

Series armónicas de Fourier aplicadas al análisis del queratocono

› Sergi Herrero Hernández

O.C. 11.961

INTRODUCCIÓN



El análisis corneal mediante desarrollos de series de Fourier se ha aplicado para la valoración de irregularidades corneales cuando se pretendía controlar su evolución en el tiempo¹. No obstante, esta técnica no se había utilizado exclusivamente para el análisis de queratocono.

El queratocono es una enfermedad corneal progresiva que avanza adelgazando y encorvando la córnea. La topografía corneal es una de las técnicas más eficaces para detectarlo y monitorizarlo². Se han desarrollado múltiples sistemas que permiten, de forma objetiva, valorar la calidad óptica, la simetría corneal e, incluso, emitir una primera valoración sobre algún tipo de patología. Desde la aparición del topógrafo corneal se han desarrollado diversos métodos para detectar formas incipientes de esta condición y, también, para cuantificarla y gradarla. Se han realizado diversos trabajos al respecto. Rabinowitz^{2,3} desarrolló el índice KISA, un sistema de clasificación dividido en 3 categorías (queratocono, queratocono incipiente y sospecha de queratocono), el cual es producto de varios índices obtenidos mediante topografía corneal: valores queratométricos centrales (K), valor de asimetría vertical (inferior-superior), valor de astigmatismo regular (sim K-sim K2) y valor SRAX (desviación de los ejes más curvos). Los valores KISA por encima de 100% son clasificados como queratocono o queratocono incipiente, y, entre 60% y 100%, como sospecha de queratocono^{2,3}.

McMahon y col. presentaron el KSS (Keratoconus Severity Score), un método para la gradación del queratocono dividido en 5 grados, siendo 1 el más bajo y 5 el más severo, que introduce valores de aberración corneal y signos observados en lámpara de hendidura⁴. El análisis de Fourier aún no se ha aplicado para detectar esta enfermedad. El objetivo de este estudio es establecer un criterio para que se pueda valorar su eficacia en posteriores estudios.

El matemático francés Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830) desarrolló un método para descomponer cualquier función periódica en términos de funciones trigonométricas de seno y coseno para aplicarlo en su estudio sobre termodinámica⁵.

En la topografía corneal, el análisis de Fourier se puede realizar para cada anillo de Plácido, empezando por los anillos centrales hacia los más periféricos, y, posteriormente, agrupar los resultados en cuatro mapas distintos.

La primera serie de Fourier representa el orden cero. Es una línea que muestra los radios de curvatura desde la zona central hacia la periferia. Representa el componente esfero-aférico de la superficie que analizamos y lo aísla de todos los demás componentes. La siguiente serie constituye el periodo del primer armónico. Es una onda sinusoidal normal que alcanza un máximo y un mínimo sobre un radio determinado del anillo y sirve para medir la asimetría respecto al centro de la topografía. Se representa mediante valores relativos y su media aritmética es cero.

La tercera serie representa el periodo del segundo armónico y caracteriza el astigmatismo regular gracias a una curva sinusoidal normal de doble frecuencia constituida por dos mínimos y dos máximos también relativos a los radios de los anillos. La última representación es la suma de todos los componentes restantes y ofrece las irregularidades compuestas por frecuencias de alto orden, expresadas de nuevo como valores relativos. Este último se ha relacionado con aberraciones ópticas de alto orden⁶.

El componente esfero-aférico, si se encuentra en valores de excentricidad normales, puede ser compensado mediante lentes esfero-cilíndricas igual que el astigmatismo regular. Sin embargo, la asimetría, que da lugar a una aberración comática, y las irregularidades, que producen aberraciones trébol, no pueden solucionarse con este tipo de lentes y necesitan de lentes de contacto RPG para conseguir restablecer una correcta visión⁷.

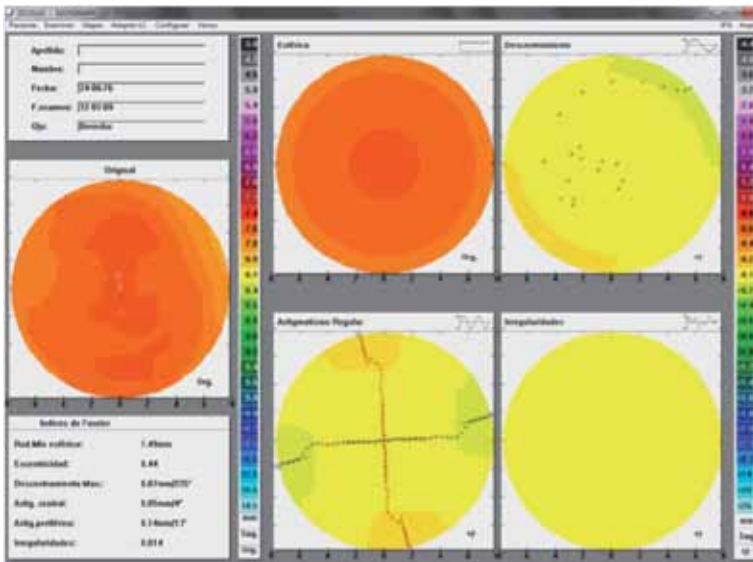


Figura 1. Análisis de Fourier de una córnea normal: 1. Componente esférico, 2. Asimetría, 3. Astigmatismo, 4. Irregularidades de alto orden.

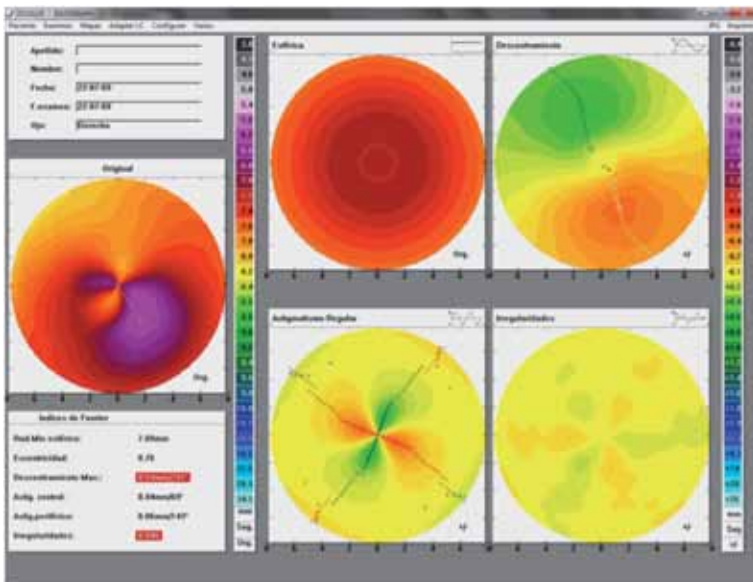


Figura 2. Análisis de Fourier en un queratocono: 1. Componente esférico, 2. Asimetría, 3. Astigmatismo, 4. Irregularidades de alto orden. (Oculus Easygraph)

OBJETIVOS

El objetivo del siguiente estudio es evaluar los valores de descentramiento, radio mínimo, excentricidad, irregularidades y astigmatismo central y periférico obtenido mediante el análisis de Fourier en pacientes con córneas normales (CN), y compararlos con los obtenidos en pacientes diagnosticados de queratocono (CQT) para establecer unas primeras bases en la detección del queratocono en estadios incipientes.

MÉTODO

Se seleccionaron de manera aleatoria 161 topografías que mantenían las siguientes

condiciones: no estaban diagnosticados de ninguna enfermedad corneal, no se habían sometido a ningún tipo de intervención quirúrgica ocular y alcanzaban agudezas visuales de la unidad con su refracción habitual. Del mismo modo, se seleccionaron 90 topografías de pacientes diagnosticados de queratocono de cualquier grado. Se procedió en los dos grupos a obtener los análisis de Fourier (**Figura 1 y 2**) y se exportaron en una hoja Excel los valores de radio mínimo, excentricidad corneal, máximo descentramiento, astigmatismo central y periférico e irregularidades para poder analizarlos posteriormente.

Se utilizó el topógrafo corneal Oculus Easygraph (OCULUS Optikgeräte GmbH) con la finalidad de realizar las mediciones y obtener el análisis de Fourier. Asimismo, el software incorpora la posibilidad de exportar los valores directamente a una hoja Excel, con lo que se facilitó la obtención de los datos. Los valores promedios se muestran en la **Tabla 1**.

RESULTADOS

En el grupo CN los valores queratométricos promedio obtenidos ($7,68 \pm 0,25$ mm) fueron superiores que para el grupo CQT ($6,94 \pm 0,80$ mm). La excentricidad promedio obtenida fue mayor en el grupo CQT ($0,66 \pm 0,53$) que el encontrado en el grupo CN ($0,45 \pm 0,19$). Sin embargo, la mayor diferencia de resultados entre el grupo CQT y el grupo CN se halló para los valores de descentramiento: $0,75 \pm 0,38$ mm para el grupo CQT y $0,13 \pm 0,08$ mm para el grupo CN. También se encontró una marcada diferencia en las irregularidades entre el grupo CQT ($0,04 \pm 0,026$ mm) y el grupo CN ($0,02 \pm 0,01$ mm). Un resultado interesante, desde el punto de vista clínico, es que el grupo CQT tiende a mostrar una reducción del astigmatismo a nivel periférico ($0,21 \pm 0,13$ mm) respecto al centro ($0,31 \pm 0,21$ mm), mientras que para el grupo CN sucede lo contrario: el astigmatismo central ($0,08 \pm 0,07$ mm) es ligeramente inferior al periférico ($0,09 \pm 0,08$ mm).

DISCUSIÓN

La posibilidad de descomponer la topografía corneal en diferentes mapas que muestren el componente esférico, la excentricidad, el descentramiento y las irregularidades es de gran ayuda para monitorizar a

Tabla 1. Diferencias en el análisis de Fourier entre los valores encontrados para córneas normales y córneas con queratocono.

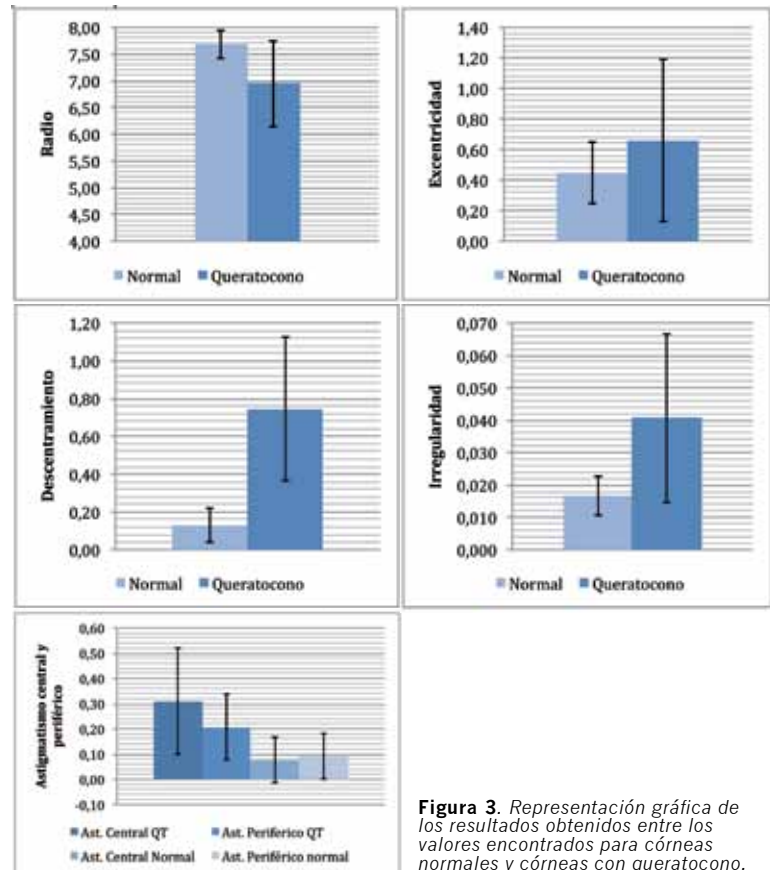
	Radio mínimo (mm ± SD)	Exc. ±SD	Descentramiento (mm ± SD)	Astig. central (mm ± SD)	Astig. periférico (mm ± SD)	Irregularidades (mm ± SD)
Córneas normales (CN) n=161	7,68 ±0,25	0,45 ±0,19	0,13 ±0,08 mm	0,08 ±0,07 mm	0,09 ±0,08 mm	0,02 ±0,01 mm
Córneas Queratocono (CQT) n=90	6,94 ±0,80	0,66 ±0,53	0,75 ±0,38 mm	0,31 ±0,21 mm	0,21 ±0,13 mm	0,04 ±0,026 mm

pacientes con queratocono. Una de las propiedades que aparece con mayor frecuencia en el queratocono, dentro del análisis de Fourier, es la asimetría sobre el eje horizontal. En este trabajo se confirma la relevancia de este parámetro para esta patología.

Resulta especialmente interesante el mapa de descentramiento, puesto que se confirma que es una característica muy marcada en el grupo CQT. Se podría establecer que, a partir de valores de descentramiento superiores a 0,20 mm, y siempre y cuando la orientación se dé en dirección inferior ($274^\circ \pm 25$), se debería monitorizar al paciente con exámenes complementarios y seguimientos periódicos. Sin embargo, no se ha comprobado la efectividad de este índice y se deberían realizar más estudios para valorar si puede ser un buen precursor de la patología y, por tanto, ayudar en el diagnóstico precoz de esta condición.

La notable reducción del astigmatismo periférico respecto al central también puede ser un indicador que caracterice esta patología, puesto que se ha hallado en mayor frecuencia en el grupo de queratocono que en el grupo normal, igual que las irregularidades de alto orden. Sin embargo, estas últimas sólo afectan a queratoconos más avanzados y no suelen presentarse en estadios iniciales.

Es probable que la combinación de varios parámetros, como radios por debajo de cierto valor, diferencia en astigmatismo centro-periferia y descentramiento, pueda dar lugar a un índice global más sensible, comparado, por ejemplo, con los índices KISA o KSS. Del mismo modo, la relación que guardan los valores hallados, mediante esta técnica, entre un ojo y el otro, podría ser aun más indicativo, puesto que está comprobado que existe una marcada asimetría entre ambos ojos en cuanto a la evolución de la patología. ↷)

**Figura 3.** Representación gráfica de los resultados obtenidos entre los valores encontrados para córneas normales y córneas con queratocono.

Bibliografía

- Sciscio A, et al. Fourier analysis of induced irregular astigmatism Photorefractive keratectomy versus laser in situ keratomileusis in a bilateral cohort of hyperopic patients. J Cataract refract surg - vol 29, september 2003
- Rabinowitz YS, Garbus J, McDonnell PJ. Computer-assisted corneal topography in family members of patients with keratoconus. Arch Ophthalmol. Mar 1990;108(3):365-71.
- Rabinowitz YS, Rasheed K. KISA% index: A quantitative videokeratography algorithm embodying minimal topographic criteria for diagnosing keratoconus. j cataract refract surg - vol 25, october 1999.
- McMahon TT. A new method for grading the severity of keratoconus: the Keratoconus Severity Score (KSS) Cornea. 2006 Aug;25(7):794-800.
- http://es.wikipedia.org/wiki/Serie_de_Fourier. consultado mayo 2010
- Tomidokoro and Oshika. Quantitative Assessment of Videokeratography Data Using Fourier Series Harmonic Analysis Cornea Volume 23, Suppl. 1, November 2004
- Griffiths M, Zahner K, Collins M, et al. Masking of irregular corneal topography with contact lenses. CLAO J 1998;24:76-81.