo suficientemente robusto, como para no verse muy afectado al introducir en el modelo una córnea astigmática. Es decir, ¿el modelo esquemático, al incluir la córnea astigmática, modificaría significativamente el modelo de perfil GRIN del cristalino adoptado?

También hay que considerar que actualmente hay trabajos que postulan la compensación de las aberraciones oculares entre la córnea y el cristalino con la edad, y que tiene que ver con el descentramiento y/o giro que ambos elementos poseen entre si, y con respecto al iris[7, 8, 9, 10]. De hecho este último, podría también afectar a la calidad de imagen puesto que determina el eje visual en el sistema con respecto al lo que sería el eje óptico ocular.

Por tanto, el objetivo de este trabajo es estudiar si manteniendo el perfil GRIN del cristalino adoptado en el modelo esquemático, si incluimos los datos biométricos de la cornea astigmática y su variación con la edad, y permitimos un reposicionamiento del iris y del cristalino, compatible con los datos experimentales que fuese fijo con la edad, el nuevo modelo esquemático ¿mejoraría la bondad en la predicción de la calidad de imagen? Aportamos resultados afirmativos en este sentido que estarían de acuerdo con los trabajos que postulan los mecanismos de compensación de aberraciones oculares con el posicionamiento relativo entre córnea y cristalino.

* e-mail: jadiaz@ugr.es

2. Método

Se ha modificado, en el modelo de ojo esquemático empleado[6] (Fig. 1), la cornea esférica por los datos biométricos actualizados correspondientes a una cornea astigmática que evoluciona con la edad[1]. Manteniendo todos los demás parámetros óculares constantes, incluida la variación del perfil GRIN, se ha dejado como parámetros libres el descentramiento del iris, y el descentramiento y giro del cristalino, con respecto al iris. Dicho modelo esquemático se ha introducido en el software de diseño óptico ZEMAX-EE, y se ha optimizado para que la predicción de la calidad de imagen (MTF) se ajuste a los datos experimentales publicados en trabajos previos[11], en un rango de edades que abarca de los 20 a los 65 años de edad. La optimización se ha realizado con un diámetro pupilar de 6 mm y una longitud de onda de 543 nm, semejantes a los datos experimentales de referencia.

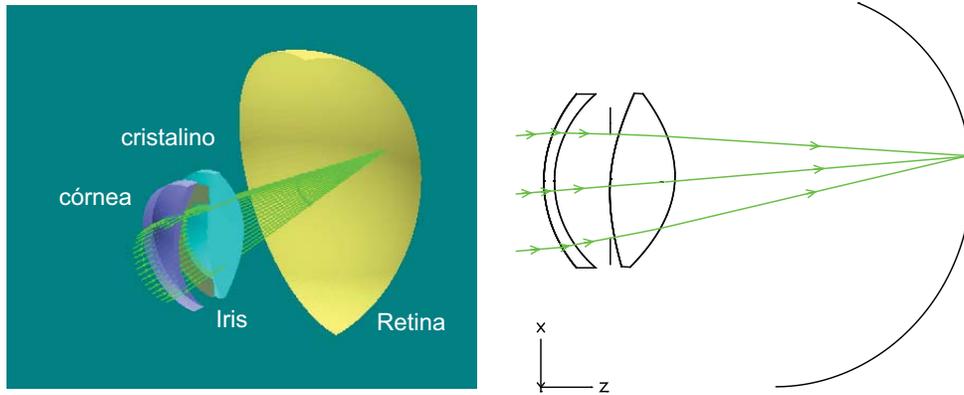


Figura 1: Modelo esquemático de ojo[6] empleado. Izquierda: sección meridional en el plano YZ, en 3D, derecha, sección meridional en el plano XZ en 2D.

Como ligadura en la optimización se ha supuesto que el modelo esquemático debe reproducir los datos correspondientes a la aberración cromática longitudinal que es constante con la edad. Además, se ha supuesto que el descentramiento del iris, el descentramiento y giro del cristalino, una vez optimizado a la edad de 20 años, no cambia con la edad, dado que no hay datos biométricos en la bibliografía que lo contradigan.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestran los valores correspondientes al decentramiento y giros obtenidos para el iris y el cristalino. Dichos valores están dentro del rango de los datos experimentales obtenidos por diferentes autores[12, 13, 14]. Es de destacar que tanto el iris como el cristalino mantienen su posicionamiento original en cuanto a giros.

Elemento	Δx (mm)	Δy (mm)	giro en y (grados)	giro en x (grados)
Iris	-0.29	0.09	0	0
Cristalino	-0.28	0.15	0	-4

Tabla 1: Descentramientos y giros del iris y del cristalino obtenidos

La Figura 2 muestra la comparación de la MTF, para tres edades diferentes, y con respecto a los datos experimentales de referencia[11]: tanto para el modelo esquemático original[6], el modelo original en el que la córnea es astigmática, y los resultados tras la optimización en la que se ha permitido al iris y al cristalino variar su posicionamiento. Como puede advertirse, los resultados indican que el posicionamiento del cristalino podría actuar como fuente importante de compensación de las aberraciones que introduce la córnea, lo que está de acuerdo con trabajos publicados

al respecto. Pero por otra parte, este trabajo demuestra la robustez del modelo GRIN propuesto para el cristalino en el modelo esquemático, ya que parece que es más determinante el posicionamiento del cristalino para predecir la calidad de imagen. A priori, también parece posible utilizar del modelo esquemático para personalizar ojos de sujetos reales para simular su calidad de imagen a partir de algunos datos biométricos individuales, puesto que su perfil GRIN del cristalino podría suponerse semejante al del modelo propuesto. Este es un estudio en el que los autores están actualmente trabajando.

Agradecimientos: Lo autores quieren agradecer la ayuda en este trabajo del Ministerio de Ciencia y Tecnología a través de la financiación del proyecto FIS2008-05071.

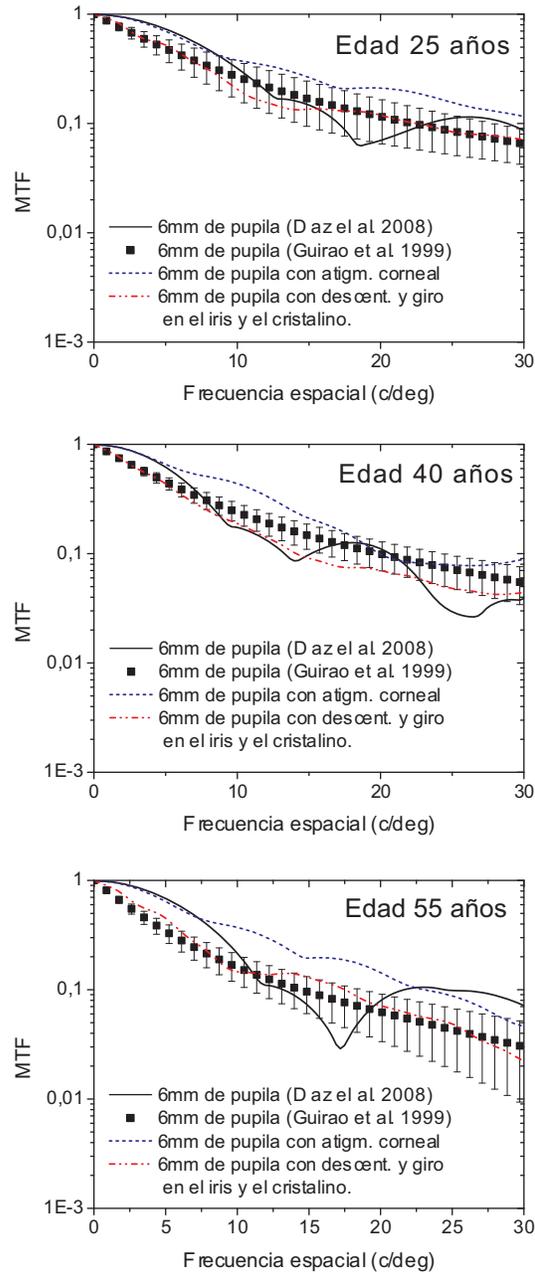


Figura 2: Predicción en la función de transferencia de modulación (MTF) para tres edades de un sujeto emémetro, del modelo esquemático de ojo[6] modificado con el descentramiento en el iris y cristalino (línea discontinua con puntos). Se muestra para comparación, datos experimentales de referencia[11](puntos), predicción del modelo original (línea continua), predicción del modelo original con cornea astigmática (línea discontinua).

Bibliografía

- [1] M. Dubbleman, V. A. D. P. Sicam, and G. L. van der Heijde, “The shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea,” *Vis.Res.* **46**, p. 993 (2006).
- [2] M. Dubbleman and G. L. van der Heijde, “The shape of the human lens: curvature, equivalent refractive index and the lens paradox,” *Vis.Res.* **41**, p. 1867 (2001).
- [3] D. A. Atchison, E. L. Markwell, S. Kasthurirangan, J. M. Pope, G. Smith and P. G. Swann, “Age-related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes,” *J. Vision* **8**(4):29, p. 1 (2008).
- [4] C. Jones, D. A. Atchison, R. Meder, and J. Pope, “Refractive index distribution and optical properties of the isolated human lens measured using magnetic resonance imaging (MRI),” *Vis. Res.* **45**, p. 2352 (2005).
- [5] B. A. Moffat, D. A. Atchison, and J. M. Pope, “Age-related changes in the refractive index distribution and power of the human lens as measured by magnetic resonance micro-imaging in vitro,” *Vis. Res.* **42**, p. 1683 (2002).
- [6] J.A. Díaz, C. Pizarro and J. Arasa, “A single dispersive GRIN profile for the aging human eye,” *J. Opt. Soc. Am. A* **25**(1), p. 250 (2008).
- [7] P. Artal, A. Guirao, E. Berrio, and D. Williams, “Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye,” *J. Vision* **1**, p. 1 (2001).
- [8] J. Kelly, T. Mihashi, and H. Howland, “Compensation of corneal horizontal/vertical astigmatism, lateral coma and spherical aberration by internal optics of the eye,” *J. Vision* **4**, p. 262 (2004).
- [9] P. Artal, A. Benito, and J. Tabernero, “The human eye is an example of robust optical design,” *J. Vision* **4**, p. 1 (2006).
- [10] J. Tabernero, A. Benito, E. Alarcón, and P. Artal, “Mechanism of compensation of aberrations in the human eye,” *J. Opt. Soc. Am. A* **24**, p. 3274 (2007).
- [11] A. Guirao, C. González, M. Redondo, E. Geraghty, N. E. S. Norby, and P. Artal, “Average optical performance of the human eye as a function of age in a normal population,” *Inves. Ophthalm. Vis. Sci.* **40**, p. 210 (1999).
- [12] Y. Yang, K. Thompson, and S. A. Burns, “Pupil location under mesopic, photopic, and pharmacologically dilated conditions,” *Inves. Ophthalm. Vis. Sci.* **43**, p. 2508 (2002).
- [13] Y. Chang, H.-M. Wu, and Y.-F. Lin, “The axial misalignment between ocular lens and cornea observed by mri (i)-at fixed accommodative state,” *Vis. Res.* **47**, p. 71 (2007).
- [14] J. Tabernero, A. Benito, V. Nourrit, and P. Artal, “Instrument for measuring the misalignment of ocular surfaces,” *Opt. Exp.* **14**, p. 10945 (2006).