



OftalTech

Fuente: JOURNAL OF REFRACTIVE SURGERY

Junio 2011 – Volumen 27, Nº 6

“Correlation among ocular spherical aberration, corneal spherical aberration, and corneal asphericity before and after LASIK for myopic astigmatism with the SCHWIND AMARIS platform” by Samuël Arba Mosquera, MSc and Diego de Ortueta, MD.

Correlación entre aberración esférica ocular, aberración esférica corneal y asfericidad corneal antes y después del LASIK para miopía y astigmatismo con la plataforma SCHWIND AMARIS

RESUMEN

Propósito: determinar la aberración de onda esférica del ojo humano basándonos en topografía corneal.

Método: se determinaron las correlaciones entre aberración esférica y asfericidad y entre aberraciones esféricas oculares y corneales basándonos en el estado preoperatorio y postoperatorio de 146 ojos consecutivos (edad media de los pacientes de 36 años) y usando métodos de regresión lineal simple. Se determinaron los valores de asfericidad (Q) por los que las aberraciones esféricas equivalen a cero, así como los valores de referencia Q por los que la aberración esférica corneal equivale a aberración esférica ocular. Los pacientes se sometieron al LASIK usando la plataforma láser excimer AMARIS (SCHWIND eye-tech-solutions). Todas las ablaciones se basaron en los perfiles de aberración neutral esférica.

Resultados: las aberraciones esféricas oculares y corneales se correlacionan bien con valor Q y valor $p \cdot R^3$ en pacientes de antes y después del LASIK para astigmatismo miope. Un valor Q de -0,19 a -0,27 puede proporcionar aberración esférica ocular cero en pacientes de antes y después del LASIK para astigmatismo miope. La aberración esférica ocular se induce a una tasa de la mitad de la aberración esférica corneal inducida. Un valor Q de referencia de -0,12 a +0,01 puede proporcionar aberración esférica corneal igual a aberración esférica ocular en pacientes de antes y después del LASIK para astigmatismo miope.

Conclusiones: las aberraciones de onda corneales y oculares son dos conceptos diferentes que no son intercambiables. En cuanto a la aberración esférica, un modelo estático simple con una córnea de referencia que se desvía de un óvalo cartesiano puede proporcionar una correspondencia de 2:1 entre aberración esférica ocular y corneal.

[*J Refract Surg.* 2011;27(6):434-443.]

doi:10.3928/1081597X-20101001-01



OftalTech

Existe controversia con respecto a la definición adecuada de un perfil de ablación óptima para la cirugía refractiva corneal. Se ha sabido durante muchos años que los tratamientos refractivos corneales inducen a un cambio en asfericidad corneal y recientemente se ha supuesto y discutido que los tratamientos refractivos corneales que preservan la asfericidad corneal preoperatoria (valor Q) pueden ser deseables, de esta manera, se ha desarrollado perfiles basados en asfericidad. Se han presentado como soluciones los perfiles de factor Q, optimizados por frente de onda y preservando la asfericidad.

Ha habido algunas confusiones en el mercado cuando se utilizan términos como optimización valor Q o perfiles libres de aberración. La cantidad de aberración esférica corneal y de asfericidad están intrínsecamente relacionadas; pero esto no significa que mantener la aberración esférica original después de tratamiento corneales mantendrá la asfericidad original o viceversa.

Todavía existe gran controversia sobre la definición correcta de un perfil de ablación óptimo para la cirugía refractiva corneal. Para evitar la inducción de aberraciones y, además, para intentar eliminar ya las aberraciones existentes, se desarrollaron tratamientos llamados “personalizados”.

Para compensar por las aberraciones ya existentes, se desarrollaron tratamientos personalizados que usan cualquier medición de frente de onda del ojo entero (obtenido por sensores de frente de onda Hartmann-Shack) o análisis de frente de onda derivados por topografía corneal. Los perfiles guiados por topografía y conducidos por frente de onda se han presentado como soluciones.

En ojos humanos con aberraciones normales, el peso $C(n,m)$ de los términos Zernike $Z(n,m)$ disminuye con aumento de orden de Zernike (n), por eso el impacto teórico de ablación de ciclotorsión es más pequeño que la ablación descentrada o los efectos de borde (aberración esférica y de coma).

A causa del ángulo kappa más pequeño asociado con miopes en comparación con hipermétropes, los problemas de centrado son menos aparentes. Sin embargo, el ángulo kappa en miopes puede ser suficientemente grande para mostrar diferencias en los resultados, ya que es siempre deseable conseguir tanta estandarización como sea posible y no tratar miopes utilizando el centro de la pupila como la referencia, mientras que los hipermétropes usan el vértice corneal.

El estudio de aberración Indiana por Thibos et al caracterizaron la estructura de aberración y los efectos de estas aberraciones en la visión para una población razonablemente grande de ojos sanos, normales en adultos jóvenes, y verificaron la hipótesis de simetría bilateral. Porter et al confirmaron en una población grande que aunque el patrón de aberraciones varía de individuo en individuo, las aberraciones, que incluyen las que son irregulares, están correlacionadas con los ojos izquierdos y derechos de un mismo paciente, indicando que no son efectos aleatorios. Wang et al encontraron que las aberraciones de onda corneal anterior variaron enormemente entre los individuos, pero un grado de moderado a alto de simetría de espejo existente entre los ojos derechos e izquierdos.

Utilizar diferentes fuentes de datos de entrada en cirugía refractiva de diferentes dispositivos puede llevar a una confusión debida a la falta de estándares, a diferentes modelos de ojo y a diferentes índices refractivos.

Se han presentado diferentes modelos de ojo en la bibliografía. Algunos ejemplos incluyen modelos de ojo con un valor Q esférico de $-1/n^2$ y $-1/2n^2$, donde n es el índice refractivo de la córnea y los modelos de ojo con valor Q esférico de $-0,25$. Los diferentes índices también se usan en los modelos de ojo. En algunos casos, se utiliza (1,3375) el índice refractivo queratoreferente, se usan (1,3775; 1,377; 1,376; o



OftalTech

1,372) en otros índices refractivos corneales diferentes, y a veces se usa el índice refractivo de la película lagrimal (1,332).

Los sistemas topográficos miden y analizan la superficie corneal como un único sistema de lente delgado generalmente usando el índice refractivo queratopreferente de 1,3375. La mayoría de sistemas topográficos utilizan un lente ideal libre de aberraciones como una superficie de referencia, que se genera mediante el óvalo cartesiano correspondiente (una superficie esférica con un valor Q de $-1/n^2$).

El análisis estadístico de una población de córneas humanas ha mostrado que el promedio de superficie esférica de mejor ajuste es aquel con un valor Q de aproximadamente -0.25 . En general, la córnea humana sana tiene una “aberración esférica positiva”, que se equilibra mediante la “aberración esférica negativa”, del lente interno. A medida que los individuos envejecen, el índice de refracción de los cambios del cristalino (y, posiblemente, su asfericidad también), reduciendo la cantidad de aberración esférica que puede ser equilibrada o incluso mostrando una cierta cantidad de aberración esférica positiva, mientras que la asfericidad corneal por lo tanto, aberración esférica corneal, es relativamente estable en el tiempo, lo que perturba el equilibrio entre las aberraciones.

Describimos un análisis pseudoempírico de diferentes modelos de ojo para evaluar la aberración de onda basándonos en la topografía corneal para determinar la aberración esférica del ojo humano.

PACIENTES Y MÉTODOS

Este análisis retrospectivo incluyó 146 ojos (73 pacientes) que habían sido tratados con el perfil de ablación esférica AMARIS Aberration-Free™ (aberración neutral) (SCHWIND eye-tech-solutions, Kleinostheim, Alemania).

Los criterios de inclusión para la revisión consistieron en haber pasado por cirugía bilateral en el mismo día con un objetivo de emetropia, tener agudeza visual lejana corregida (CDVA) antes de la operación de 20/25 o mejor (logMAR 0,1 o mejor) en ambos ojos, no tener señales de ambliopía y haber completado un seguimiento de 3 meses.

Los datos del seguimiento de 3 meses estaban disponibles para todos los 146 ojos (100%). La refracción defocus manifiesta media preoperatoria fue de $-3,60 \pm 1,54$ dioptrías (D) (intervalo: de $-7,50$ a $-1,25$ D) y la magnitud de astigmatismo manifiesto medio fue de $0,79 \pm 0,74$ D (intervalo: de $0,0$ a $4,00$ D). La topografía corneal se obtuvo en todos los ojos, y se midieron las aberraciones de frente de onda corneales derivadas hasta el 7º orden de Zernike (36 términos) (Keratron-Scout; OPTIKON 2000, Roma, Italia), la refracción manifiesta, la agudeza visual lejana sin corregir (UDVA) y la CDVA. Las mediciones se realizaron antes de la operación y al cabo de 1 y 3 meses de la cirugía.

Todas las ablaciones no fueron guiadas por wavefront, sino que se basaron en perfiles de aberración neutral esféricos (y no en los perfiles propuestos por Munnerlyn) para equilibrar la inducción de aberración esférica (optimización oblongada). Esta aproximación incluyó una zona de transición esférica multidinámica, una aberración y una compensación de cambio centrado debido a la eliminación de tejido, al posicionamiento de punto basado por la pseudomatriz y a la compensación mejorada por la pérdida de eficiencia – todo basado por ecuaciones teóricas validadas por modelos de ablación y evaluaciones clínicas.



OftalTech

Se utilizó una zona óptica central corregida completamente de 6,3-mm para miopía; se usó una zona óptica de 7,0-mm para astigmatismo elevado. Se utilizó también una zona de transición variable que se preparó automáticamente por el láser según la corrección refractiva planeada (de 6,5 a 9,2 mm). La ablación se realizó utilizando el láser excimer AMARIS (SCHWIND eye-tech-solutions), que es un sistema láser de punto flotante que usa volumen de punto ablativo real localmente considerado a través de un algoritmo construido por sí mismo y controla la tasa de repetición local para minimizar la carga térmica del tratamiento. Por eso, la superficie de ablación con los perfiles neutrales de aberración esférica debe ser muy regular, llevando a los beneficios posibles en términos de aberraciones de alto orden. Finalmente, todas estas optimizaciones teóricamente redujeron la aberración de frente de onda inducida después del LASIK.

El sistema láser AMARIS trabaja a una tasa de repetición verdadera de 500 Hz y produce un tamaño de haz de 0,54-mm (anchura completa a media altura) y un perfil de punto súpergaussiano. El seguimiento de los ojos de alta velocidad (rastreador de pupila y de limbo con seguimiento ciclotorsional) con una velocidad de adquisición de 1.050 Hz se logra con un tiempo de latencia de 3 ms.

Se describen los errores ópticos centrados en la línea de visión, representando la aberración de frente de onda mediante los polinomios de Zernike y los coeficientes se presentan utilizando los estándares de Optical Society of America y se analizaron para un diámetro estandarizado de 6 mm.

Todas las secciones de análisis han sido evaluadas para los mismos pacientes basados en los datos de diagnóstico que se obtuvieron antes de la operación y al cabo de 3 meses de seguimiento de la cirugía después del LASIK.

VIDEOQUERATOSCOPIA

Se obtuvieron cuatro topografías corneales (Corneal Wavefront Analyzer, SCHWIND eye-tech-solutions basado en KeratronScout) y se derivaron los análisis de frente de onda corneales centrados en la línea de visión por cada ojo del paciente. La media se extrajo y se descartó la mínima medición representativa (es decir, aquella con la similitud más pobre con la media). De los tres mapas restantes, se calculó la media y se seleccionó la medida más representativa (es decir, aquella con la más alta similitud con la media).

ABERROMETRÍA

Se realizó la aberrometría (Ocular Wavefront Analyzer, SCHWIND eye-tech-solutions, basado en irx3, Imagine Eyes, Orsay, Francia) tres veces por cada ojo del paciente en las pupilas no farmacológicamente dilatadas, en condiciones no cicloplégicas y en condiciones de baja luminosidad natural (para evitar cambios de pupila inducidos farmacológicamente). Se obtuvo también refracción objetiva por cada ojo del paciente. Para minimizar la respuesta de acomodación potencial, se les pidió a los pacientes que “mirasen a través del objetivo” en vez de “mirar el objetivo”. Al hacer eso, los pacientes no intentaron obtener una imagen nítida del objetivo empañado de +1,50-D. El valor medio se extrajo de las evaluaciones de aberrometría y se seleccionó la medición más representativa.



OftalTech

ASFERICIDAD CORNEAL

Hemos supuesto que una superficie corneal se puede aproximar con satisfacción de acuerdo con la ecuación de Baker para conicoides.

$$r^2 + (Q + 1) z^2 - 2zR = 0$$

$$p = Q + 1$$

$$z = \frac{R}{p} \left(1 - \sqrt{1 - p \left(\rho \frac{OZ}{2R} \right)^2} \right)$$

Donde z es el eje de revolución, r es la distancia radial al ápice corneal, Q es la asfericidad y R es el radio apical de curvatura. Hemos expresado la superficie corneal dentro del disco de zona óptica (OZ) considerado como el disco de unidad. Q representa lo rápido que desvía la superficie real de una esfera perfecta, mientras p representa lo rápido que desvía la superficie real de un paraboloide.

Calculamos la asfericidad corneal de la expansión de Zernike de la elevación corneal como se describe previamente:

$$C_4^0 \sqrt{5} = \frac{(1-n)}{48} RP \left(\frac{OZ}{2R} \right)^4 + 5C_6^0 \sqrt{7} - 45C_8^0$$

$$Q \cong \frac{48 (C_4^0 \sqrt{5} - 5C_6^0 \sqrt{7} + 15 C_8^0 3)}{R (1-n)} \left(\frac{2R}{OZ} \right)^4 - 1$$

Para aclarar, un perfil "libre de aberraciones" es diferente de un perfil esférico diseñado para preservar la asfericidad corneal, donde el objetivo se describe en términos de parámetros de elevación y forma, en lugar de en términos de aberración de frente de onda.

Se deduce la ecuación usada para calcular los coeficientes de Zernike de propiedades corneales esféricas en una manera de "término a término del mismo orden radial". Esto quiere decir que, si se utilizó un orden mayor (o menor) para la expansión de Taylor, el grupo de ecuaciones obtenido hubiera sido ligeramente diferente mediante la adición de más (o menos) términos. Dadas las propiedades ortogonales de polinomios de Zernike, los productos interiores entre funciones cónicas y de Zernike



OftalTech

pueden también ser usadas para correlacionar los parámetros cónicos (R, Q) con los coeficientes de Zernike radialmente simétricos ($C[n,0]$).

ASFERICIDAD DE REFERENCIA PARA ABERRACIÓN ESFÉRICA CORNEAL EQUIVALE A ABERRACIÓN ESFÉRICA OCULAR

Se calculó la partida de topografía corneal medida de la superficie corneal teóricamente óptima mediante la consideración de un modelo corneal dinámico. El Ray-tracing es un procedimiento clásicamente realizado mediante la aplicación la ley de Snell a la superficie corneal. Sin embargo, es mucho más simple de comprender el wavefront corneal en términos de diferencia de camino óptico y calcularla a partir de los principios de Huygens-Fresnel o Fermat de “menos tiempo”.

En los análisis de wavefront corneales, se registran el tipo y el tamaño de cualquier error óptico en la superficie corneal anterior, así permite una corrección selectiva. Los defectos se corrigen exactamente a su origen – la superficie corneal anterior. En este contexto, la localización precisa de defectos es crucial para conseguir exitosamente resultados óptimos en cirugía láser. La frente de onda corneal permite diagnóstico preciso, de esta manera, proporciona una ablación individual de la córnea para obtener resultados perfectos.

Mediante la aplicación de esta estrategia de tratamiento, la medición no requiere dilatación de la pupila del ojo, por eso, la zona de tratamiento no está limitada por la pupila y la acomodación no influye en las mediciones. De esta manera, se evita el forzamiento de un cociente de asfericidad fijado en el ojo a través del tratamiento. En vez de eso, esta estrategia emplea un cociente de asfericidad dinámico específico para cada ojo.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se trazaron diagramas de dispersión para aberraciones esféricas oculares y corneales versus la asfericidad corneal, invariable lineal para asfericidad corneal y aberración esférica, aberración esférica ocular versus corneal, y aberración esférica ocular inducida versus corneal inducida. Se analizaron las intercepciones y pendiente de las correlaciones. El significado estadístico de las correlaciones se evaluó usando la prueba t de Student y el coeficiente de determinación (r^2), y se evaluó el significado de las correlaciones considerando un referente distribuido aproximadamente como t con N-2 grados de libertad donde N es el tamaño de la muestra. El significado estadístico fue de $P < .05$.

RESULTADOS

La edad media de los pacientes fue de 34 ± 7 años (mediana: 36 años; intervalo de edad de 20 a 51 años). No se observaron complicaciones ni eventos adversos durante o después de la operación. Ningún paciente se sometió a un retratamiento de ningún ojo.

REFRACCIÓN MANIFIESTA

Con respecto a los resultados refractivos, a los 3 meses de la operación, el equivalente esférico y el cilindro se redujeron significativamente a valores subclínicos: la refracción defocus residual media fue de $-0,08 \pm 0,36$ D (intervalo: de -1,12 a +0,75 D; $P < .0001$) y la magnitud de astigmatismo residual medio fue de $0,16 \pm 0,21$ D (intervalo: de 0,00 a 0,75 D; $P < .001$). Además, el 86% de los ojos ($n=126$) estaban dentro de $\pm 0,50$ D de emetropia, y el 98% de ojos ($n=143$) estaban dentro de $\pm 0,50$ de emetropia para astigmatismo.



OftalTech

ABERROMETRÍA

Antes de la operación, la aberración esférica corneal media fue de $+0,315 \pm 0,076 \mu\text{m}$ (mediana: $+0,321 \mu\text{m}$, intervalo: de $+0,115$ a $+0,583 \mu\text{m}$) y la aberración esférica ocular media fue de $+0,036 \pm 0,091 \mu\text{m}$ (mediana: $+0,042 \mu\text{m}$, intervalo: de $+0,233$ a $+0,288 \mu\text{m}$). Después de la operación, la aberración esférica corneal fue $+0,419 \pm 0,117 \mu\text{m}$ (mediana: $+0,411 \mu\text{m}$, intervalo: de $+0,105$ a $+0,813$) y la aberración esférica ocular media fue de $+0,100 \pm 0,126 \mu\text{m}$ (mediana: $+0,078 \mu\text{m}$, intervalo: de $-0,348$ a $+0,416 \mu\text{m}$).

La diferencia entre aberración esférica ocular menos la aberración esférica corneal puede ser usada como un referente para la aberración esférica interna, introducida principalmente por cristalino. Antes de la cirugía, la aberración esférica interna media fue de $-0,279 \pm 0,095 \mu\text{m}$ (mediana: $-0,277 \mu\text{m}$, intervalo: de $-0,029$ a $-0,545 \mu\text{m}$). Después de la cirugía, la aberración esférica interna media fue de $-0,318 \pm 0,127 \mu\text{m}$ (mediana: $-0,305 \mu\text{m}$, intervalo: de $-0,001$ a $-0,666 \mu\text{m}$).

ASFERICIDAD CORNEAL

Antes de la operación, la asfericidad corneal media fue $-0,057 \pm 0,121$ (mediana: $-0,049$, intervalo: de $-0,376$ a $+0,369$). Después de la operación, la asfericidad corneal media fue de $+0,268 \pm 0,287$ (mediana: $+0,244$, intervalo: de $-0,370$ a $+1,205$).

ASFERICIDAD CORNEAL Y ABERRACIÓN ESFÉRICA

Las aberraciones esféricas oculares y corneales se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa a asfericidad corneal ($P < .0001$ para todas las cuatro correlaciones) (Fig. 1). Analizar la pendiente e intercepción de las correlaciones para aberración esférica ocular, un cociente de asfericidad de $-0,19$ a $-0,27$ puede proporcionar aberración esférica ocular cero en pacientes que antes hayan pasado por el LASIK para astigmatismo miope.

INVARIABLE CORNEAL Y ABERRACIÓN ESFÉRICA

Las aberraciones esféricas oculares y corneales se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa al término $p \cdot R^3$ ($P < .0001$ para todas las cuatro correlaciones) (Fig. 2). Analizar la inclinación e intercepción de las correlaciones para aberración esférica ocular, un cociente $p \cdot R^3$ de $1,99e-3$ a $1,82e-3$ puede proporcionar aberración esférica ocular cero en pacientes que antes hayan pasado por el LASIK para astigmatismo miope.

ABERRACIÓN ESFÉRICA CORNEAL VERSUS ABERRACIÓN ESFÉRICA OCULAR

Las aberraciones esféricas oculares y corneales se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa ($P < .0001$ para ambas correlaciones) (Fig. 3). Analizar la inclinación e intercepción de las correlaciones, la aberración esférica ocular aumenta a un ritmo de la mitad de la aberración esférica corneal en los pacientes que antes hayan pasado por el LASIK para astigmatismo miope.

LA ASFERICIDAD DE REFERENCIA PARA ABERRACIÓN ESFÉRICA CORNEAL EQUIVALE A ABERRACIÓN ESFÉRICA OCULAR

Considerando un modelo corneal dinámico (un cociente de asfericidad dinámico específico para cada ojo), se calculó la partida de la topografía corneal medida de la superficie corneal teóricamente óptima. Un valor Q de referencia de $-0,12 \pm 0,15$ (mediana: $-0,12$, intervalo: de $-0,514$ a $0,308$) a $+0,01 \pm 0,321$ (mediana: $-0,02$, intervalo: de $-0,789$ a $+0,893$) puede proporcionar aberración esférica corneal equivalente a aberración esférica ocular en pacientes que se hayan sometido al LASIK y después de esta para astigmatismo miope (Fig. 4). De manera similar, un valor de referencia de $2,18e-3 \pm 0,37e-3$ (mediana: $2,17e3$, intervalo: de $1,20e-3$ a $3,23e-3$) a $2,18e-3 \pm 0,46e-3$ (mediana: $2,14e-3$, intervalo: de



OftalTech

1,04e-3 a 3,42e-3) puede proporcionar aberración esférica corneal equivalente a aberración esférica ocular (Fig. 5).

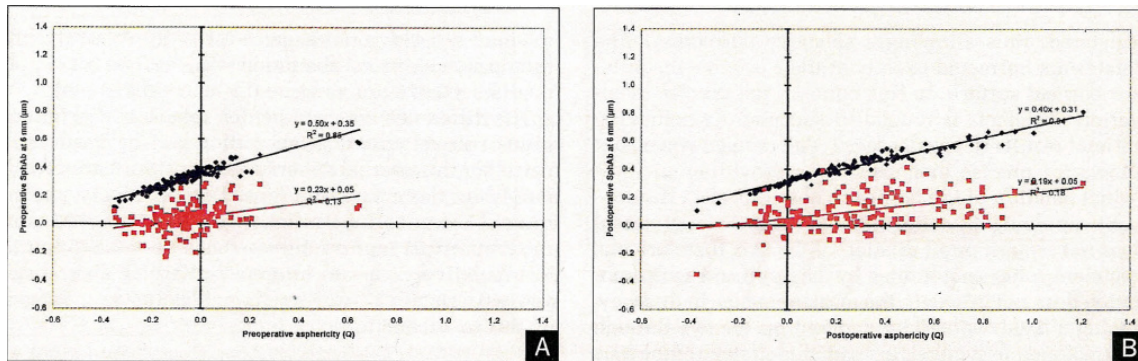


Figura 1. Las aberraciones esféricas oculares (cuadrados rojo) y corneales (diamantes negros) versus la asfericidad corneal para **A)** análisis preoperatorios y **B)** postoperatorios. Las aberraciones esféricas oculares y corneales se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa a la asfericidad corneal ($P < .0001$ para todas las cuatro aberraciones). Analizar la inclinación e intercepción de las correlaciones para aberración esférica ocular, un cociente de asfericidad de $-0,19$ a $-0,27$ puede proporcionar aberración esférica ocular cero en pacientes que antes hayan pasado por el LASIK para astigmatismo miope. Las aberraciones esféricas corneales de antes y después de la operación incrementaron aproximadamente el doble de rápido que la aberración esférica ocular. Las aberraciones esféricas oculares corneales incrementaron aproximadamente al mismo ritmo que antes y después de la operación.

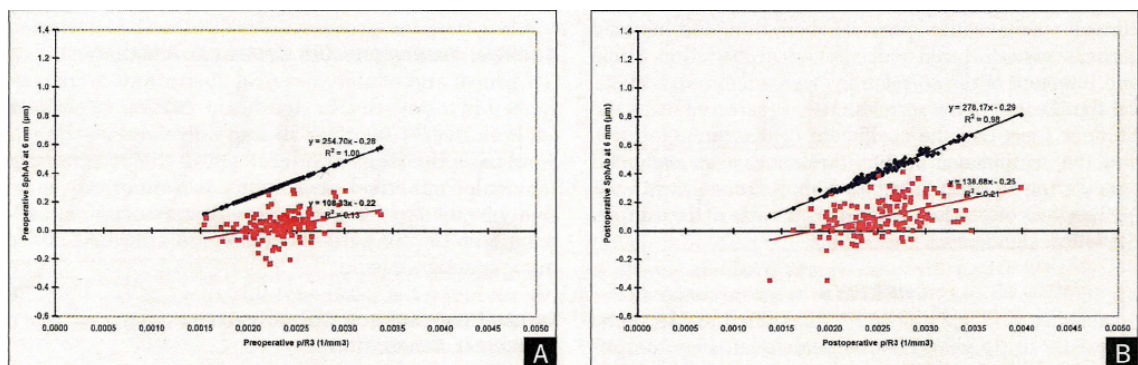


Figura 2. Las aberraciones esféricas oculares (cuadrados rojos) y corneales (diamantes negros) versus el término $p \cdot R^3$ para **A)** análisis preoperatorios y **B)** postoperatorios. Las aberraciones esféricas oculares y corneales se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa al término $p \cdot R^3$ ($P < .0001$ para todas las cuatro aberraciones). Analizar la inclinación e intercepción de las correlaciones para aberración esférica ocular, un cociente $p \cdot R^3$ de $1,99e-3$ a $1,82e-3$ puede proporcionar aberración



OftalTech

esférica ocular cero en pacientes que antes hayan pasado por la LASIK para astigmatismo miope. Las aberraciones esféricas oculares corneales incrementaron aproximadamente al mismo ritmo que antes y después de la operación.

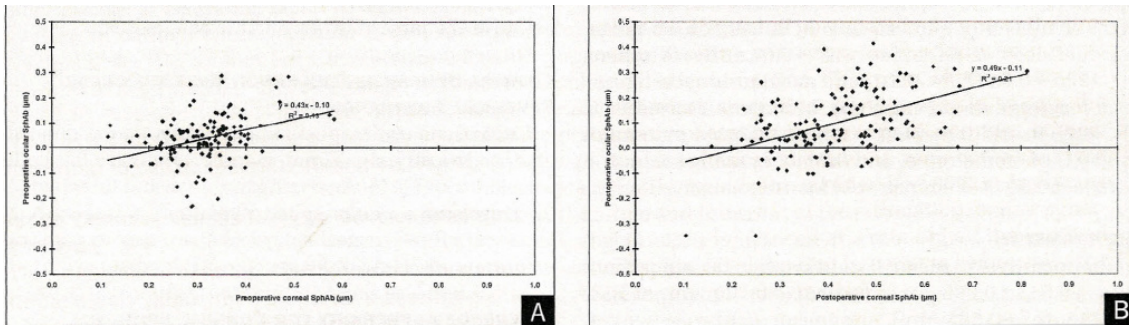


Figura 3. Aberraciones esféricas oculares versus aberraciones esféricas corneales para **A)** análisis preoperatorios y **B)** postoperatorios. Las aberraciones esféricas oculares y corneales se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa ($P < .0001$ para ambas correlaciones). Analizar la inclinación e intercepción de las correlaciones, la aberración esférica ocular aumenta a un ritmo de la mitad de la aberración esférica corneal en los pacientes que antes hayan pasado por el LASIK para astigmatismo miope, antes y después de la operación.

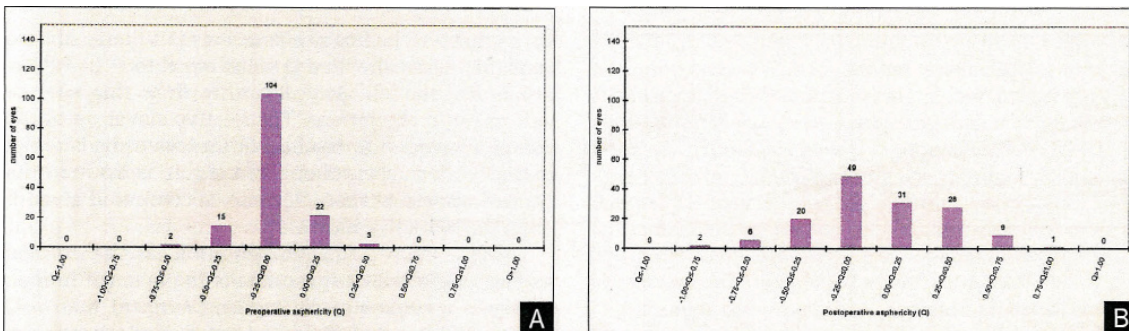


Figura 4. Valor Q de referencia para proporcionar aberración esférica corneal equivalente a aberración esférica ocular para **A)** análisis preoperatorios y **B)** postoperatorios. Un valor Q de referencia de -0,25 y 0,00 puede proporcionar aberración esférica corneal equivalente a aberración esférica ocular en pacientes que se hayan sometido al LASIK y después de esta para astigmatismo miope. La distribución en el histograma es mucho más corta en el proceso preoperatorio que postoperatorio. Se puede observar una tendencia de una superficie de referencia más achatada después de la operación.



OftalTech

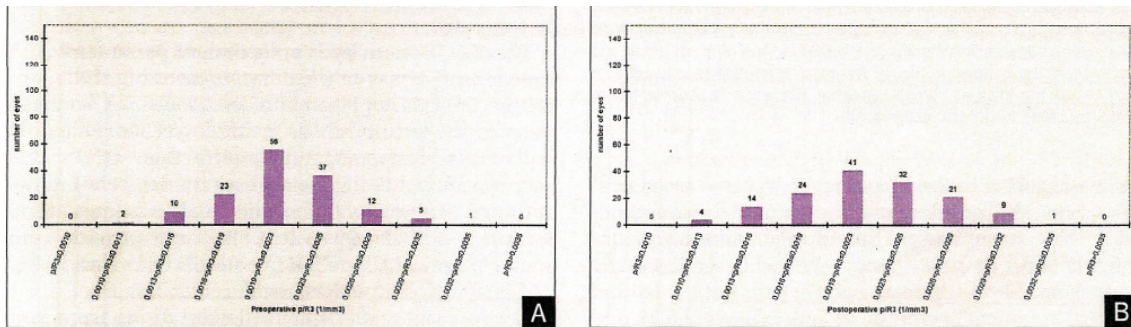


Figura 5. Valor $p-R^3$ de referencia para proporcionar aberración esférica corneal equivalente a aberración esférica ocular para **A)** análisis preoperatorios y **B)** postoperatorios. De manera similar, un valor de referencia de $1,9e-3$ y $2,3e-3$ puede proporcionar aberración esférica corneal equivalente a aberración esférica ocular. La distribución en el histograma es ligeramente más ancha después de la operación que antes. No se observa ningún cambio general de la superficie de referencia después de la operación.

Aberración esférica corneal inducida versus ocular inducida

La diferencia entre la aberración esférica post-operatoria menos el valor basal pre-operatorio, se puede usar como un referente para aberración esférica inducida, introducida principalmente durante el tratamiento de cirugía refractiva. Antes y después de la operación, la aberración esférica corneal inducida media fue de $+0,103 \pm 0,117 \mu\text{m}$ (mediana: $+0,086 \mu\text{m}$, intervalo: de $-0,183$ a $+0,333 \mu\text{m}$), mientras que la aberración esférica ocular inducida media fue $+0,064 \pm 0,108 \mu\text{m}$ (mediana: $+0,047 \mu\text{m}$, intervalo: de $-0,203$ a $+0,346 \mu\text{m}$).

Se trazó un diagrama de dispersión para aberración esférica ocular inducida (la diferencia entre aberración esférica ocular de después de la operación menos el valor de línea de base preoperatorio) versus la aberración esférica corneal inducida (la diferencia entre aberración esférica ocular de después de la operación menos el valor basal preoperatorio) (Fig.6). Las aberraciones esféricas oculares y corneales inducidas se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa ($P < .0001$). Analizar la inclinación e intercepción de las correlaciones, la aberración esférica ocular se induce a un ritmo de la mitad de la aberración esférica corneal inducida en pacientes que antes hayan pasado por el LASK para astigmatismo miope.



OftalTech

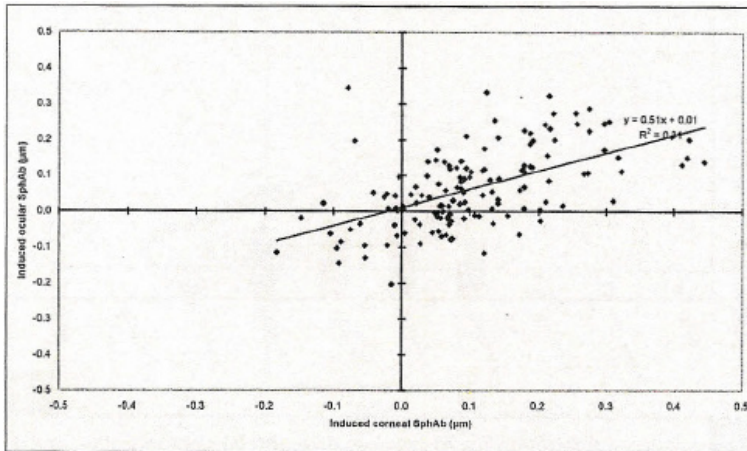


Figura 6. Aberración esférica ocular inducida (la diferencia entre aberración esférica ocular de después de la operación menos el valor de línea de base preoperatorio) versus la aberración esférica corneal inducida (la diferencia entre aberración esférica ocular de después de la operación menos el valor de línea de base preoperatorio). Las aberraciones esféricas oculares y corneales inducidas se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa ($P < .0001$). Analizar la inclinación e intercepción de las correlaciones, la aberración esférica ocular se induce a un ritmo de la mitad de la aberración esférica corneal inducida en pacientes que antes hayan pasado por el LASIK para astigmatismo miope.

DISCUSIÓN

En nuestro estudio, la aberración esférica corneal media preoperatoria fue similar, pero ligeramente mayor que otros valores publicados en la bibliografía, mientras que la aberración esférica ocular media fue comparable con otros estudios, es decir, la aberración esférica interna media fue también ligeramente mayor que otros valores publicados en la bibliografía.

En general, la córnea humana manifiesta una aberración esférica corneal natural de aproximadamente $0,23 \mu\text{m}$ (estándar OSA).

Cabe señalar que las aberraciones esféricas corneales no son “valores absolutos”, pero se derivan del sistema topográfico utilizando un enfoque de lente delgado único corneal ideal, referido como un modelo de óvalo cartesiano, y será diferente después de la medición de las aberraciones oculares y definitivamente cerca a cero cuando se use un modelo equilibrado de ojos. Se puede decir que los valores de wavefront corneales en el sistema topográfico están “sobrestimados” en comparación con los valores de wavefront oculares.



OftalTech

Esto es consistente con nuestros hallazgos en asfericidad. Antes de la operación, la asfericidad corneal media fue menos oblonga que los valores publicados en la bibliografía.

Basándonos en nuestros datos, un cociente de asfericidad de -0,19 a -0,27 puede proporcionar aberración esférica ocular cero en pacientes que antes hayan pasado por el LASIK para astigmatismo miope. Estos valores son definitivamente menos oblongos que los valores publicados en la bibliografía. Una explicación puede ser la edad de los pacientes tratados, que de promedio eran relativamente jóvenes. Así, su aberración interna puede haber sido más negativa, compensando más la aberración esférica positiva corneal.

Es posible calcular directamente la aberración de wavefront corneal de los datos de superficie medidos. En el caso de una córnea de rotación simétrica, la forma de superficie que será libre de aberraciones es una superficie cónica (superficie esférica) con un valor Q equivalente a $-1/n^2$ (modelo de óvalo cartesiano). Cualquier desviación de esta superficie dará lugar a aberraciones. La elevación relativa de la córnea en comparación con el modelo de óvalo cartesiano mejor ajustado es la "aberración de superficie", y si esto se conoce, la aberración de frente de onda corneal se puede calcular teniendo en cuenta los índices refractivos.

Utilizando una definición más pragmática, como la forma de superficie corneal que mejor representa la córnea humana de promedio es una superficie cónica (superficie esférica) con un valor Q que equivale a -0,25 (modelo equilibrado de ojo), cualquier partida de esta superficie puede considerarse una aberración. La elevación relativa de la córnea en comparación con este modelo equilibrado de ojo puede considerarse como la "aberración de superficie", y se puede calcular la aberración de frente de onda corneal.

Ya que la asfericidad es un parámetro dependiente con comportamiento "no lineal" (es decir, no tiene significado si no se considera la curvatura apical), hemos seleccionado el término $p \cdot R^3$ como un referente simple, pero una caracterización de asfericidad más flexible que Q. De este modo, no estamos fijando la asfericidad, sino relacionando la asfericidad óptima al radio apical de curvatura. Un término $p \cdot R^3$ de $1,99e-3$ a $1,82e-3$ puede proporcionar aberración esférica ocular cero en pacientes que antes hayan pasado por el LASIK y después de esta para astigmatismo miope.

Las aberraciones esféricas oculares y corneales se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa, con aberración esférica ocular que incrementa a un ritmo de la mitad de la aberración esférica corneal en pacientes que hayan pasado el LASIK y después de este para astigmatismo miope.

Debido a que incluso los individuos sanos con 20/20 o mejor de agudeza visual de alto contraste presentan un grado medible de la aberración en su wavefront, y se ha observado que los individuos con aberración de wavefront más pequeña no siempre tienen los mejores resultados visuales, se determinó la asfericidad corneal de referencia para los que la aberración esférica corneal es igual a la aberración esférica ocular. Un valor de referencia Q de -0,12 a +0,01 o un valor de referencia $p \cdot R^3$ de $2,18e-3$ a $2,18e-3$ puede proporcionar aberración esférica corneal equivalente a la aberración esférica ocular en pacientes que antes hayan pasado por el LASIK y después de esta para astigmatismo miope. Estos valores son menos oblongos que los valores publicados en la bibliografía.

Sin embargo, un enfoque de wavefront corneal de modelo equilibrado de ojo todavía se basa en la suposición fundamental de que una córnea asférica con un valor Q de -0,25 equilibrará su aberración esférica "positiva" con la contribución "negativa" de la lente interna (lo cual es cierto de promedio para la población no tratada). Por otro lado, el valor Q asférico mejor fijado se puede usar como superficie corneal de referencia para cada córnea individual. Esto nos llevará a la suposición crucial que la



OftalTech

aberración esférica “ocular” global para cada ojo individual está cerca de cero (que también es cierto de promedio para la población no tratada).

Las aberraciones esféricas oculares y corneales inducidas se correlacionaron de una manera estadísticamente significativa, y la aberración esférica ocular se induce a un ritmo de la mitad de aberración esférica corneal inducida en pacientes que hayan pasado por el LASIK y después de esta para astigmatismo miope.

Estudios en los que la comparación directa de aberraciones de wavefront oculares y corneales inducidas a través de la misma muestra mostraron que la inducción de aberraciones corneales anteriores era siempre, por lo menos, tan alta como la inducción de aberración de frente de onda ocular para el ojo entero. Marcos et al hallaron que las aberraciones oculares y corneales aumentaron estadística y significativamente después del LASIK para miopía, mediante un factor de promedio de 1,92 (ocular) y 3,72 (corneal). Encontraron una buena correlación ($P < .0001$) entre las aberraciones inducidas y el sistema óptico entero y aquellos inducidos en la superficie corneal anterior. Sin embargo, las aberraciones corneales anteriores incrementaron más que las aberraciones oculares, lo que sugiere cambios ocurridos en la superficie corneal posterior. Lee et al hallaron que después de la cirugía refractiva láser, la aberración corneal anterior y la aberración ocular aumentaron equitativamente y mostraron correlaciones estadísticamente significativas. No encontraron diferencias estadísticamente significativas en valores de aberración ópticos internos en coma, ni en aberración esférica y ni en media cuadrática para aberraciones de más alto orden. Arbelaez et al hallaron que comparar las aberraciones oculares y corneales, la cantidad de aberraciones inducidas fue similar para la aberración esférica y de coma. La media cuadrática para aberraciones corneales inducidas y de más alto orden fue moderadamente mayor, pero no estadísticamente significativa que las aberraciones oculares inducidas.

Hasta la fecha de hoy, la asfericidad sola no se ha probado para jugar un papel mayor en el proceso visual.

Es importante tener en cuenta que preservar las aberraciones preoperatorias no es equivalente a mantener asfericidad preoperatoria. Tuan y Chernyak analizaron el impacto de la asfericidad corneal en LASIK de frente de onda en seis sitios clínicos y no hallaron correlaciones significativas entre la forma de la córnea y la agudeza visual o la sensibilidad de contraste. Pop y Payette estudiaron la relación entre la sensibilidad de contraste, las aberraciones de frente de onda de Zernike y la asfericidad después del LASIK para corregir la miopía. La sensibilidad de contraste no se correlacionaba con la asfericidad, sino con las aberraciones de frente de onda como se esperaba. El cambio en asfericidad se correlacionó con el cambio refractivo y se predijo gracias a la ecuación parabólica de Munnerlyn.

A pesar de algunos trabajos teóricos extraordinarios, no hay prueba de que los cocientes más negativos de asfericidad proporcionen una calidad visual mejor, o de que existe un grado óptimo. Cuando un paciente se selecciona para no personalizar el tratamiento esférico, el objetivo global del cirujano debe ser el de dejar igual todas las aberraciones de alto orden existentes, ya que la CDVA del paciente no se ha visto afectada por aberraciones preexistentes. Por tanto, todos los factores que pueden inducir a aberraciones de alto orden, como biomecánicos, se tienen que tener en cuenta antes del tratamiento para asegurar que las aberraciones de alto orden preoperatorias son iguales después del tratamiento.

Aunque la cantidad de aberraciones esféricas corneales y asfericidad están intrínsecamente relacionadas, la meta de cualquier procedimiento quirúrgico refractivo siempre se describe en términos de cambio en aberración esférica, mientras este es el factor relacionado con la calidad y perspicacia de la imagen de la retina.



OftalTech

De este análisis, nosotros proponemos:

- 1) Un modelo ocular esférico dinámico, en el que el valor fijado para Q esférico se optimice para cada córnea que se utilice, será más apropiado para caracterizar los ojos sanos sin tratar.
- 2) Un modelo equilibrado de ojo con un término $p \cdot R^3$ de frente de onda corneal de $2e-3$ más apropiado para planear retratamientos quirúrgicos refractivos, donde el equilibrio natural ya ha sido interrumpido.
- 3) Un modelo de óvalo cartesiano con un valor Q de wavefront corneal $-1/n^2$ más apropiado para planear cirugías de lente.

Dependiendo del historial del caso del paciente y la aplicación para la que se utilizará la información de frente de onda corneal, se debe elegir el modelo de ojo más adecuado para derivar la aberración corneal.

Nota:

"La traducción al castellano no ha sido preparada por ningún traductor con titulación oficial al respecto. Ha sido preparada a título meramente informativo por Oftaltech sin ningún tipo de garantía ni responsabilidad sobre su exactitud ni aun en el caso de error. Tampoco se hace responsable Oftaltech sobre las informaciones contenidas en el documento original. El destinatario deberá efectuar sus propias comprobaciones al respecto y no efectuará ninguna actuación sobre la base de la información suministrada por Oftaltech."