

January 2012

## Variaciones en el grado de aberraciones ópticas corneales de alto orden en pacientes diagnosticados con ectasias corneales implantados con anillos intraestromales

Rosario Vidal Olarte

*Universidad de La Salle, Bogotá, rovidal@unisalle.edu.co*

Follow this and additional works at: <https://ciencia.lasalle.edu.co/svo>



Part of the [Eye Diseases Commons](#), [Optometry Commons](#), [Other Analytical, Diagnostic and Therapeutic Techniques and Equipment Commons](#), and the [Vision Science Commons](#)

---

### Citación recomendada

Vidal Olarte R. Variaciones en el grado de aberraciones ópticas corneales de alto orden en pacientes diagnosticados con ectasias corneales implantados con anillos intraestromales. *Cienc Tecnol Salud Vis Ocul.* 2012;(1): 51-63. doi: <https://doi.org/10.19052/sv.93>

This Artículo de Investigación is brought to you for free and open access by the Revistas científicas at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular* by an authorized editor of Ciencia Unisalle. For more information, please contact [ciencia@lasalle.edu.co](mailto:ciencia@lasalle.edu.co).

# Variaciones en el grado de aberraciones ópticas corneales de alto orden en pacientes diagnosticados con ectasias corneales implantados con anillos intraestromales

## Variations on the Degree of High Order Corneal Optical Aberrations in Patients Diagnosed with Corneal Ectasia with Intrastromal Rings Implanted

ROSARIO VIDAL OLARTE\*

### RESUMEN

**Objetivo:** identificar si existen variaciones significativas en el grado de aberraciones corneales de alto orden después del implante de los anillos intraestromales, en pacientes diagnosticados con ectasias corneales. **Materiales y métodos:** se realizó un estudio analítico y longitudinal de intervención en pacientes mayores de 18 años. Se valoró el estado refractivo; la agudeza visual medida con log MAR; la queratometría topográfica; las aberraciones ópticas corneales coma, trifoid, esférica y el Root Mean Square High Order (RMS Ho), mediante el topógrafo Keratron Scout, y la calidad visual por medio de la prueba de letras de Mars para la sensibilidad al contraste. Todo lo anterior en tres momentos antes de la intervención, primer y tercer mes postoperatorio. **Resultados:** en 39 ojos de 26 pacientes evaluados antes, al mes y al tercer mes después del implante se presentaron diferencias significativamente clínicas, aunque no estadísticas: a) se incrementó la agudeza visual sin corrección, b) hubo disminución del valor esférico y cilíndrico, c) aplanamiento en la K1 y K2, d) diferencias en cuanto al grado de aberraciones ópticas de alto orden corneales, después del procedimiento, e) una mejor calidad visual para estos pacientes y f) uso de lentes oftálmicos con mayor tolerancia. **Conclusión:** las aberraciones ópticas de la superficie anterior de la córnea no presentan una diferencia estadísticamente significativa antes y después del implante de segmentos intraestromales, aunque sí existen cambios a nivel clínico y en magnitud.

### Palabras clave:

ectasias, aberraciones ópticas corneales, RMS de alto orden, anillos intraestromales, polinomios de Zernike, agudeza visual logMAR, sensibilidad al contraste.

### ABSTRACT

**Objective:** To identify whether there are significant variations in the degree of higher-order corneal aberrations after implantation of intrastromal rings in patients diagnosed with corneal ectasia. **Materials and methods:** An analytical and longitudinal study of intervention in patients over 18 years was carried out. The refractive state was evaluated, as well as the visual acuity measured by logMAR; the topographic keratometry, the corneal optical aberrations coma, the trifoid, the spherical and the Root Mean Square High Order (RMS Ho), by the Keratron Scout topograph, and the visual quality through Mars letters test for contrast sensitivity. All of this was done in three times before surgery, first and third post-op months. **Results:** In 39 eyes of 26 patients evaluated before, after one and three months after the implantation, clinical differences were significant, though not statistical: a) visual acuity was increased with no correction, b) there was a decrease in spherical and cylindrical values, c) flattening in K1 and K2, d) differences in the degree of high order optical aberrations of cornea after the procedure, e) a better visual quality for these patients and f) use of ophthalmic lenses with a greater tolerance. **Conclusion:** The optical aberrations of the anterior surface of the cornea do not have a statistically significant difference before or after the implantation of intrastromal segments, although there are changes at a clinical level and in magnitude.

### Keywords:

ectasia, corneal optical aberrations, high order root mean square, intrastromal rings, Zernike polynomials, log MAR visual acuity, contrast sensitivity.

\*Optómetra. Especialista en Gerencia en Salud Hospitalaria. Magíster en Ciencias de la Visión, Universidad de La Salle. Docente, Universidad de La Salle.

## INTRODUCCIÓN

En la práctica clínica actual se registra una alta incidencia de alteraciones corneales ectásicas, bien sean primarias, como casos de queratoconos, degeneración marginal pelúcida o de Terrien, o secundarias, como aquellas inducidas por *lasik*, *lasek* o cirugía incisional, y astigmatismos altos post-queratoplastia penetrante o lamelar. La corrección más utilizada en estas alteraciones, es el lente de contacto. Sin embargo, ante la intolerancia a su uso, la disminución significativa de la agudeza y calidad visual, además de signos certeros de progresión del queratocono, se encontró una técnica para el tratamiento de los desordenes mencionados, que viene desarrollándose desde el año 1996. Se trata de los *anillos intraestromales*, que son una herramienta refractiva y un procedimiento corneal efectivo cuando se utilizan de conformidad con las directrices establecidas.

El propósito de esta investigación fue hacer un aporte científico a la comunidad de la salud visual y ocular en Colombia. Se trata de abordar un tema actual de bastante interés, valorando y analizando los frentes de onda y con ello el comportamiento óptico del sistema dióptrico del ojo. El estudio está enfocado en las aberraciones corneales de alto orden coma, trifoid y esférica, y al RMS Ho, que podrían variar al implantar estos segmentos. En optometría, la medición de las aberraciones ópticas usando el frente de onda en el ojo humano resulta muy conveniente para analizar y describir la función ocular, desde el punto de vista de la calidad visual objetiva y subjetiva.

La Sociedad Argentina de Oftalmología (2005) ha revelado que entre 20 y 25% de los pacientes con queratocono grado 3 y 4 requieren queratoplastia penetrante. El grupo CLEK (Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus) reporta que 12,3% de los conos terminan en una queratoplastia penetrante (2000). Por esta razón, la implantación de los anillos intraestromales demuestra un potencial benéfico cuando existe intolerancia, además de una visión funcional inadecuada con el uso

de lentes de contacto. Los segmentos constituyen un procedimiento mínimamente invasivo, con recuperación visual más rápida y que puede ser reversible, conservando la córnea sin alteraciones anatómicas marcadas ni grandes riesgos operatorios y proporcionando una mejor calidad de vida a quienes padecen estas alteraciones.

El *queratocono*, dentro de las queratectasias, tiene el mayor registro clínico. Se describe como una condición degenerativa, progresiva y no inflamatoria de la córnea, caracterizada por un adelgazamiento central causado por el debilitamiento del estroma, como resultado de la disminución de tejido colágeno. Se manifiesta con un incremento en la curvatura corneal, una disminución en su espesor, ejes oblicuos y la presencia de un astigmatismo irregular asimétrico que produce un reflejo retinoscópico alterado con imágenes en tijera (Li et ál., 2009).

Las *aberraciones ópticas* son imperfecciones de un sistema óptico que producen imágenes defectuosas, además de impedir que se reproduzca una copia clara y exacta del objeto de fijación. La aberración de onda es la diferencia entre un frente de onda perfecto, esférico y los frentes de onda reales para cada punto de la pupila. Pueden ser cuantificadas, ya sea con respecto a la imagen puntual esperada, o teniendo en cuenta el frente de onda correspondiente a ese punto ideal. El análisis se llevó a cabo mediante los *polinomios de Zernike*. Este es un modelo matemático que permite obtener una descripción cuantitativa de las aberraciones; es una aproximación del frente de onda medido. Su peso deteriora en mayor o menor cantidad la calidad visual de la imagen analizada y, por ello, es importante relacionarla según su posición en la pirámide alrededor del eje medial. Entre más arriba esté ubicada y más central al eje de la pirámide, la aberración tendrá mayor impacto que las situadas en las partes más periféricas (Montes, 2005). Las funciones de Zernike son mutuamente ortogonales.

Las aberraciones ópticas se clasifican en constantes de bajo y alto orden, así:

- Aberraciones constantes: los órdenes cero y uno de la pirámide contienen tres aberraciones invariables en todos los sistemas ópticos: el pistón, el tilt y el tip.
- Las aberraciones de bajo orden (segundo orden) se diagnostican y tratan diariamente; describen las ametropías. Se miden y corrigen fácilmente con lentes en anteojos, lentes de contacto o cirugía refractiva convencional. Son dos componentes del astigmatismo y un desenfoque esférico o defocus; pueden ser positivos o negativos, si se está ante un error hipermetrópico o ante uno miópico. Corresponden al 85% del total de las aberraciones ópticas, constituyendo ese porcentaje el deterioro en la calidad visual (Del Castillo, 2008).
- Las de alto orden, denominadas también de orden superior, están constituidas a partir del tercer orden y pueden llegar a ser infinitas. Los investigadores afirman que hasta el sexto orden son importantes a nivel ocular. Estas no suelen tratarse; constituyen el 15% del error total (Del Castillo, 2008); son las que limitan la calidad de visión de un ojo sano a menos del límite retiniano y no son susceptibles de corrección con métodos convencionales. Su efecto se hace más evidente para pupilas de mayor diámetro, contribuyendo a la degradación de la imagen visual. El valor normal en cada una de ellas es menor a  $0,30 \mu\text{m}$  (Schlegel, 2009).
- Normal:  $0,1$  a  $0,3 \mu\text{m}$
- Normal alto:  $0,3$  a  $0,5 \mu\text{m}$
- Astigmatismo irregular:  $0,5$  a  $0,7 \mu\text{m}$
- Posible queratocono: mayor a  $0,7 \mu\text{m}$  (Báez, 2008)

Cuanto menor es el diámetro pupilar, es menor la relevancia de las aberraciones ópticas de alto orden. En este estudio se utilizó una cartilla considerada en la actualidad como “la prueba de oro” para la toma de agudeza visual en investigación, propuesta por Bailey y Lovie (1976), ofrece una serie de principios para el diseño más lógico que hace que la tarea sea esencialmente la misma en cada nivel de tamaño; es decir, que la diferencia en la dimensión de las letras sea la única variable significativa de un nivel al siguiente, siendo una progresión logarítmica, estandarizando así las respuestas de cada sujeto. Además, la separación es la misma que el tamaño de la letra entre los renglones y el de las letras de abajo, teniendo siempre idéntica interacción de contornos.

La calidad visual se evaluó mediante la prueba de letras de Mars para la sensibilidad al contraste. Esta fue introducida por Mars Perceptrix Corporation (Chappaqua, Nueva York, Estados Unidos) en el año 2004. Su autor es Aries Arditi (PhD en Neurociencias Visuales). Consiste en tres cartillas portables, de  $23 \times 35,6$  cm, con diferentes optotipos y contrastes, cada una con distintas secuencias en las letras. Están impresas en un plástico rígido y fueron diseñadas para leer a una distancia de 40 o 50 cm, obteniéndose así un ángulo de  $2$  a  $2,5^\circ$ , respectivamente. La iluminación recomendada es de  $85 \text{ cd/m}^2$  (bombilla de la unidad) y una incidencia angular de  $45^\circ$ , para eliminar reflejos. Cada forma o cartilla presenta 48 letras uniformes en tamaño,  $1,75$  cm de altura, distribuidas en ocho renglones de seis letras cada uno, variando el contraste de manera muy fina en la escala conforme descende; la disminución de este es de  $0,04\mu$  unidades logarítmicas. Es muy fácil de administrar y además

El RMS total de un sistema óptico humano emétrope es igual a la unidad; si es menor, ese ojo ve más allá del 100%, y si es mayor indica un deterioro de la calidad de visión del paciente. Puede ser total, cuando se considera la sumatoria de las aberraciones de un sistema, o solo desde el punto de vista de las aberraciones de alto orden, y se describe como RMS Ho (Salmon, 2006).

En el caso del RMS Ho, sus valores de referencia teniendo en cuenta un diámetro pupilar de  $6,0$  mm son:

demuestra confiabilidad, validez y precisión en la prueba.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó un estudio analítico, longitudinal de intervención. La muestra poblacional se constituyó con pacientes operados con segmentos intracorneales, mediante tunelización manual, entre octubre de 2010 y junio de 2011. Estos pacientes previamente fueron diagnosticados con queratocono, degeneración marginal pelúcida o ectasia secundaria. De género femenino o masculino, consultaron y, según su diagnóstico, teniendo en cuenta los criterios de inclusión, fueron intervenidos por dos oftalmólogos en las salas de cirugía de Optilaser o de Imevi. La preparación pre y postquirúrgica fue llevada a cabo por la óptica investigadora. Los pacientes fueron declarados aptos para el implante de anillos intraestromales de Ferrara o *corneal ring*. El proyecto fue avalado éticamente por el Comité de Investigaciones de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad de La Salle.

La óptica investigadora valoró 39 ojos en un periodo de 11 meses, prequirúrgicamente, al mes y al tercer mes después de la cirugía de implante. A cada paciente se le tomaron las siguientes medidas: agudeza visual monocular con lectura logMAR sin corrección; retinoscopia estática; subjetivo final afinando con cilindro cruzado; agudeza corregida; sensibilidad al contraste con las letras de Mars y las aberraciones ópticas corneales de alto orden coma, trifoid y esférica, además del RMS Ho, con el topógrafo Keratron Scout. La base de datos se realizó en Excel y se usó el paquete estadístico R (The R Projector and Statistical Computing) versión 2.13.2.

Para cada una de las variables se verificó si satisfacía los supuestos de normalidad, mediante la prueba de Shapiro-Wilks, con el fin de determinar el comportamiento de los datos. En la mayoría de los casos demostraron ser no normales, es decir, se realizaron pruebas no paramétricas. En con-

VARIABLES PROPIAS DEL ESTUDIO	UNIDAD DE MEDIDA	NATURALEZA	CATEGORIZACIÓN	ESCALA
Aberración corneal	Micras	Cuantitativa	Razón	Continua
Defecto refractivo	Dioptías	Cuantitativa	Razón	Continua
Queratometría topográfica	Dioptías	Cuantitativa	Intervalo	Continua
Agudeza visual	logMAR	Cuantitativa	Razón	Continua
Sensibilidad al contraste	Log sc	Cuantitativo	Razón	Continua

secuencia, se aplicó la prueba de Kruskal-Wallis, con el fin de determinar si hay o no diferencias estadísticamente significativas entre las tres observaciones de cada variable, pre-implantes, primer mes y a los tres meses.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Se evaluaron 39 ojos de 26 pacientes diagnosticados con ectasia corneal; todos firmaron previamente el consentimiento informado; fueron intervenidos con segmentos de anillos intraestromales por medio de la tunelización manual, 13 sujetos implantados monocularmente y 13 binoculares. La edad media fue de 31,38 años, con una mínima de 19 años y una máxima de 52 años. La distribución por género fue de 17 varones (65,38%) y 9 mujeres (34,62%), evidenciándose un predominio del sexo masculino; 18 ojos derechos (46,15%) y 21 izquierdos (53,84%). Se colocaron 15 segmentos únicos, 24 dobles: 14 simétricos y 10 asimétricos; 34 ojos con anillos de Ferrara (87,17%) y 5 con *corneal ring* (12,82%). No se presentaron complicaciones intraoperatorias.

Antes de la cirugía se diagnosticaron 36 ojos (92,3%) con ectasia primaria tipo cono y tres (7,69%) con degeneración marginal pelúcida. Dentro de la muestra, dos ojos de pacientes de sexo femenino con ectasia iatrogénica, uno con un queratocono y el otro con una degeneración

marginal pelúcida, ambas con antecedente de cirugía Lasik, una 17 años atrás y la otra hace 10 años en los dos ojos. Esto se presentó por debilidad de la córnea, con un astigmatismo irregular progresivo y cambios a nivel refractivo, además de disminución de la agudeza visual con y sin corrección como síntoma principal en los dos casos. La intervención con implante de segmentos fue realizada en el peor ojo.

Considerando las tres clases de aberraciones de alto orden analizadas: coma, trifoid, esférica y el RMS Ho, los datos no fueron normales y tampoco se muestran diferencias estadísticas significativas entre las tres observaciones.

Se confirma que la aberración de alto orden que más se afecta en las ectasias corneales es el coma ( $Z3 \pm 1$ ), con valores de mediana  $1,217 \mu$  antes de la intervención. El dato obtenido al mes es de  $1,016 \mu$  y al tercer mes de  $0,976 \mu$ . La disminución después de los implantes fue de  $0,151 \mu$  (figura 1).

Para el coma, el valor encontrado como mínimo antes del acto quirúrgico fue de  $0,031 \mu$ , al mes  $0,216 \mu$  y al tercer mes  $0,254 \mu$ . El valor máximo fue de  $3,749 \mu$ , al mes  $2,813 \mu$  y al final  $2,596 \mu$ , con una desviación estándar de  $0,792$ ,  $0,675$  y  $0,580 \mu$ , respectivamente, en los tiempos de estudio.

En el trifoid, los valores presentan un leve aumento en relación con las córneas normales, sin mayor

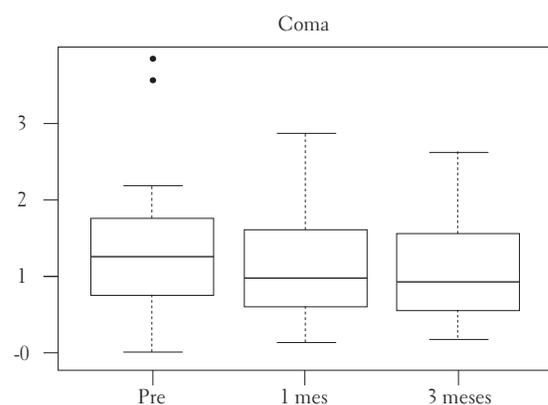


FIGURA 1. Comportamiento de la aberración corneal de alto orden coma ( $Z3 \pm 1$ ) a través del tiempo medida en micras

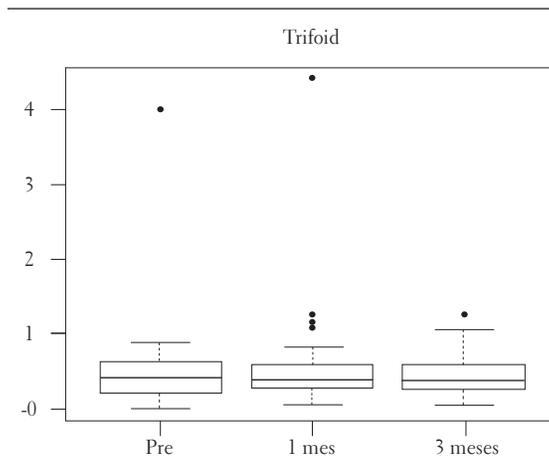


FIGURA 2. Aberración corneal de alto orden trifoid ( $Z3 \pm 3$ ) en micras, variación a través del tiempo

variación en el periodo evaluado. Se obtuvo una mediana de  $0,393 \mu$  prequirúrgico,  $0,378 \mu$  al mes y  $0,376 \mu$  a los tres meses (figura 2). Los datos mínimos encontrados antes fueron  $0,011 \mu$ ,  $0,055 \mu$  al mes y  $0,039 \mu$  al tercer mes. Los máximos fueron de  $0,886 \mu$  prequirúrgico,  $4,388 \mu$  al mes y  $1,234 \mu$  al final, y sus respectivas desviaciones estándar:  $0,240 \mu$  previamente al procedimiento,  $0,690 \mu$  al mes y  $0,282 \mu$  al tercer mes.

La aberración esférica en una córnea normal (prolata) es aproximadamente de  $-0,5 \mu$ . En el estudio la mediana antes del acto quirúrgico fue de  $-0,054 \mu$ , al mes de los implantes  $-0,499 \mu$  y al tercer mes  $-0,401 \mu$  (figura 3). Esto confirma que la córnea se aplatina después de la intervención con anillos y puede volverse menos negativa o ir hacia

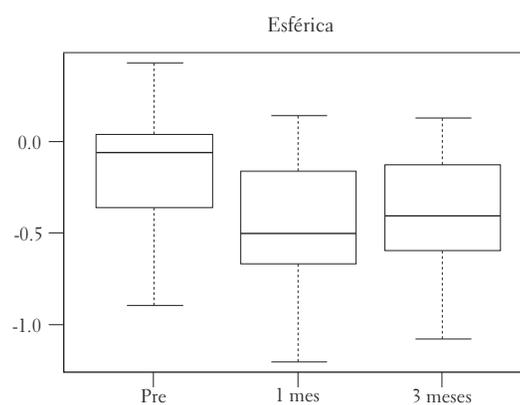


FIGURA 3. Aberración esférica ( $Z0, 4$ ) medida en micras a través del tiempo

valores positivos, lo que produce disminución en su calidad y cantidad visual.

El rango prequirúrgico mínimo encontrado fue de  $-0,898\mu$  y el máximo  $0,429\mu$ , con una desviación estándar de  $0,283$ . Al primer mes, el rango mínimo fue de  $-1,197\mu$ , el valor máximo  $0,145\mu$  y la desviación  $0,357\mu$ . Al tercer mes el menor valor fue de  $-1,076\mu$ , el mayor  $0,124\mu$  y la desviación estándar  $0,334\mu$ .

Para los datos del RMS Ho corneales, el valor logrado en la mediana antes fue de  $1,398\mu$ , al mes  $1,58\mu$  y al tercer mes postoperatorio  $1,608\mu$ , con un aumento progresivo al primer mes y también hacia el tercero (figura 4). Antes de la cirugía, el valor mínimo para RMS Ho que se encontró fue de  $0,194\mu$  y el máximo  $4,38\mu$ ; al mes  $0,605\mu$  y  $6,8$  como máximo, y al final un mínimo de  $0,559\mu$  y un máximo de  $3,091\mu$ . Las desviaciones estándar respectivas fueron de  $1,039$ ,  $1,172$  y  $0,699\mu$ .

Al evaluar la agudeza visual en logMAR sin corrección, en el momento prequirúrgico la mediana fue  $0,8$ , ( $60,0\%$ ), equivalente a  $20/120$  en Snellen. Al mes de la operación los pacientes mostraron un importante incremento en visión, logrando  $0,34$  ( $82,5\%$ ), correspondiente a un  $20/40$ , y al tercer mes  $0,22$  ( $87,5\%$ ), que equivale a  $20/32$ , alcanzando una ganancia de cinco líneas en la cartilla de Bailey Lovie.

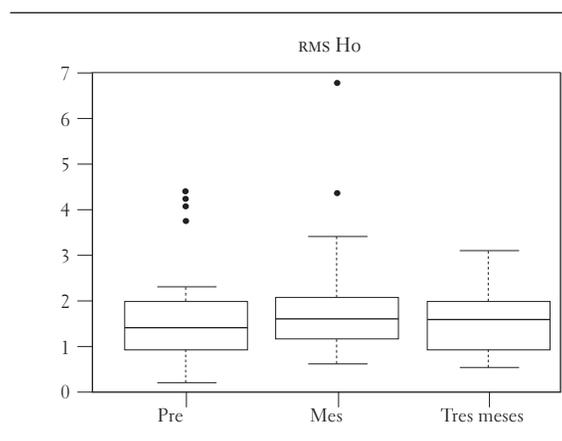


FIGURA 4. RMS Ho corneal en micras a través del tiempo

El dato de la mediana con corrección antes de la cirugía arrojó  $0,24$  logMAR, correspondiente a un  $87,5\%$  ( $20/30$  Snellen); al mes  $0,2$ , equivalente a  $90\%$  de visión ( $20/32$ ); y al tercer mes  $0,1$  logMAR =  $97,00\%$  ( $20/25$ ). Aquí el comportamiento es acertado en un logro de una línea de visión al estar el ojo corregido. El soporte clínico se fundamenta en la ganancia de visión que obtuvieron los pacientes al comparar el antes y el después del implante de los anillos, obteniendo una mejora de visión más notoria, aun sin corrección.

Analizando estadísticamente el defecto refractivo con sus tres componentes: esfera, cilindro y eje, los datos no fueron normales. El valor medio de la esfera fue  $2,75$  Dpts negativas (confirmando que se encuentran más ectasias corneales acompañadas con defecto miópico que hipermetrópico). Al mes se redujo a  $-0,64$  Dpts y al tercer mes a  $-0,44$  Dpts. Resultados estos muy reveladores para los pacientes en cuanto a disminución del valor esférico, habida cuenta que representan mejora en su visión en un  $84\%$ .

Con respecto al comportamiento del astigmatismo, se encontró una media de  $-2,87$  Dpts prequirúrgico,  $-1,35$  Dpts al mes y  $-1,28$  Dpts al tercer mes después del implante de los segmentos. Se obtiene así una disminución notoria del cilindro refractivo que corresponde a un  $55,5\%$ .

Según la variación del eje refractivo, predominaron los ejes verticales, sin obtenerse cambios significativos desde un punto de vista clínico. Antes de la intervención la media fue de  $100^\circ$ , al mes  $101^\circ$  y al tercer mes  $99^\circ$ .

Al observar la queratometría topográfica más plana, el valor mediano fue  $45,31$  Dpts, al mes  $44,11$  Dpts y al tercer mes  $44,35$  Dpts. En cuanto a K2, el dato más curvo prequirúrgico de la mediana:  $51,36$  Dpts, al mes  $47,57$  y al tercer mes  $47,21$ . Se observa un claro aplanamiento, tanto en K1, aproximadamente  $0,96$  Dpts, como en la queratometría más curva (K2), donde predomina un comportamiento mayor que alcanza  $4,15$  Dpts,

más plano que el dato previo a la intervención. Según el eje topográfico, guarda bastante relación con el refractivo, con una mediana antes de 113 grados, al mes de 91 y al tercer mes de 90. No hubo variación clínicamente representativa, conservando siempre el eje contra la regla.

Para la prueba de sensibilidad al contraste, los datos no fueron normales. La mediana prequirúrgica fue de 1,34 log sc, al mes de 1,46 log sc y al tercer mes 1,52 log sc. El análisis comparativo entre el primer y el tercer mes va incrementado; la condición de contraste sí mejora (0,18 log sc), revelándose en la calidad de visión obtenida por los pacientes del estudio. El rango en el momento prequirúrgico fue de 0,57 log sc el mínimo y 1,66 log sc el máximo, con una desviación estándar de 0,247. Al mes los valores fueron de 1,05 log sc el menor y 1,72 log sc el mayor; la desviación estándar fue 0,175. Al tercer mes el dato más bajo fue de 0,7 log sc y el más alto de 1,72 log sc, con una desviación estándar de 0,213.

## DISCUSIÓN

Las aberraciones de la superficie anterior de la córnea indican la calidad que posee un ojo de manera cuantitativa, mediante la representación de los polinomios de Zernike relacionados con cada clase de aberración. Por ello la aplicación de la tecnología de frentes de onda aporta más información sobre las diferencias en eficacia óptica de un paciente sin patología de córnea. La reducción en la capacidad óptica del ojo es la causa principal de la visión borrosa que refieren estos pacientes.

Estudios anteriores han puesto de manifiesto que las aberraciones de alto orden en la superficie corneal anterior son significativamente más altas en ojos con queratocono que en ojos normales, en particular las de tipo coma ( $Z_3 \pm 1$ ). Los resultados aquí obtenidos concuerdan con aquellos de las investigaciones de Maeda y Alio (2002) y de Pantenelli et ál. (2006), con características similares en los reportes. En esta investigación la coma

arrojó un valor de la mediana de 1,217  $\mu$  antes de la cirugía (desviación estándar 0,792) y de 1,099  $\mu$  después de los implantes de anillos. Al tercer mes postoperatorio la coma arrojó una media igual a la mediana, equivalente a -0,054  $\mu$ , menor valor -1,076  $\mu$  y superior 0,124  $\mu$ .

Esto es comparable con las investigaciones realizadas por Del Castillo y Hernández (2008) en México, que evaluaron las aberraciones de alto orden en pacientes sanos y con queratocono, obteniendo en este grupo un valor de la aberración esférica de  $0,81 \pm 0,71$  (0,15 a 0,62) mm, coma  $2,49 \pm 1,54$  mm (0,65 a 9,43) y el RMS Ho  $3,30 \pm 2,17$  (0,81 a 13,88). Resultados similares se obtuvieron en este estudio respecto a la medida de la aberración esférica Z(0,4), que antes de la intervención tuvo un rango entre -0,89 y 0,42, con una mediana de -0,054  $\mu$  y una media de -0,130  $\mu$ .

El doctor Ferrara (2005) al analizar la estabilidad a largo plazo en pacientes con queratocono, con seguimiento a ocho años, demostró que la técnica de los anillos puede volver más lenta o detener la progresión de la enfermedad; comparó los exámenes de frente de onda pre y postoperatorio y mostró una notable mejoría en las aberraciones de alto orden corneales, especialmente inclinación, trifoid y coma.

Piñero y Alio (2007) en Alicante, España realizaron un estudio retrospectivo en queratoconos grado I y II tras el implante de dos tipos de anillos: Intacs y kera rings, con un seguimiento a seis meses. Evaluaron las aberraciones de orden superior en la superficie anterior de la córnea y concluyeron que la aberración esférica Z(0,4) se vuelve más negativa en el postoperatorio temprano y la coma corneal Z(3  $\pm$  1) decrece tras el implante de segmentos, manteniéndose estable en el tiempo de su investigación. Tales resultados coinciden con los de esta investigación, si se tiene en cuenta que la aberración Z(3  $\pm$  1) arrojó prequirúrgicamente 1,217  $\mu$  y al tercer mes post disminuyó a 0,976  $\mu$ . En cambio, en el desempeño en la aberración corneal Z(0,4) el valor antes del implante fue de

-0,054 $\mu$  y posterior a este de -0,401 $\mu$ , con aumento del valor negativo.

Alió y un grupo multidisciplinario (2008) llevaron a cabo una investigación sobre los cambios aberrométricos y refractivos en ectasias primarias tipo degeneración marginal pelúcida después del implante de segmentos intracorneales, encontrando disminución en el valor de las aberraciones ópticas de bajo y de alto orden, específicamente coma y astigmatismo. Para la aberración corneal esférica los cambios no fueron significativos, siendo esta un factor importante en el límite visual de estos pacientes; su seguimiento fue a seis meses. En este trabajo solo existieron dos ojos con DMP, uno primario y otro iatrogénico. Ambos obtuvieron buenos resultados tras la implantación de los segmentos.

El promedio del RMS de alto orden en ojos sanos alcanza valores mínimos en comparación con los ojos con ectasia. Estos 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. En los hallazgos encontrados la variación se presentó con un incremento paulatino al mes y al tercer mes después de la intervención, 0,194 $\mu$  el valor mínimo y 4,388 $\mu$  el dato más elevado antes de los implantes de segmentos y 0,55 $\mu$  y 3,09 $\mu$  respectivamente al tercer mes post; la mediana fue 1,39 $\mu$  antes y su comportamiento al final del estudio se ubicó en 1,60 $\mu$ .

El RMS de alto orden, según la clasificación establecida por la escala del *keratoconus severity score* que lo define según los grados de afectación y su evolución, corresponde a segundo grado, leve (1,39 $\mu$ ). Los valores reportados según la severidad del queratocono para el RMS Ho son  $> 1,00$  y  $\leq 1,50\mu$  (Guías de práctica clínica Sociedad Colombiana de oftalmología, Ectasias corneales, N.VI, 2008-2010).

Se encontró que las aberraciones de alto orden que más se modificaron fueron la coma ( $Z3 \pm 1$ ) y la esférica ( $Z 0,4$ ), escasa variación del trifold

( $Z3 \pm 3$ ) y del RMS Ho. La investigación concuerda con los datos hallados por Maeda y Alio (2002) en cuanto a que las aberraciones de alto orden en la superficie corneal anterior son significativamente más altas en ojos con ectasias que en ojos normales, lo cual origina un frente de onda deformado. La descentración del ápice de la córnea, sea inferior, nasal o temporal, conlleva aberraciones que con mayor frecuencia son de tipo coma.

Se considera que la corrección o mejoría de las aberraciones corneales de alto orden impacta benéficamente la función visual, optimizando la sensibilidad al contraste y la visión espacial (Williams, 2000). El implante de los anillos intraestromales para el tratamiento de pacientes con queratocono muestra una gran eficacia, evidenciada a través del incremento en líneas de visión cuando se compara la agudeza visual, aun sin corrección quirúrgica, en relación con los tres meses después de la intervención.

Siendo este un seguimiento a mediano plazo, los resultados obtenidos en el estudio expresan después de los implantes un progreso en líneas de visión correspondiente a 56,58% sin el uso de corrección, muy favorable en todos los casos y con la mejor corrección un 44,83%. Esta curva de recuperación visual se estabiliza hacia los tres meses. Según los hallazgos hechos (teniendo en cuenta los valores obtenidos en la media de agudeza visual), los pacientes alcanzaron una mejora de cinco líneas sin corrección en la cartilla de Bailey Lovie, lo cual, al tener en cuenta los valores preoperatorios, representa un avance evidente en la calidad de la visión. La agudeza mejor corregida, clínicamente ganó una línea, lo que resulta alentador para los pacientes con ectasias quienes además, después de los implantes, pueden ser adaptados con un antejo convencional según sus necesidades; es decir, existe una relación visible entre la mejoría de la agudeza visual lejana corregida y la visión sin corrección luego de realizar la cirugía.

Los resultados obtenidos coinciden en menor proporción, por la muestra estudiada, con aquellos de

la investigación de Colin (2007), quien evaluó 82 ojos de 68 pacientes con implante de segmentos intraestromales intactos, donde mejoró la agudeza visual sin corrección de manera sustancial en un 80,5% y la agudeza visual mejor corregida en 68,3%.

Una investigación realizada por Cuevas, Escalona, Pérez, López y Márquez en el Instituto Oftalmológico de Cuba (2006) reportó que la agudeza visual sin y con corrección se incrementó en 70,6 y 82,4%, respectivamente, después de los segmentos; el componente esférico y el astigmatismo evolucionaron favorablemente en 76,5% de los pacientes y las queratometrías en el meridiano fuerte mejoraron en 94,1% y el débil en 70,6%. Las complicaciones no fueron significativas.

Se cuestiona un estudio realizado por Jiménez y Piñero, en Alicante, España (2010), donde se encontró que no existen diferencias significativas entre la agudeza visual sin corrección antes y después de implantar el anillo. En el valor cilíndrico refractivo se tuvo una reducción del cilindro a los tres meses y en cuanto a la refracción mejor corregida hubo diferencias significativas a los tres meses. Así mismo, los resultados topográficos evidenciaron un aplanamiento significativo en el meridiano más plano y en el más curvo, siendo su periodo de seguimiento mayor hasta los seis meses.

Estos resultados son concurrentes con una serie de casos (estudio retrospectivo) reportados por Malvaiz y Ramírez (2009), donde la capacidad visual preoperatoria de pacientes con queratocono fue de 20/80 antes de los implantes y de 20/32 hacia los tres meses. Se encontró que el mayor cambio refractivo ocurrió en la semana 12. La queratometría basal fue en promedio de 53,23 Dpts y a las 18 semanas 47,84 Dpts. La basal mínima fue de 36,9 Dpts y la máxima de 60,5 Dpts. Esto es equiparable a lo encontrado en esta investigación, según la mediana de agudeza visual en logMAR 0,8 pre y al tercer mes después del implante 0,22 logMAR.

En esta muestra el astigmatismo miópico compuesto (76,92%) fue el defecto refractivo previo más encontrado, seguido del astigmatismo miópico simple (20,51%), por la relación entre curvas más curvas y ojos miopes. El astigmatismo acompañado de hipermetropía puede asociarse de manera menos frecuente a las ectasias corneales, como lo refiere Abad (2007). Ello concuerda con los resultados obtenidos, ya que en el estudio solamente un ojo (2,56%) tenía astigmatismo hipermetrópico compuesto, en baja magnitud. El astigmatismo disminuyó claramente en 1,23 Dpts con referencia al valor antes del procedimiento, lo que demuestra que el implante de los segmentos sí moldea la córnea y produce una superficie más uniforme para un nuevo tipo de adaptación.

Una investigación realizada por Sierra, Vejarano y Amaya en México (2010) destaca los resultados, con una evolución de seis meses, al implantar segmentos *corneal ring* en un grupo de pacientes y concluye que disminuyen tanto el astigmatismo como la esfera, en especial la última, ya que esta muestra cambios por el efecto del aplanamiento que inducen los segmentos. Los hallazgos más significativos se observaron, en forma constante, con la disminución de los valores de la queratometría, tanto en los ejes planos y curvos como en la queratometría media: 49,9 Dpts en el prequirúrgico, contra 45,41 en la postquirugía. La agudeza visual sin corrección mejoró en forma importante, lo que se corrobora en la literatura al respecto: el simple aplanamiento corneal, además de disminuir la esfera, mejora las aberraciones corneales, lo que se manifiesta en un incremento de la agudeza visual. El valor esférico medio obtenido en esta investigación fue de 0,44 Dpts negativas a los tres meses de seguimiento, valor muy representativo para los sujetos por su mejora tanto en calidad como en cantidad de visión.

A partir de los hallazgos hechos en la queratometría topográfica, según la muestra, el valor mínimo más plano (K1), previamente a la implantación de anillos, fue de 41,24 Dpts, con una mediana de 45,31 Dpts, un máximo de 58,84 Dpts y una

desviación estándar de 4,136 Dpts. En el estudio se destacó, de manera notoria, la queratometría topográfica más curva (K2), cuyo valor de mediana fue de 51,36 Dpts, con un dato prequirúrgico más curvo de 62,72 Dpts, al mes 63,67 Dpts y al tercer mes postquirúrgico 52,36 Dpts.

En esta investigación los ojos de los pacientes implantados con anillos intracorneales mostraron mejoría de al menos 3,0 Dpts en la topografía queratométrica. Resulta interesante también señalar que en la mayoría de los casos el astigmatismo disminuyó significativamente. De igual manera, se comprueba que corrigiendo las distorsiones refractivas, la agudeza visual logra un incremento paralelo a la sensibilidad al contraste. Esto otorga una relevancia clínica a los pacientes sometidos a implante de anillos intracorneales; es decir, si se compensan en parte las aberraciones ópticas de alto orden, se mejora potencialmente la visión.

La implantación de los anillos revolucionó la terapéutica y dio una opción a los pacientes portadores de esta invalidante afección. Después de la cirugía, los sujetos por lo general mejoran la visión. Mediante la creación de una superficie regular de la córnea, se preserva la parte central y se adiciona tejido periférico, siendo esta una técnica segura. Para los pacientes es interesante la disminución en la dependencia del uso de corrección previa, sea con lentes oftálmicos o de contacto.

La medida de la sensibilidad al contraste determina el nivel de contraste más bajo que puede ser detectado por el paciente para un tamaño determinado de estímulo. A diferencia de la agudeza visual, mide dos variables de forma independiente: tamaño y contraste, mientras que la agudeza visual solo mide tamaño, debido a que su contraste es siempre constante (negro sobre blanco) y alto (98 a 100%).

Sandoval et ál. (2006) realizaron un estudio prospectivo y longitudinal sobre los cambios en la sensibilidad al contraste después del implante de segmentos intraestromales y concluyeron que la SC en visión lejana disminuyó en la primera semana

postoperatoria, solamente para frecuencias espaciales bajas, mejorando en el primer y tercer mes en todas las frecuencias. La SC cercana disminuyó en la primera semana en frecuencias intermedias y altas y se recuperó al primer mes. Para el tercer mes todos los ojos mostraron mejoría en la SC en ambos casos. Las pruebas usadas para esa investigación fueron Sine Wave Contrast Test para visión lejana y Contrast Sensitivity Evaluation Form para visión próxima.

De acuerdo con lo expuesto, entre los anteriores reportes y el trabajo actual se presentan características similares. Este último utilizó la prueba de sensibilidad al contraste en visión próxima, en la cual se observó un 69,27% de contraste como dato prequirúrgico, con una mediana de 1,34 log sc. Un mes más tarde el contraste llegó a 74,47% y la mediana a 1,46 log sc, y al tercer mes se evidenció un aumento, según los valores de referencia reportados, alcanzándose un contraste de 76,04% y una mediana de 1,52 log sc, teniendo en cuenta que se habla de canales de una frecuencia espacial más sensible y diferentes contrastes.

Esto coincide con la literatura revisada, la cual reporta que el implante de anillos intraestromales mediante la tunelización manual resulta un tratamiento seguro y efectivo en pacientes con ectasia corneal. Los resultados visuales, desde el punto de vista refractivo y topográfico, reportan mejora en cuanto a que en estos casos se restaura la visión funcional y los sujetos alcanzan a realizar sus actividades cotidianas, en las cuales tiene gran importancia la sensibilidad al contraste, de la que anteriormente con su deterioro progresivo de la visión disfrutaban en menor cantidad.

En los últimos años hay que resaltar la incidencia del queratocono inducido por la cirugía refractiva con láser, es decir, el aumento en el índice de prevalencia de ectasias post lasik, que llega a ser de 6 por cada 1000 pacientes intervenidos (Pallikaris, 2001). Esta una enfermedad devastadora e infrecuente, alrededor de 1:250 (Navarro, 2010). En la investigación solamente dos ojos de

dos pacientes de sexo femenino tuvieron cirugía lasik previa binocular, de hace más de 10 años, y desencadenaron ectasia iatrogénica. Se realizó el implante de un solo segmento asimétrico en el ojo de peor condición (en ambos casos) y el resultado fue muy satisfactorio, puesto que se obtuvo una mejora significativa de visión sin y con corrección.

Un trabajo de Siganos et ál. (2002) detalla resultados positivos en ectasias iatrogénicas, de acuerdo con los cuales la agudeza visual sin corrección mejoró a los nueve meses de la implantación en tres ojos de dos pacientes y no hubo complicaciones derivadas. Lo mismo ocurre con la investigación de que Kymionis et ál. (2006), sobre un grupo de pacientes con ectasia pos-lasik, tras cinco años de implantación de *intacts*. Los investigadores reportan que no encontraron regresión de la ectasia ni complicaciones postoperatorias en dicho periodo. Alio et ál. (2002), en otra serie de casos de ectasia pos-lasik, reportaron resultados positivos, con cierta precaución sobre la futura respuesta corneal al implante de estas prótesis en pacientes que habían desarrollado ectasia iatrogénica, porque la etiología se presumía diferente a la fisiopatología convencional de la ectasia primaria.

Dos ojos del estudio tuvieron implante de anillos intraestromales y estaban a la espera de una queratoplastia penetrante para su ojo contralateral. Uno de ellos presentó un hidrops corneal a los dos meses de la intervención. Por fortuna, el paciente rápidamente reportó una incomodidad referida como disminución marcada de la visión y aparición de una mancha blanca en el ojo derecho. El paciente fue atendido en urgencias por la optómetra investigadora, quien lo remitió al oftalmólogo, y fue puesto en la lista para obtener córnea prioritaria; fue intervenido dos semanas más tarde, es decir, dos y medio meses después del implante de dos segmentos en el ojo izquierdo. Se realizó queratoplastia penetrante en su ojo derecho, con un excelente resultado. Hasta el momento la otra paciente no ha sido intervenida. Durante el estudio, las complicaciones comúnmente mencionadas en la literatura, tales como

infección, migración, extrusión o descentración de los segmentos y opacidades anulares no se presentaron en ningún caso. Cabe resaltar que al mes y medio, un paciente postquirúrgico de ambos ojos presentó un proceso alérgico severo y fue atendido y prescrito de inmediato.

## CONCLUSIONES

Para la aberración coma ( $Z3 \pm 1$ ), cuyo valor se encontró más elevado antes de los implantes, por la condición patológica de los pacientes estudiados, su comportamiento fue mostrando un decrecimiento en los tres momentos de la investigación. Por el contrario, la actuación de la aberración esférica ( $Z0,4$ ), que inicialmente mostraba un valor de  $-0,054\mu$  antes del acto quirúrgico, al mes subió a  $-0,499$  y al tercer mes llegó a  $-0,401\mu$ , haciéndose cada vez más negativa. Los valores de referencia reportados por las aberraciones ópticas corneales trifoid ( $Z3 \pm 3$ ) y RMS Ho mantienen una tendencia estable antes y después de los implantes.

Al contrastar los resultados pre y postoperatorios se revela una mejora en agudeza visual con y sin corrección. Ningún paciente perdió líneas de agudeza en la cartilla de Bailey Lovie. La mediana reportó una ganancia de cinco líneas de visión, siendo 20/32 la máxima capacidad visual, obtenida al tercer mes posoperatorio sin corrección. Teniendo en cuenta el defecto refractivo, es indiscutible una reducción del valor de la esfera y del astigmatismo, aumento en la regularidad topográfica y, por consiguiente, mejora en la agudeza visual sin corrección en toda la muestra. La queratometría, así como los patrones topográficos, presentó un aplanamiento después de la implantación, siendo más marcada en la curva más curva K2, con disminución en el cilindro queratométrico, refractivo y produciendo una regularización de la forma corneal anterior que mejora notablemente la agudeza visual.

Después del tratamiento de implante de segmentos intraestromales, se ven los efectos clínicos de ganancia de calidad de imagen; los pacientes no

tan que, en determinados casos, pueden realizar sus actividades diarias sin depender de corrección óptica. Resultó interesante que no se encontrara ningún tipo de complicación durante la investigación. Esta intervención promueve la corrección de una deformidad estructural de la córnea y, de manera concomitante, la corrección refractiva. El resultado obtenido después del implante de los segmentos es, infrecuentemente, la emetropía y muy seguramente el paciente va a necesitar corrección óptica. Este papel lo debe asumir el optómetra tratante; si es necesario, debe corregir la ametropía residual con anteojos o lentes de contacto, sean rígidos o blandos.

## RECOMENDACIONES

Una vez elegido adecuadamente el paciente para la implantación de los segmentos estromales, no se deben crear falsas expectativas y se requiere gran claridad al momento de advertir que esta no es una cirugía que elimine el defecto refractivo o evite el uso de corrección óptica. Hay que precisar que es un moldeamiento de la superficie corneal que lleva a un muy buen pronóstico visual, además de ser una rehabilitación que permite brindar opciones que respondan a las necesidades de los pacientes con ectasias corneales.

La agudeza visual es una medida rutinaria en todos los consultorios de optómetras; determina la cantidad de visión, sin tomar en cuenta la función visual en el mundo real. Si se complementa esta medida con la sensibilidad al contraste, se extiende la función visual; por ello establecer esas pruebas en la consulta diaria es un acierto en beneficio de toda la comunidad que tiene acceso a nuestro servicio, para expandir la cantidad de información visual que se puede lograr de un paciente.

Obtener un dato refractivo en una ectasia corneal requiere bastante experiencia. Una vez estas córneas han sido remodeladas, se exige del optómetra una gran habilidad en su medición con aparatos tradicionales, además de hacer uso de la

última tecnología para que la información sea muy puntual y así brindarle a los pacientes su visión óptima.

El tiempo de seguimiento es uno de los parámetros claves para determinar la corrección después de una intervención, ya que en algunos casos, inclusive posteriores al tercer mes, se presentan cambios en la refracción. No es pertinente la readaptación de lentes de contacto, ni de un lente oftálmico, hasta obtener la estabilidad anatómica de la córnea y para que se justifique la nueva prescripción.

Las pruebas de sensibilidad al contraste proporcionan datos clínicos para un diagnóstico oportuno. Son indicadores muy útiles en el pronóstico y seguimiento de los pacientes, ya que identifican la calidad de visión o cantidad de contraste que una persona puede resolver, con el fin de proveer una mejora en su función visual.

## AGRADECIMIENTOS

Al grupo Optilaser, por brindarme las instalaciones y los equipos de medición. A todo su talento humano, optómetras y oftalmólogos, quienes me apoyaron siendo guías fundamentales durante la investigación.

## REFERENCIAS

- Abad, J., Awad, A. y Kurstin, J. (2007). Hyperopic Keratoconus. *Journal Refractive Surgery*, 23 (5), 520-523.
- Alió, J. (2006). Corneal Higher Order Aberrations. *Journal of Refractive Surgery*, (22), 539-545.
- Alio, J., Salem, T., Artola, A., y Osman, A. (2002). Intracorneal Rings to Correct Corneal Ectasia after Laser in situ Keratomileusis. *Journal Cataract Refractive Surgery*, (28), 1568-1574.
- Amar, A., y Boyd, B. (2003) "Wavefront Análisis", *Aberrometers and Corneal Topography*. Panamá: Highlights of Ophthalmology International, Gaillard Highway, Clayton.

- Arun, B., Fergal, E., Robert, H., Alan, R., y Andrew, T. (2000). Visual Function after Penetrating Keratoplasty for Keratoconus: A Prospective Longitudinal Evaluation. *British Journal Ophthalmology*, 1 (84), 60-66.
- Colin, J., y Malet, F. (2007). Intacs for the Correction of Keratoconus: Two-Year Follow-Up. *Journal Cataract Refractive Surgery*, (33), 69-74.
- Collaborative Longitudinal Evaluation of Keratoconus Study (CLEK) (2000).
- Cuevas, J., Escalona, E., Castillo, A., Pérez, Z., Parra López, S., y Márquez, S. (2009) Results of the Treatment of Patients Diagnosed with Keratoconus using Ferrara Rings. *Revista Cubana de Oftalmología*, 22 (2), 11209.
- Del Castillo, A., y Hernández, E. (2008). Aberraciones corneales de alto orden ¿un método para graduar el queratocono? *Revista Mexicana de Oftalmología*, 82 (6), 369-375.
- Jiménez, R., y Piñero, D. (2010). Análisis del astigmatismo corneal mediante el método vectorial de Alpíns tras implante de segmentos intracorneales en córneas ectásicas. Congreso Internacional Optometría, contactología, óptica oftálmica. Modulo cirugía refractiva, Madrid, España.
- Kymionis, G., Siganos, C., y Kounis, G. (2006). Long Term Follow Up of Intacts for Post Lasik Corneal Ectasia. *Ophthalmology*, (113), 1909-1917.
- Maeda, N. (2002). Wavefront Aberrations Measured with Hartmann Shack Sensor in Patients with Keratoconus. *Ophthalmology*, (11), 1996-2003.
- Malváiz, R., Ramírez, A., y Palacios, G. (2009). Análisis de capacidad visual y refracción postcolocación de anillos intraestromales en pacientes con queratocono. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 83 (1), 6-10.
- Meijide, N. (2010). Epidemiología del queratocono. En: *Queratocono: pautas para su diagnóstico y tratamiento*. Buenos Aires: Ediciones Científicas Argentinas, n°. 11.
- Osorio, M., Bastidas, S., y Van Heyl, L. (2008) Anillos intraestromales. Resultados y complicaciones. *Revista Sociedad Colombiana de Oftalmología*, 41 (4), 758-763.
- Piñero, D., Alio, J., Barraquer, R., Michael, R., y Jiménez, R. (2010). Corneal Biomechanics, Refractions and Corneal Aberrometry in Keratoconus: An Integrated Study. *Ophthalmology Vision Science*, 51 (4), 48-55.
- Rosas, A. (2005). Una aproximación a la tecnología de frentes de onda: bases de aberrometrías. Medidas de cuantificación visual: cantidad y calidad visual. *Revista Sociedad Colombiana de Oftalmología*, 38 (3), 68-80.
- Sandoval, A., y Velasco, R. (2006). Cambios en la sensibilidad al contraste después de la implantación de segmentos corneales intraestromales. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 80 (5), 241-245.
- Schlegel, Z., Lteif, Y., Bains, H., y Gatinel, D. (2009). Total, Corneal, and Internal Ocular Optical Aberrations in Patients with Keratoconus. *Journal Refractive Surgery*, oct. 25, 951-957.
- Sierra, D., Vejarano, M., y Amaya, A. (2010). Experiencia en el tratamiento del queratocono con anillos intraestromales *corneal ring* seguimiento a un año. *Revista de la Sociedad Colombiana de Oftalmología*, 43 (1), 12-20.
- Siganos, C., Kymionis, G., y Astyrakakis, N. (2002). Management of Cornea Ectasia after Laser in situ Keratomileusis with Intacts. *Journal Refractive Surgery*, 18, 43-46.
- Sociedad Argentina de Oftalmología (2005). Consenso de expertos. nisebe@claimglobal.com.ar
- Torres-Soriano, K. (2009). Aberraciones de alto orden en ojos con queratocono medidas mediante análisis de frente de onda Hartmann Sharck. *Revista Mexicana de Oftalmología*, 83 (2), 100-105.
- Williams, D. (2000). Off-Axis Optical Quality and Retinal Sampling in the Human Eye. *Vis Res*, 36, 1103-1114.

Recibido: 1° de febrero del 2012

Aceptado: 8 de marzo del 2012

CORRESPONDENCIA

Rosario Vidal Olarte

rovidal@unisalle.edu.co

