

Efecto positivo y negativo de las aberraciones ópticas en la calidad de la imagen retiniana

Robert Montés-Micó, OC n° 11.149; MPhil; PhD

El propósito de este estudio es mostrar los efectos positivos y negativos de las aberraciones ópticas en la calidad de la imagen retiniana. Con este fin se midieron las aberraciones ópticas (totales, aberración esférica y coma) en un ojo emétrepe sano mediante un aberrómetro *Hartmann-Shack* a 3.5 y 6.5 mm de diámetro pupilar. Los resultados muestran que las aberraciones ópticas (totales, aberración esférica y coma) afectan de manera diferente a la calidad de la imagen retiniana en función de la magnitud de cada aberración y las condiciones visuales (iluminación: diámetro pupilar). Las simulaciones llevadas a cabo a partir de las aberraciones ópticas obtenidas muestran de manera clara los efectos positivos y negativos de éstas en la calidad de la imagen retiniana.

Palabras Clave

Aberraciones ópticas, desenfoque, astigmatismo, aberración esférica, coma, calidad óptica.

Introducción

La medida de las características ópticas del ojo muestra que, mientras el desenfoque y el astigmatismo son las aberraciones ópticas de mayor grado y que más afectan a la imagen retiniana final, existen otro tipo de aberraciones denominadas de alto orden tales como la aberración esférica y el coma que también afecta a dicha imagen. La combinación entre aberraciones de bajo (desenfoque y astigmatismo) y alto (esférica y coma) orden en un ojo dan como consecuencia diferente calidad óptica. Las aberraciones interaccionan tanto positiva como negativamente en la formación de la imagen retiniana final. De hecho, una combinación determinada de desenfoque y aberración esférica puede dar en un ojo mejor calidad en la imagen que el desenfoque únicamente. Puede que, por ejemplo, valores elevados de la aberración esférica en ojos sometidos a cirugía refractiva corneal láser (PRK o LASIK) den una mejora en la calidad de la imagen en condiciones mesópicas si la comparamos con condiciones fotópicas¹⁻³. Por tanto, dependiendo del nivel de aberraciones ópticas presentes en un ojo y de su combinación

la calidad de la imagen retiniana puede variar considerablemente. Con el fin de ilustrar el efecto de las aberraciones en la calidad de la imagen retiniana y consecuentemente sobre la calidad visual de un ojo⁴, se han llevado a cabo una serie de simulaciones sobre un ojo en el que se han medido sus aberraciones ópticas y se han propuesto varias combinaciones entre ellas. Conocer el efecto final de dichas aberraciones resulta de gran importancia a la hora de valorar la calidad visual de cualquier paciente que se evalúe, independientemente se haya sometido a cirugía refractiva o no.

Métodos

Las aberraciones ópticas totales se midieron mediante un aberrómetro *Zywave* de Bausch&Lomb (basado en el sistema de Hartmann-Shack) en un ojo sano y emétrepe de 29 años (*Figura 1*). Los datos obtenidos con el aberrómetro se descompusieron en polinomios de *Zernike* hasta el cuarto orden para obtener sus coeficientes, los cuales se utilizaron para reconstruir la función de aberración de frente de onda. Los algoritmos para la reconstrucción de las imágenes y el cálculo de la Función de Transferencia de Punto (PSF, del inglés Point Spread Function) se han utilizado en numerosos estudios previos⁵⁻⁸. La *Figura 2* muestra una escena digital utilizada en el análisis: una E de *Snellen* y una cruz múltiple. Estas

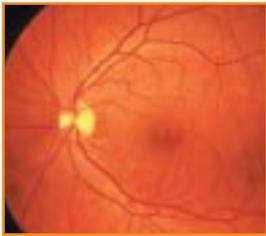


Figura 1. Aberrómetro Zywave (Bausch&Lomb, EEUU).

imágenes han sido seleccionadas porque son utilizadas comúnmente en la práctica clínica diaria para la valoración de la calidad visual en pacientes y contienen una variedad aceptable de frecuencias espaciales.

Resultados

El análisis se llevó a cabo para dos diámetros pupilares: 3.5 mm, un tamaño fotópico de elevada iluminación y 6.5 mm, un tamaño mesópico de baja iluminación. La Figura 3 muestra el mapa de frente de onda para los dos diámetros pupilares considerados. Como muestra la Figura 3 existe un aumento de las aberraciones ópticas al aumentar el diámetro pupilar. Este aumento es lógico ya que las aberraciones ópticas en el ojo aumentan con el aumento del tamaño pupilar. Con el fin de considerar los resultados con mayor detalle y valorar los efectos de las aberraciones ópticas sobre la imagen retiniana final se ha construido la Figura 4. A partir de esta figura es posible observar el efecto de las aberraciones de bajo y alto orden en la calidad de la imagen retiniana. La primera fila muestra el efecto del desenfoque (esfera en la refracción, Z_{20}) sobre la imagen. Esta aberración causa emborronamiento en todas las direcciones (coeficiente simétrico). La segunda fila muestra el efecto de todas las aberraciones de bajo orden: desenfoque y astigmatismo ($Z_{2i} = Z_{20} + Z_{22} + Z_{2-2}$). $Z_{22} + Z_{2-2}$ representan el astigmatismo a 0 y 45 grados. La imagen retiniana final afectada por el desenfoque y el astigmatismo muestra emborronamiento en todas las direcciones con mayor deformación en un eje específico, siendo el eje del astigmatismo ocular (sobre 120 grados). El efecto de las aberraciones de alto orden se incluye en las escenas siguientes. A partir de la tercera fila se observa el efecto de la aberración esférica (Z_{40} ; aberración esférica primaria) junto al resto de aberraciones de bajo orden. El efecto de la aberración esférica en la imagen produce un emborronamiento simétrico. El efecto del coma primario ($Z_{3\pm 1}$) ha sido incluido en la fila cuarta. Z_{31} y Z_{3-1} representan el coma horizontal y vertical, respectivamente. La escena se deforma a lo largo del eje de 0-180 grados en el caso del coma

horizontal y a lo largo del eje de 90-270 grados en el caso del coma vertical, siendo el signo del coeficiente el que determina la dirección de la deformación en la escena. La última columna incluye el efecto de todas las aberraciones: desenfoque, astigmatismo, aberración esférica primaria, coma primario, trefoil ($Z_{3\pm 3}$), tetrafoil ($Z_{3\pm 4}$) y astigmatismo secundario ($Z_{4\pm 2}$).

Discusión

En relación al efecto positivo o negativo de las aberraciones en la calidad de la imagen retiniana resulta interesante valorar por ejemplo que para un diámetro pupilar grande (6.5 mm) el efecto de la aberración esférica en la imagen final es positivo. Una comparación directa y sencilla entre las filas 1, 2 y 3 corrobora este efecto. Añadir la aberración esférica (Z_{40}) a la escena que está afectada por el desenfoque y el astigmatismo es más reconocible que sin incluirla. La cornea es más curva en el centro y se aplana hacia la periferia (superficie prolata). Esta configuración prolata permite que los rayos cuando entran a través del sistema óptico tanto por en centro como por la periferia focalicen en un mismo punto en la retina. Si la cornea es plana en el centro y se curva hacia la periferia, los rayos paraxiales focalizarán en la retina y aquellos que entren por la periferia lo harán delante de la retina (aberración esférica positiva). El LASIK miópico induce aberración esférica positiva ya que aplana la córnea central para conseguir una reducción del error refractivo miópico, mientras que la córnea periférica queda prácticamente intacta. De manera contraria el LASIK hipermetrópico induce aberración esférica negativa al encurvar la córnea central, dejando la periferia más plana (los rayos periféricos focalizarán detrás de la retina). En ambos casos, los rayos periféricos inducen degradación en la calidad óptica aumentada en condiciones de baja iluminación (tamaños pupilares grandes). En este caso la combinación de las aberraciones ópticas de la córnea y del cristalino del ojo produce que la aberración esférica

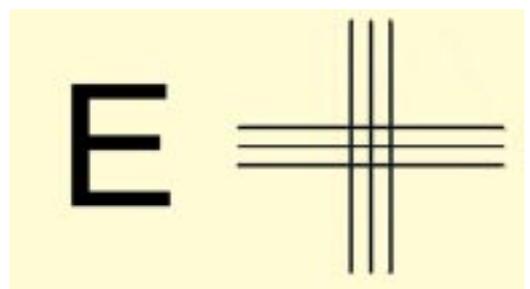


Figura 2. Escena digital original utilizada en la evaluación de los efectos de las aberraciones sobre la calidad de la imagen.

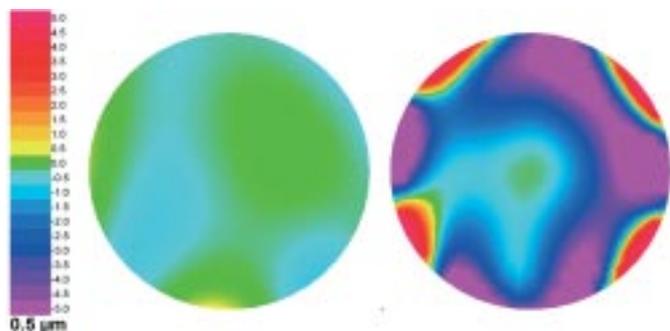


Figura 3. Mapas de aberraciones de frente de onda (alto orden) en un ojo joven emétopo sano. Tamaño pupilar de 3.5-mm (izquierda) y 6.5-mm (derecha).

negativa en el tamaño pupilar grande beneficie al paciente ya que proporciona la mejor calidad en la imagen retiniana.

En estudio del balance entre las aberraciones ópticas de la córnea y del cristalino en pacientes emétopos, miopes e hipermétropes resulta muy interesante para conocer los efectos que tienen éstas sobre la calidad de la imagen formada en la retina. Debe considerarse que el balance entre ambas aberraciones varía en función de la edad⁹. Pacientes post-LASIK deben ser también considerados ya que la cirugía corneal modifica dicho balance¹⁰ y las nuevas lentes intraoculares que se diseñan para pacientes con edades avanzadas y sometidos a cirugía de cataratas dependen de este balance. Como conclusión a este trabajo considerar que el estudio de la calidad óptica de los medidos refractivos del ojo, la córnea y el cristalino, resulta de gran interés no sólo para cuantificar un error refractivo sino también para valorar la calidad óptica que pueden proporcionar y la calidad visual que el paciente pueda tener. El que existan determinadas aberraciones en un ojo no debe considerarse en modo alguno dañino para la calidad de la imagen formada en la retina sino que el estudio del balance de cada una de ellas nos informará de cómo afectan, bien empeorando bien mejorando la calidad óptica.

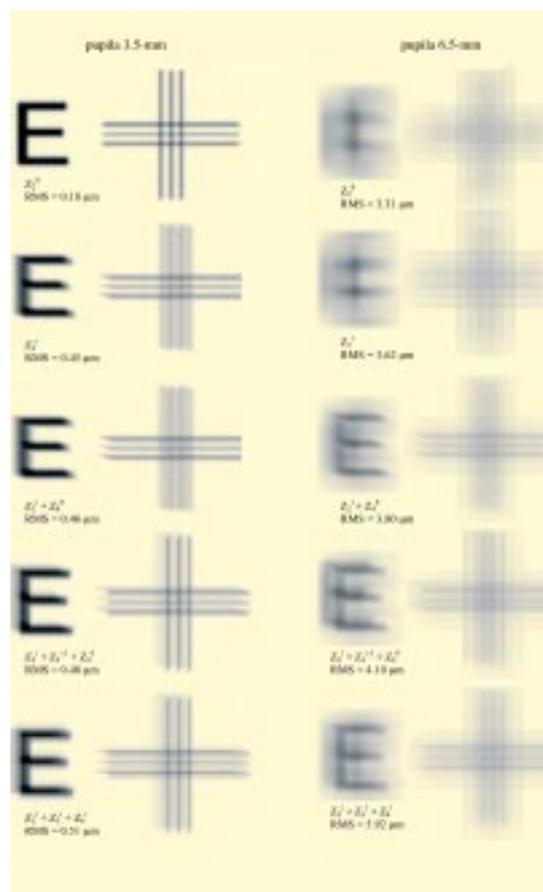


Figura 3. Efecto de las aberraciones ópticas sobre la escena computada. Los valores de los coeficientes de Zernike aparecen en cada escena (RMS significa error cuadrático medio). En la columna de la izquierda se representan los efectos con una pupila de 3.5 mm y en la de la derecha los obtenidos con una de 6.5 mm. Z_2^0 representa el desenfoque; Z_2^2 representa el desenfoque y el astigmatismo; $Z_2^0 + Z_2^2$ representa desenfoque, astigmatismo y aberración esférica; $Z_2^0 + Z_2^2 + Z_2^4 + Z_2^0$ representa desenfoque, astigmatismo, aberración esférica y coma; $Z_2^0 + Z_2^2 + Z_2^4$ representa todas las aberraciones ópticas (bajo y alto orden).

* Datos del autor:

Robert Montés-Micó desarrolla su labor profesional en VISSUM Instituto Oftalmológico de Alicante.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Montés-Micó R, Charman WN. Choice of spatial frequency for contrast sensitivity evaluation after refractive surgery. *J Refract Surg* 2001; 17:646-51.
- 2.- Montés-Micó R, Charman WN. Mesopic contrast sensitivity function after excimer laser photorefractive keratectomy. *J Refract Surg* 2002; 18:9-13.
- 3.- Montés-Micó R, España E, Menezo JL. Mesopic contrast sensitivity function after laser in situ keratomileusis. *J Refract Surg* 2003; 19:353-6.
- 4.- Montés-Micó R, Alió JL. Distance and near contrast sensitivity function after multifocal intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg* 2003; 29:703-711.
- 5.- Montés-Micó R, Alió JL, Muñoz G, Pérez-Santonja JJ, Charman WN. Post-blink changes in total and corneal aberrations. *Ophthalmology* 2004; 111:758-67
- 6.- Montés-Micó R, Cáliz A, Alió JL. Wavefront analysis of higher-order aberrations in dry eye patients. *J Refract Surg* 2004; 20:243-7.
- 7.- Montés-Micó R, Cáliz A, Alió JL. Changes in ocular aberrations after artificial tears instillation in dry eye patients. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30:1649-52.
- 8.- Montés-Micó R, Alió JL, Muñoz G, Charman WN. Temporal changes in optical quality of air-tear film interface at anterior cornea after blink. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004; 45:1752-1757.
- 9.- Artal P, Berrio E, Guirao A, Piers P. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *J Opt Soc Am A* 2002; 19:137-143.
- 10.- Montés-Micó R, Muñoz G, Albarrán-Diego C, Rodríguez-Galietero A. Corneal aberrations after astigmatic keratotomy combined with laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30:1418-1424