

Aberraciones corneales de alto orden. ¿Un método para graduar al queratocono?

Dr. Alejandro del Castillo Ruiz*, Dr. Everardo Hernández Quintela**

RESUMEN

Objetivo: Obtener ventajas de una aberrometría corneal en pacientes con queratocono analizando la superficie anterior para mayor comprensión del comportamiento óptico.

Material y métodos: Medición con frente de onda de aberraciones corneales de alto orden en individuos sanos y pacientes con queratocono. Se evaluaron las características de las aberraciones de alto orden de la superficie corneal anterior, excluyendo las aberraciones intraoculares. Se estudiaron 70 ojos de 43 pacientes; 29 ojos sin patología ocular asociada y 41 ojos con al menos un signo clínico de queratocono. Se realizó medición aberrométrica para cada ojo de ambos grupos.

Resultados: Se obtuvo la raíz cuadrada media de las aberraciones de los polinomios pares z4 y z6 (esférica like) y de los impares z3, z5 y z7 (coma like). Cono estadio I raíz cuadrada media (coma like) 1.50 a 2.50 Mm; Estadio II >2.50 a <3.50 Mm, Estadio III >3.50 a <4.50 Mm, Estadio IV >4.50 Mm.

Conclusiones: Las aberraciones corneales de alto orden son significativamente mayores en ojos con queratocono (coma like).

Palabras clave: Aberraciones de alto orden, córnea, queratocono.

SUMMARY

Purpose: To obtain the advantages of an aberrometry in patients with keratoconus analyzing the anterior surface for greater understanding of the optical behaviour.

Material and methods: Measurement with wave front of corneal high order aberrations in healthy and patients individuals with keratoconus. The typical of high order aberrations of the anterior corneal surface were evaluated, excluding the intraocular aberrations. 70 eyes of 43 patients were studied; 29 eyes without ocular pathology associated and 41 eyes with at least one clinical sign of keratoconus. Aberrometrical measurement for each eye of both groups was realised.

Results: The square root average of the aberrations of the even polynomials z4 and z6 (spherical like) and of the odd numbers z3, z5 and z7 (coma like) were evaluated. Cone stage I, square root average (coma like) 1.50 to 2.50 Mm; stage II >2.50 to <3.50 Mm, stage III >3.50 to <4.50 Mm, stage IV >4.50 Mm.

Conclusion: High order corneal aberrations are significantly majors in eyes with keratoconus.

Key words: High order aberrations, cornea, keratoconus.

INTRODUCCIÓN

El queratocono (QTC) es una enfermedad generalmente bilateral, asimétrica, progresiva, no inflamatoria que compromete la integridad estructural de la colágena dentro del estroma corneal y que se caracteriza por un abombamiento paracentral y adelgazamiento progresivo que induce un astigmatismo alto e irregular, distorsión visual, mayor fotosensibilidad y una menor capacidad visual (1, 2).

En etapas tempranas de la enfermedad, la córnea puede parecer normal en el examen biomicroscópico, sin embargo, se puede apreciar distorsión de las miras queratométricas centrales y/o inferiores; mediante técnica de retroiluminación, (retinoscopia-reflejo en tijera), signo de la gota de aceite "Charleaux" resultan indicadores clínicos que pueden ser observados en el QTC incipiente (3).

La videoqueratoscopia computada es la herramienta más sensible y sofisticada para confirmar la enfermedad. Dentro

*Clínica Oftalmológica del Castillo S.C. 25 oriente 1014 Colonia Bella Vista. Puebla, Puebla, México. Tel. (222) 243 31 85; E-mail: alejandro.adelcastle@gmail.com

**Asociación para Evitar la Ceguera en México I.A.P. Vicente García Torres #46 Col. Sn Lucas, Coyoacan. México, D.F. Tel. 1084-1400, E-mail: evehq@yahoo.com

Trabajo presentado en el XXVIII Congreso Mexicano de Oftalmología, Mérida, Agosto 2008

de las características topográficas del QTC se encuentra incremento del poder corneal central rodeado de áreas de menor poder, asimetría en el poder queratométrico dentro de los 3 milímetros centrales (asimetría inferior-superior), y pérdida de la ortogonalidad del moño astigmático (4).

Las aberraciones de alto orden han sido estudiadas en múltiples ocasiones para cirugía refractiva. Maeda y colaboradores han aplicado la tecnología de frente de onda para estudiar las aberraciones oculares y corneales en ojos con queratocono. Las aberraciones oculares totales (aberrometría global) son muy difíciles de medir (incluso imposibles) en ojos altamente aberrados; sin embargo, en estos casos como pacientes con queratocono, la aberrometría corneal puede ser calculada por análisis matemáticos adecuados desde la topografía corneal (4).

Una aberración se define como la diferencia que existe entre una imagen ideal que uno espera ver cuando los rayos luminosos son refractados en un sistema óptico perfecto (ley de Snell) y lo que en realidad se alcanza. Utilizando la tecnología de frente de onda, es posible obtener información precisa en busca no sólo de aberraciones de bajo orden (miopía, hipermetropía y astigmatismo) sino también de alto orden (5).

Las aberraciones de bajo orden corresponden a 85% del total de aberraciones ópticas, mientras que las AAO son distorsiones refractivas que limitan la visión de los ojos sanos por debajo de los límites de la retina y que no pueden ser corregidas con lentes esferocilíndricas o cirugía refractiva convencional y corresponden a 15% de las aberraciones en ojos normales (6). Las AAO más frecuentes en un ojo humano normal son la aberración esférica y la coma.

La aberración comática representa los rayos de luz incidentes formando un ángulo con el eje óptico, siendo los rayos periféricos los que no enfocan en el mismo plano retiniano (enfocados a diferentes distancias de la retina). La presencia de coma genera visión doble y difuminada (la luz brillante se ve como un cometa) y no mejora con miosis (6).

La aberración esférica representa los rayos de luz marginales con enfoque antes que los rayos paraaxiales y se reporta como un halo periférico, en particular al fijar la luz por la noche y la miosis mejora dicho malestar (6).

Los ojos sanos presentan bajos niveles de AAO. Posterior a una cirugía refractiva, se puede revelar un incremento en las AAO, principalmente en la aberración esférica, coma y astigmatismo secundario. El monto de estas aberraciones es importante al momento de determinar los síntomas visuales, en especial nocturnos, cuando la pupila presenta midriasis fisiológica y por consecuencia las AAO se incrementan. A mayor diámetro pupilar, mayores serán las AAO en la agudeza visual. Todos los efectos de las AAO son dependientes del diámetro pupilar.

Los mapas aberrométricos semejan a los topográficos y describen la diferencia en micras entre el frente de onda generado y uno de referencia.

Los polinomios de Zernike son modelos matemáticos que nos permiten obtener una descripción cuantitativa de las aberraciones. Existen dos tipos de aberraciones:

1. Cromáticas:

Se definen como la diferencia en la distribución de la radiación policromática incidente y son dependientes de la longitud de onda de entrada al ojo; no son susceptibles de corregir ya que dependen de las estructuras oculares y no de su forma.

2. Monocromáticas:

Relacionadas con longitudes de onda específicas, dentro de las que se encuentran el defocus (defecto esférico), errores cilíndricos (astigmatismo) y las aberraciones de alto orden (6).

Aberraciones de bajo orden

- Orden cero. Frente de onda plano.
- 1er orden. Error prismático del ojo.
- 2do orden. Defocus y astigmatismo.

Aberraciones de alto orden

- 3er orden. Coma horizontal y vertical; astigmatismo triangular (trefoil).
- 4to orden. Aberración esférica, tetrafoil, astigmatismo secundario.
- 5to-10o. Orden. Importantes sólo con pupilas muy dilatadas.

Dentro de la información de los mapas aberrométricos encontramos las siguientes:

1. Función de modulación de transferencia (MTF):

Habilidad de un sistema óptico (córnea), para reproducir los diferentes niveles en detalle de la imagen. Es equivalente a la sensibilidad al contraste y mide la calidad de la imagen (córnea-retina) (5).

2. Función de dispersión de punto (PSF):

Imagen que forma el sistema óptico (córnea) procedente de un punto; representa la intensidad del frente de onda sobre la retina. Mide la calidad visual del sistema óptico (corteza occipital) (5).

3. Raíz cuadrada media (RMS):

Permite una cuantificación numérica de la desviación del frente de onda medido respecto al frente de onda perfecto (5).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio prospectivo, descriptivo, comparativo y observacional donde se midieron, con frente de onda, las aberraciones corneales de individuos sanos (controles) y de pacientes con queratocono en el periodo comprendido entre marzo del 2007 a febrero del 2008.

Se midieron las aberraciones corneales empleando el software provisto con el sistema de videoqueratoscopía (sistema de análisis de mapeo corneal) de la casa CSO, con previo ingreso de la información de la elevación corneal, curvatura, poder y posición de la pupila mediante el empleo de los polinomios de Zernike hasta el séptimo orden, para evaluar las características de las aberraciones corneales de alto orden; dicha tecnología considera sólo las caracterís-

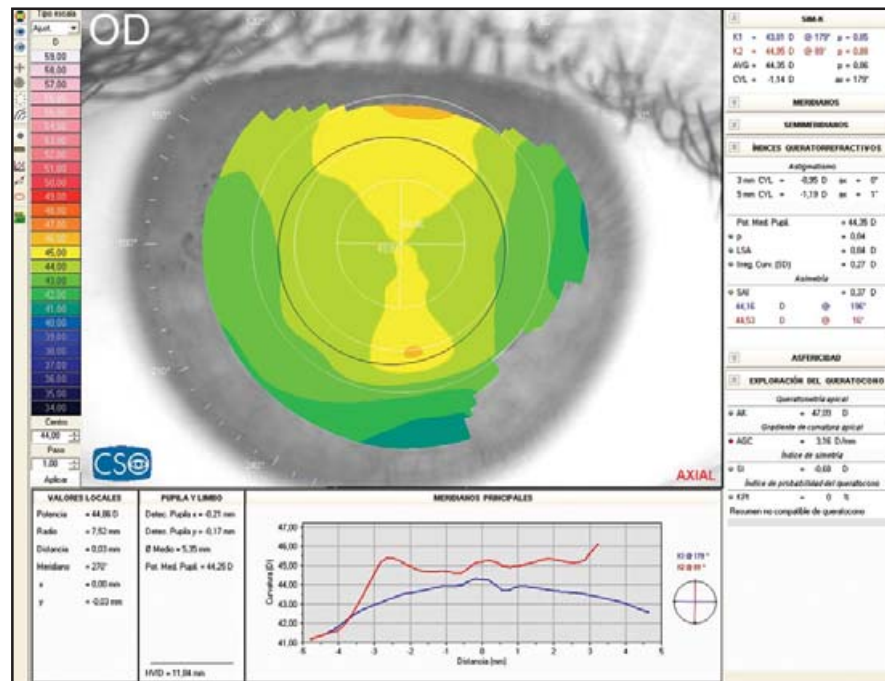


Fig. 1. Topografía corneal de un ojo sano.

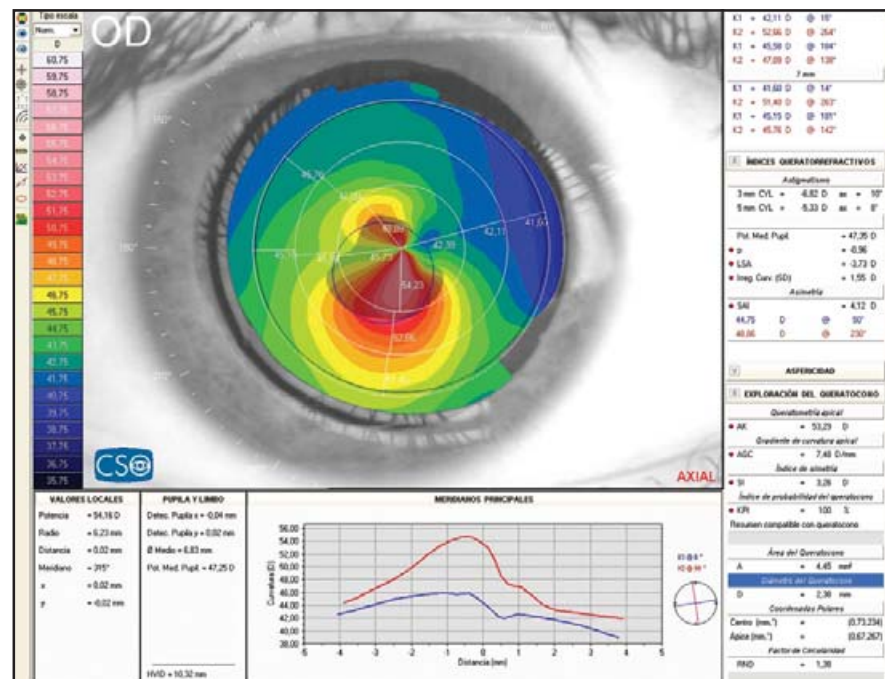


Fig. 2. Topografía de un ojo con queratocono.

ticas de las aberraciones de la superficie corneal anterior, excluyendo las aberraciones intraoculares.

Se empleó el mapa de diferencia del patrón óptico (OPD). El programa analiza las aberraciones de los frentes de onda generados por la superficie anterior de la córnea, utilizando datos topográficos como punto de inicio y aplicando el análisis de Zernike.

Estos mapas expresan las diferencias en altura entre los frentes de onda generados por la córnea medida y el frente

de onda esférico de referencia (sin aberración).

Se estudiaron 70 ojos de 43 pacientes divididos en dos grupos:

a. Ojos normales (29)

Sin patología ocular asociada, cirugía previa o defecto refractivo significativo. (Fig. 1)

b. Ojos con QTC (41)

Con al menos un signo clínico confirmado con análisis topográfico (Fig. 2)

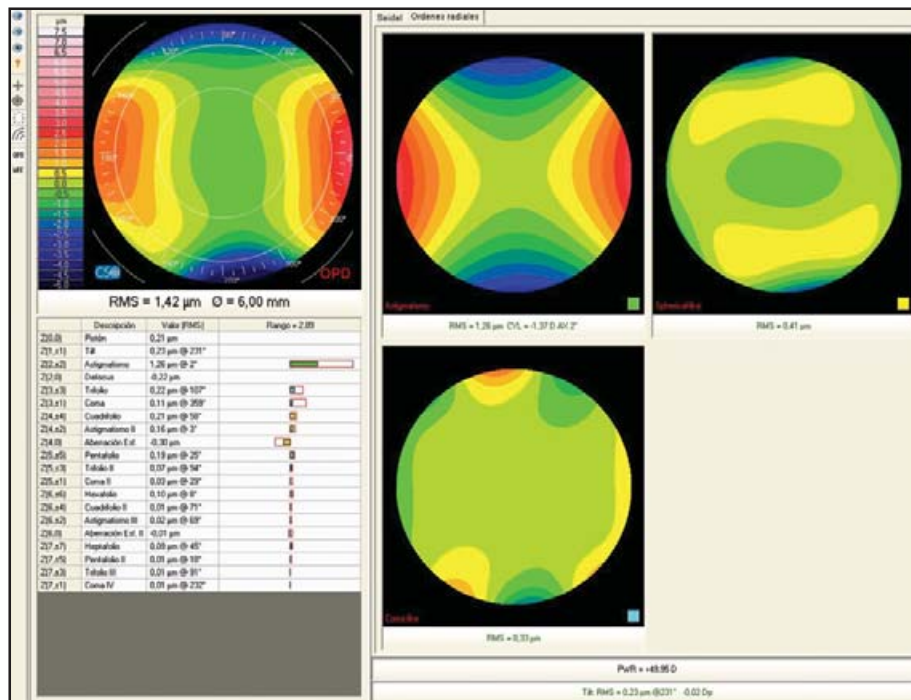


Fig. 3. Aberraciones de alto orden en un ojo sano.

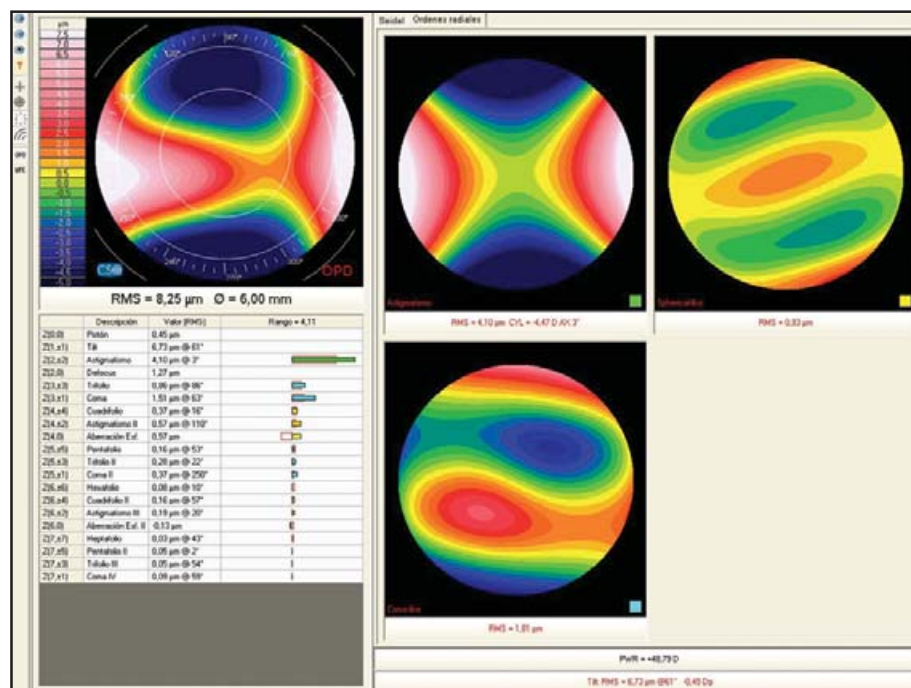


Fig. 4. Aberraciones de alto orden en un ojo con queratocono.

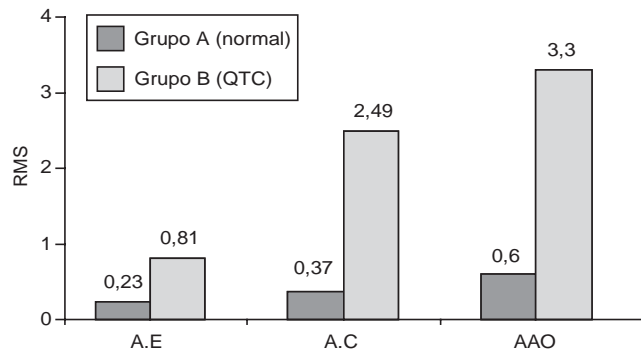
A todos los pacientes se les realizó examen oftalmológico completo agudeza visual (av) capacidad visual (cv), equivalente esférico (ee), biomicroscopía y valoración del fondo de ojo.

Se realizaron tres tomas sucesivas, adecuadamente enfocadas, alineadas y centradas para cada ojo de ambos grupos, procurando que las miras del disco de Plácido se encontraran completas hasta el anillo 17 (continuas), utili-

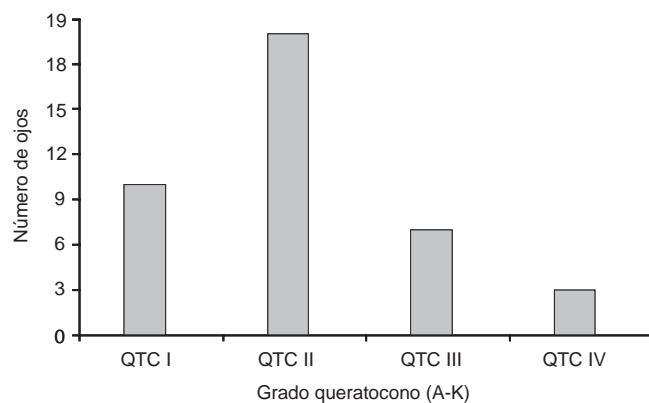
zando una pupila simulada de 6.0 Mm para calcular los coeficientes de Zernike.

A todos los pacientes se les midieron las RMS de las aberraciones pares: componente de cuarto orden z4 y componente de sexto orden z6 (esférica like) y las RMS de las aberraciones impares componente de tercer orden z3, de quinto orden z5 y de séptimo orden z7 (coma like).

Gráfica 1. RMS promedio de las aberraciones corneales en ambos grupos (A.E = aberración esférica, A.C = aberración coma-like, AAO = aberraciones de alto orden).



Gráfica 2. Número de ojos con QTC distribuidos por grados.



RESULTADOS

Se formaron dos grupos para las aberraciones de alto orden:

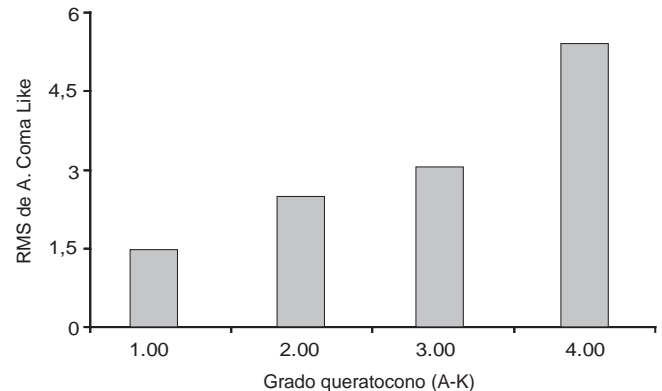
Grupo A: 29 Ojos de 17 pacientes sanos. E.E -0.26±0.51 dioptrías (D). Promedio de queratometrías (K's) 43.64±1.06 D (Rango 41.67 a 45.97).

Grupo B: 41 ojos de 27 pacientes con QTC. 28 de sexo masculino (68.2%); 13 de sexo femenino (31.7%); edad 31.05±10.88 años, e.e -6.28±4.58 D, promedio K's 49.08±5.60 (42.82 a 67.34 D).

De los 41 ojos con QTC, 16 (39.02%) presentaban un cono inferior, 12 (29.26%) un cono inferior y nasal, 8 (19.51%) un cono central y 5 (12.19%) un cono inferior y temporal.

En el grupo A (ojos normales) el RMS promedio de las aberraciones esféricas fue de 0.23±0.07 Mm (rango: 0.09 a

Gráfica 3. RMS promedio de las aberraciones corneales coma-like en relación con la clasificación de Amsler-Krumeich, considerando el promedio de K's.



0.44 Mm); las aberraciones coma like fueron de 0.37±0.10 Mm (rango: 0.24 a 0.65 Mm); y las AAO fueron de 0.60±0.14 Mm (rango: 0.36 a 1.09 Mm) (Fig. 3)

En el grupo B (ojos con queratocono), el RMS promedio para las aberraciones esféricas fue de 0.81±0.71 Mm (rango: 0.15 a 1.62 Mm); las aberraciones coma like fueron de 2.49±1.54 Mm (rango 0.65 a 9.43 Mm); y las AAO fueron de 3.30±2.17 Mm (rango: 0.81 a 13.88 Mm (Fig. 4, Gráfica 1).

Comparando ambos grupos, la diferencia en el promedio de RMS entre ambos grupos fue de 0.58 Mm (p<.0002), 2.12 Mm (p<.0001) y 2.70 Mm (p<.0001) para las aberraciones esféricas, coma like y de alto orden respectivamente (Cuadro 1).

Utilizando el sistema de clasificación de Amsler-Krumeich, 10 ojos (24%) fueron grado I, 20 ojos (51.21%) fueron grado II, 8 ojos (17.07%) fueron grado III, y 3 ojos (7.31%) fueron grado IV (Gráfica 2).

Cuando se correlacionó el RMS promedio de las aberraciones coma like al sistema de clasificación de A-K, el RMS promedio fue de 1.50 Mm en el grado I, de 2.75 Mm en el estadio II, de 3.25 Mm en el estadio III y de 5.35 Mm en el estadio IV, utilizando una prueba de Pearson (Gráfica 3).

Se encontró una gran correlación entre las aberraciones coma like y el promedio de K's .

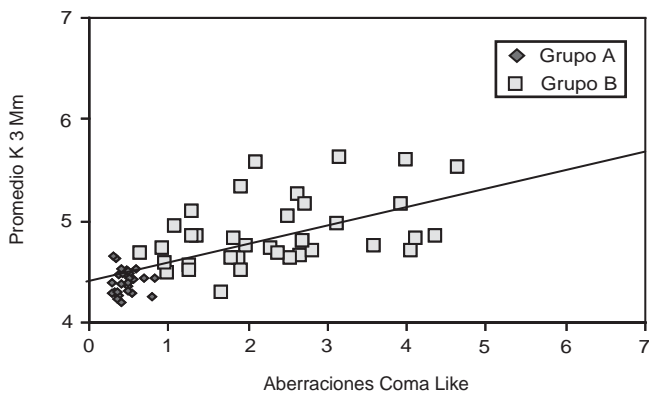
DISCUSIÓN

La mayoría de los estudios que aplican tecnología de frente de onda para conocer las AAO en ojos con QTC, general-

Cuadro 1. RMS promedio de las aberraciones corneales de alto orden en ojos con y sin queratocono.

	Ojos normales (Grupo A)	Ojos con QTC (Grupo B)	Dif. (Mm)	Valor P
Aberración esférica	0.23±0.07 Mm (0.09 a 0.44)	0.81±0.71 Mm (0.15 a 1.62)	0.58	.0002
Aberración coma-like	0.37±0.10 Mm (0.24 a 0.65)	2.49±1.54 Mm (0.65 a 9.43)	2.12	.0001
Aberración alto orden	0.60±0.14 Mm (0.36 a 1.09)	3.30±2.17 Mm (0.81 a 13.88)	2.70	.0001

Gráfica 4. Aberraciones corneales coma-like en relación al promedio de K's (grupo A= ojos sanos, grupo B= Ojos con QTC).



mente miden las aberraciones oculares totales (aberrometría global) reportado por diversos autores como Maeda y colaboradores (7).

Las aberraciones de alto orden en la superficie corneal anterior son significativamente más altas en ojos de pacientes con queratocono que en ojos normales. El valor promedio del RMS en ojos presuntamente sanos alcanza valores mínimos en comparación de los ojos con queratocono, los cuales presentan un mayor poder dióptrico que el resto de la superficie corneal anterior, lo cual origina un frente de onda deformado si es analizado mediante los polinomios de Zernike. La descentración del ápice corneal ya sea inferior, inferior y nasal o inferior y temporal conlleva a aberraciones coma like significativas. Los mapas de color de las AAO muestran diferentes frentes de onda con base en la posición del cono, el cual es usualmente inferior o inferior y nasal en relación al frente de onda en la parte opuesta de la córnea, más frecuentemente superior, lo que genera un coma horizontal.

Al comparar los resultados con los sistemas que utilizan un sensor Hartmann-Shack y sus desventajas (inhabilidad para registrar ojos altamente aberrados, limitados al diámetro pupilar, influencia de las estructuras intra oculares) los resultados son similares en cuanto a las AAO en ojos con QTC en comparación con ojos sanos (7).

Nuestros resultados concuerdan con los estudios realizados por Maeda y Alió en cuanto a que la principal aberración de alto orden es la coma-like en ojos con queratocono, mientras que los resultados obtenidos en cuanto a valores de RMS promedio de la superficie anterior de la córnea en este estudio no difieren significativamente con los reportados por el grupo de Alió y colaboradores. El tomar en cuenta el grado de miopía sin tomar en cuenta la longitud axial del globo ocular, puede llevar a una falsa estadificación del QTC. Alió propuso una modificación a la clasificación de A-K una vez detectado el cono clínicamente y confirmado por videoqueratoscopia, tomando en cuenta el promedio las lecturas de las K's centrales, el RMS de las aberraciones

coma-like (a mayor poder queratométrico, mayor será la aberración coma-like) y la cicatrización en casos avanzados. No existe correlación entre las AAO y el grosor corneal, sin embargo la paquimetría no puede pasar de largo al clasificar al QTC.

Pensamos que es mejor cuantificar sólo las aberraciones corneales en casos de ectasia corneal y evitar la influencia de las aberraciones intraoculares.

Clasificación propuesta por Alió y colaboradores con base en las aberraciones corneales de alto orden para estadificar al queratocono:

Estadio I

- K central <48.00 D.
- RMS a. coma like (1.50 a 2.50 Mm).
- Ausencia de cicatriz.

Estadio II

- K central (>48.00 a <53.00 D).
- RMS coma like (>2.50 a <3.50 Mm).
- Ausencia de cicatriz.
- >400 Mm.

Estadio III

- K central (>53.00 a <55.00 D).
- RMS coma like (>3.50 a <4.50 Mm).
- Ausencia cicatriz.
- 300 a 400 Mm.

Estadio IV

- K central >55.00 D.
- RMS coma like (>4.50 Mm).
- Cicatriz central.
- 200 Mm.

CONCLUSIONES

Las aberraciones corneales de alto orden son significativamente mayores en ojos con QTC; principalmente del tipo coma like; el valor del RMS en ojos normales alcanza valores mínimos en comparación con los ojos afectados mientras que la localización del QTC origina importante aberración de los coeficientes de Zernike impares (coma like) con base en el descentramiento del cono con respecto al eje visual. Las aberraciones coma like pudieran ser consideradas como una herramienta más para tratar de cuantificar y graduar al QTC no obstante las diferencias entre los diversos topógrafos corneales que no deberían ser significativas ya que los polinomios son calculados matemáticamente.

A pesar de las limitaciones de utilizar anillos de Plácido para generar los polinomios de Zernike (limitado a 9 Mm o <60% de la superficie corneal), el evaluar las aberraciones coma like puede ser un método útil para graduar al QTC; empleando este tipo de tecnología, los valores numéricos provenientes del RMS (coma like), junto con las queratometrías y el grosor corneal, nos ofrecen una forma más de cuantificar numéricamente al QTC y tal vez de forma más atinada en base a sus aberraciones.

REFERENCIAS

1. Smolek. Modern management of keratoconus.: Jaypee Brothers medical publishers; New Delhi, 2008.
2. Krachmer JH. Keratoconus and related non-inflammatory corneal thinning disorders. *Surv Ophthalmol* 1984; 28:293-322.
3. Rabinowitz YS. Videokeratography, keratoconus and refractive surgery. *Refract Corneal Surg* 1992; 5:403-407.
4. Alió J. Corneal Higher order aberrations. *J Refract Surg* 2006; 22:539-545.
5. Solomon K. Comparison of wavefront sensing devices. En: Gardler R (ed). *Wavefront Technology*. Philadelphia: Ophthalmology clinics of North America; 2004. p. 119-127.
6. Chalita M. Correlation of aberrations with visual acuity and symptoms. En: Gardler R (ed). *Wavefront Technology*. Philadelphia: Ophthalmology clinics of North America; 2004. p.136-142.
7. Maeda N. Wavefront aberrations measured with Hartmann-Shack sensor in patients with keratoconus. *Ophthalmology* 2002; 11:1996-2003.