

Influence of the incisions of cataract surgery on corneal aberrations

Influencia de las incisiones de la cirugía de catarata en las aberraciones corneales

J. Queiruga^{1,2,3*}, A. Gargallo^{2,S}, J. Arines^{2,S}, F. González³

1. Laboratorio de Óptica de la Universidad de Murcia, Murcia, España

2. Departamento de Física Aplicada (Área de Optometría) Facultad de Óptica e Optometría, Campus Vida, Universidad de Santiago de Compostela, España

* Email: juanqueiruga21@gmail.com

S: miembro de SEDOPTICA / SEDOPTICA member

Received / Recibido: 05/11/2014

Accepted / Aceptado: 15/02/2015

DOI: <http://dx.doi.org/10.7149/OPA.48.1.19>

ABSTRACT:

The aim of this work is to study the effects produced by 1 incision and paired incisions in corneal aberrations after cataract surgery. We selected 21 eyes of 18 patients aged between 44 and 89 years ($69,81 \pm 12,55$). Aberrations were measured by corneal topographer Sirius 5 eyes with incisions paired (3 mm) and 16 eyes 1 corneal incision (2.2 mm). Data of topography, RMS values, and Zernike coefficients to 4th order were obtained a week before and 3-4 weeks after surgery for a pupil diameter of 6 mm. Corneal astigmatism was reduced with paired incisions (pre 0.94 ± 0.44 D, post 0.90 ± 0.48 D) ($P = 0.26$) and increased with an incision (pre 1.29 ± 1.28 D, post 1.34 ± 1.45 D) ($P = 0.77$) Although differences were no statistically significant. The total RMS average increased with paired incisions (pre 1.16 ± 0.39 μm , post 1.24 ± 0.34 μm) ($P = 0.46$) and decreased with an incision (pre 1.76 ± 1.47 μm and post 1.54 ± 1.58 μm) ($P = 0.91$) after surgery. Higher order aberrations increased with paired incisions and decreased with 1 incision. The comma (pre 0.40 ± 0.19 μm , post 0.40 ± 0.30 μm) with paired incisions and spherical aberration (pre 0.31 ± 0.24 μm , post 0.31 ± 0.18 μm) with 1 incision showed no change post-surgical. These two types of incisions, although they induce changes after cataract surgery in aberrations corneal as clover, coma, astigmatism, tetrafoil, secondary astigmatism and spherical aberration, not impaired significantly the optical quality of the corneal surface.

Key words: Aberrations, Cataract surgery, 1 incision, Paired incisions, Sirius, Corneal topography.

RESUMEN:

El objetivo de este trabajo es estudiar los efectos producidos por 1 incisión e incisiones pareadas en aberraciones corneales tras cirugía de catarata. Se seleccionaron 21 ojos de 18 pacientes con edades comprendidas entre 44 y 89 años ($69,81 \pm 12,55$). Las aberraciones fueron medidas mediante el topógrafo corneal Sirius en 5 ojos con incisiones pareadas (3 mm) y en 16 ojos con 1 incisión corneal (2,2 mm). Se obtuvieron datos de topografía, RMS y coeficientes de Zernike hasta 4^º orden, una semana antes y 3-4 semanas tras la cirugía para un diámetro pupilar de 6 mm. El astigmatismo corneal se redujo con incisiones pareadas (pre $0.94 \pm 0,44$ D, post $0,90 \pm 0,48$ D) ($P = 0.26$) y aumentó con una incisión (pre $1.29 \pm 1,28$ D, post $1.34 \pm 1,45$ D) ($P = 0.77$) aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas. El promedio de RMS total aumentó con incisiones pareadas (pre $1.16 \pm 0,39$ μm , post 1.24 ± 0.34 μm) ($P = 0,46$) y disminuyó con una incisión (pre 1.76 ± 1.47 μm y post $1,54 \pm 1,58$) ($P = 0,91$) después de la cirugía. Aberraciones de alto orden aumentaron con incisiones pareadas y disminuyeron con 1 incisión. El coma (pre $0.40 \pm 0,19$ μm , post $0,40 \pm 0.30$ μm) con incisiones pareadas y la aberración esférica (pre $0,31 \pm 0.24$ μm , post $0,31 \pm 0.18$ μm) con 1 incisión no mostraron cambios post quirúrgicos. Estos dos tipos de incisiones, aunque inducen cambios después de la cirugía de catarata en aberraciones corneales como trébol, coma, astigmatismo, tetrafoil, astigmatismo secundario y aberración esférica, no deteriora de manera significativa la calidad óptica de la superficie corneal.

Palabras clave: Aberraciones, cirugía de catarata, 1 incisión, incisiones pareadas, Sirius, topografía corneal

REFERENCES AND LINKS / REFERENCIAS Y ENLACES

- [1] World Health Organization. WHO: Geneva, Fact Sheet nº142-144.
- [2] P. J. Buckhurst, J. S. Wolffsohn, L. N. Davies, S. A. Naroo, "Surgical correction of astigmatism during cataract surgery", *Clin. Exp. Optom.* **93**, 409-418 (2010).
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1444-0938.2010.00515.x>
- [3] K. Kanawo, "Modified corneoscleral incision to reduce postoperative astigmatism after 6 mm diameter intraocular lens implantation", *J. Cataract Refract. Surg.* **19**, 387-392 (1994).
[http://dx.doi.org/10.1016/S0886-3350\(13\)80311-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0886-3350(13)80311-2)
- [4] S. Marcos, "Calidad óptica del ojo", *Investigación y ciencia.* **345**, 66-74 (2005)
- [5] A. Tytium, M. J. Botta, P. Chiaradía, G. Martin, "Aberrometría Corneal Pre y Post Cross Linking Seguimiento a 18 meses", *Arch. Oftal. B. Aires.* **80**, 65-66 (2009).
- [6] J. Taberero, P. Piers, P. Artal, "Intraocular lens to correct corneal coma", *Opt. Lett.* **32**, 406-408 (2007).
<http://dx.doi.org/10.1364/OL.32.000406>
- [7] N. Tong, J. C. He, F. Lu, Q. Wang, J. Qu, Y. E. Zhao, "Changes in corneal wavefront aberrations in microincision and small-incision cataract surgery", *J. Cataract Refract. Surg.* **34**, 2085-2090 (2008).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.08.020>
- [8] K. Yao, X. Tang, P. Ye, "Corneal astigmatism, high order aberrations, and optical quality after cataract surgery: microincision versus small incision", *J. Refract. Surg.* **22**, S1079-82 (2006).
- [9] J. L. Alió, B. Elkady, D. Ortiz, "Corneal Optical Quality Following Sub 1.8 mm Micro-Incision Cataract Surgery vs. 2.2 mm Mini-Incision Coaxial Phacoemulsification", *Middle East Afr. J. Ophthalmol.* **17**, 94-99 (2010).
- [10] J. Wang, E. K. Zhang, W. Y. Fan, J. X. Ma, P. F. Zhao, "The effect of micro-incision and small-incision coaxial phaco-emulsification on corneal astigmatism", *Clin. Experiment. Ophthalmol.* **37**, 664-669 (2009).
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1442-9071.2009.02117.x>
- [11] A. Guirao, P. Artal, "Corneal wave aberrations from videokeratography: accuracy and limitations of the procedure", *J. Opt. Soc. Am. A* **17**, 955-965 (2000).
<http://dx.doi.org/10.1364/JOSAA.17.000955>
- [12] A. Guirao, M. Redondo, E. Geraghty, P. Piers, S. Norrby, P. Artal, "Corneal optical aberrations and retinal image quality in patients in whom monofocal intraocular lenses were implanted," *Arch. Ophthalmol.* **120**, 1143-1151 (2002).
<http://dx.doi.org/10.1001/archophth.120.9.1143>
- [13] K. Hayashi, M. Yoshida, H. Hayashi, "Postoperative corneal shape changes: Microincision versus small-incision coaxial cataract surgery," *J. Cataract. Surg.* **35**, 233-9 (2009).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2008.10.031>
- [14] G. Savini, P. Barboni, M. Carbonelli, K. J. Hoffer, "Repeatability of automatic measurements by a new Scheimpflug camera combined with Placido topography", *J. Cataract. Refract. Surg.* **37**, 1809-1816 (2011).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2011.04.033>
- [15] A. Guirao, J. Tejedor, P. Artal, "Corneal aberrations before and after small-incision cataract surgery", *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* **45**, 4312-4319 (2004).
<http://dx.doi.org/10.1167/iovs.04-0693>
- [16] R. F. Steiner, S. F. Brint, S. M. White, I. H. Fine, "Astigmatism after small incision cataract surgery: a prospective, randomized, multicenter comparison of 4- and 6.5-mm incisions", *Ophthalmology* **98** 417-423, (1991).
[http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420\(91\)32275-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0161-6420(91)32275-9)
- [17] Z. Z. Nagy, A. Dunai, K. Kránitz, A. I. Takács, G. L. Sándor, R. Hécz, M. C. Knorz, "Evaluation of femtosecond laser-assisted and manual clear corneal incisions and their effect on surgically induced astigmatism and higher-order aberrations", *J. Refract. Surg.* **30**, 552-5 (2014).
<http://dx.doi.org/10.3928/1081597X-20140711-04>

- [18] H. Ramzjoo, N. Koosha, M. H. Vaezi, B. Rahimi, A. Peyman, "Corneal astigmatism change and wavefront aberration evaluation after cataract surgery: "Single" versus "paired opposite" clear corneal incisions", *Adv Biomed Res.* **3**, 163 (2014).
<http://dx.doi.org/10.4103/2277-9175.139126>
- [19] S. Khokhar, P. Lohiya, V. Murugiesan, A. Panda, "Corneal astigmatism correction with opposite clear corneal incisions or single clear corneal incision: comparative analysis", *J. Cataract. Refract. Surg.* **32**, 1432-1437 (2006).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.04.010>
- [20] B. Elkady, J. L. Alió, D. Ortiz, R. Montalbán, "Corneal aberrations after microincision cataract surgery", *J. Cataract. Refract. Surg.* **34**, 40-45 (2008).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.08.022>
- [21] A. R. Gutierrez, "Asfericidad corneal". Simposium de patología corneal 31; 3-26. (2002).
- [22] S. Marcos, P. Rosales, L. Llorente, I. Jiménez-Alfaro, "Change in corneal aberrations after cataract surgery with 2 types of aspherical intraocular lenses", *J. Cataract. Refract. Surg.* **33** 217-226 (2007).
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2006.10.021>
- [23] I. Romero "Incisión corneal 1,8 vs 2,2 :¿hasta dónde?", *Facoelche* (2011).
- [24] S. Marcos, D. Cano, S. Barbero, "Increase in corneal asphericity after standard laser in situ keratomileusis for myopia is not inherent to the Munnerlyn algorithm", *J. Refract. Surg.* **19**, 592-596 (2003).

1. Introducción

La catarata es la primera causa de ceguera evitable en el mundo [1]. En esta enfermedad multifactorial, que afecta al cristalino provocando su opacificación, participan diversos factores de riesgo como el tabaco, los corticoides o la diabetes entre otros. La cirugía es el único tratamiento de la catarata, que permite extraer el cristalino opacificado y restaurar la visión con la implantación de una lente intraocular (LIO).

Durante mucho tiempo el astigmatismo inducido por las incisiones (SIA) en la cirugía de catarata ha sido el principal problema para los cirujanos. Esto ha servido para entender que si la incisión se practicaba en un meridiano, dicho meridiano se aplanaba [2]. La manera de realizar las incisiones varía la magnitud del astigmatismo inducido; por ejemplo, las incisiones limbares inducen un astigmatismo mayor que las incisiones esclerales debido a que se realizan sobre el limbo esclero-corneal, producen mayor tendencia al aplanamiento del meridiano en el que se practicó la incisión y un encurvamiento compensatorio del meridiano situado a 90° de este [3]. Gracias a los avances en la técnica e instrumentación quirúrgica, los astigmatismos postoperatorios son cada vez menores y la recuperación visual del paciente más rápida, segura y eficiente. Sin embargo, además de conseguir la mejor condición refractiva posible existen otros factores, a parte de los refractivos, que disminuyen de manera importante la calidad de la imagen retiniana y que no se miden de manera rutinaria en la clínica, como el scattering [4] o las aberraciones [5].

Los elementos que más contribuyen a las aberraciones oculares totales son la córnea y el cristalino. Las aberraciones producidas por el cristalino, como el coma, se pueden corregir con la implantación de LIOs intraoculares específicas [6]. Estas LIOs específicas que corrigen las aberraciones del cristalino junto con las incisiones corneales que minimizan las aberraciones corneales pretenden tener como resultado un sistema óptico de mayor calidad para cada paciente tras la cirugía.

Las "microincisiones", con una longitud de 2,2 mm o menor, minimizan en mayor medida el astigmatismo y las aberraciones de alto orden inducidas quirúrgicamente en comparación con las "incisiones pequeñas" (2,6-3,0 mm). La reducción de las aberraciones de alto orden es un tema que genera controversia entre autores. *Tong et al.* [7] afirman que las aberraciones de alto orden son menores si se practican microincisiones en lugar de incisiones pequeñas. *Yao et al.* [8] concluyen que las aberraciones de alto orden apenas sufren cambios empleando una incisión u otra a pesar de que la calidad óptica de la córnea mediante *modulation transfer function* (MTF) mejora con las microincisiones, mientras que *Alió et al.* [9] no encontraron cambios significativos en el coma y en las aberraciones de alto orden comparando una incisión de 1,8mm frente a una de 2,2 mm. También se ha demostrado que la disminución de la incisión en el rango 2,6-2,2 mm no reduce el astigmatismo inducido quirúrgicamente utilizando un tipo de cartucho específico para inyectar la LIO [10].

Debido a que incisiones cada vez más pequeñas inducen modificaciones discretas o clínicamente insignificantes [10], la condición refractiva ya no sería un argumento válido para seguir utilizando incisiones cada vez menores.

Sin embargo, el avance de la investigación en calidad visual y la introducción de instrumentación más precisa en la práctica clínica han incrementado el interés en el tamaño y la localización de la incisión para reducir al máximo las aberraciones corneales y mejorar la calidad de la imagen. Con los datos obtenidos con los nuevos topógrafos corneales que miden aberraciones podemos saber de qué forma contribuye la incisión en la cirugía de cataratas a las aberraciones [11].

El interés en los estudios sobre compensación entre aberraciones producidas por la córnea y cristalino ha llevado a la aparición de nuevos sistemas de compensación como es el caso de LIOs intraoculares que compensan la aberración esférica de la córnea [12] o el coma corneal [13]. Con estos nuevos diseños, que mejoran la calidad de la imagen retiniana compensando las aberraciones corneales, la córnea debe permanecer inalterada después de la cirugía, por lo que las incisiones juegan un papel importante en resultado final de la calidad óptica.

En este trabajo vamos estudiar dos tipos de incisiones corneales, con el objetivo de determinar que abordaje influye en mayor medida sobre las aberraciones corneales.

2. Métodos

2.a. Pacientes

Para este estudio se seleccionaron 21 ojos de 18 pacientes (7 hombres y 11 mujeres) con edades comprendidas entre 44 y 89 años ($69,81 \pm 12,55$) y afectados de catarata, que acudieron al Instituto Oftalmológico Gómez-Ulla (IOG, Santiago de Compostela, Galicia, España). De esos 21 ojos, se realizaron incisiones corneales opuestas o pareadas a 5 ojos con el fin de corregir astigmatismos corneales medios (1,00-2,00 D), e 1 incisión corneal a 16 ojos para corregir astigmatismos pequeños o para la introducción de una LIO tórica cuando el astigmatismo era elevado ($>2,00$ D) y no era posible corregirlo con el empleo de incisiones pareadas. Los pacientes seleccionados debían tener catarata y no presentar ningún tipo de patología ocular que pudiera estar presente en la córnea, además de estar inalterada de cualquier proceso de cirugía láser. En la evaluación preoperatoria se incluyó la biometría y el cálculo de la LIO. El estudio fue aprobado por el comité de ética del Instituto Oftalmológico Gómez-Ulla.

2.b. Procedimiento quirúrgico

La cirugía se realizó bajo anestesia tópica (tetracaína 1%) e intracameral (lidocaína 1%). Se realizó 1 incisión corneal valvulada auto sellada de 2,2 mm, mientras que las incisiones pareadas se realizaron con un tamaño de 3 mm. Cuando se emplearon incisiones pareadas se realizaron dos incisiones, una principal por la que se introdujo el facoemulsificador y otra similar, opuesta 180°. Una vez introducido el viscoelástico en la cámara anterior se realizó una capsulorrexia, seguido por una hidrodisección con solución salina balanceada (SSB). A continuación se realizó la facoemulsificación con la técnica phaco-chop, se aspiraron las masas corticales resultantes. Se introdujo la lente plegable mediante cartucho que dependía de los parámetros y necesidades del paciente. Por último, se sellaron las incisiones con suero sin necesidad de suturas y se instiló una gota de antibiótico.

La posición de la incisión fue realizada utilizando el protocolo de actuación de un cirujano diestro, realizando la incisión temporal para el ojo derecho y nasal para el ojo izquierdo. En el caso de la corrección del astigmatismo corneal, se realizaron las incisiones pareadas en el meridiano más curvo. Una de las incisiones pareadas fue la incisión principal y la otra se realizó en el lado opuesto. En nuestra muestra no hubo ningún caso de astigmatismo irregular.

2.c. Pruebas realizadas: topografía y aberrometría

La topografía y la aberrometría corneal se midió con el Sirius (Oftaltech, CSO, Florencia, Italia). Es un sistema basado en los discos de Plácido, que son anillos concéntricos de tamaño fijo que se disponen en forma de cono y que se intercalan entre sí (uno blanco y uno negro), y la cámara de Scheimpflug, que consta de un sistema de rotación que permite hacer 25 imágenes de los 360° en relación al punto central de la córnea, que es el punto central de referencia, y así poder examinar la cámara anterior, la topografía corneal anterior y posterior, las queratometrías y la densidad del cristalino, omitiendo la influencia de la

película lagrimal. Además de la queratometría central nos aporta información sobre la curvatura corneal periférica. El poder de la córnea se calcula promediando la curvatura axial del cuarto al octavo anillo de Plácido [14].



Fig.1. Imagen del topógrafo corneal Sirius (Oftaltech, CSO, Florencia, Italia).

El protocolo a seguir para obtener los datos topográficos y aberrométricos del paciente fue el recomendado por la casa comercial para el centrado. Una vez el centrado es óptimo se le pide al paciente que parpadee y que mantenga el ojo abierto hasta que se le indique. Se esperan aproximadamente 4 segundos a que se establezca la lágrima y se capturan los datos. Se le realizaron a cada paciente dos medidas de los datos esperando entre cada medida un tiempo de 10 segundos. El examen topográfico se le realizó a cada paciente una semana antes de la cirugía y 3-4 semanas después de la cirugía.

2.d. Obtención y análisis de datos

Se obtuvieron los datos topográficos referentes a Sim-K de la cara anterior de la córnea. Sim-K es un parámetro que engloba la potencia y la ubicación del meridiano más plano y del meridiano más curvo (K1, K2), el promedio de las curvaturas de los dos meridianos (K1 y K2) y la diferencia de cilindro entre K1 y K2 expresada en dioptrías con el eje correspondiente al meridiano más curvo.

A partir del índice de asfericidad (Q) se extrajo el valor promedio de la asfericidad (P) que el instrumento hace de las medidas de asfericidad tomadas en la zona superior, inferior, nasal y temporal de la córnea.

A partir de los datos topográficos, se obtuvieron las aberraciones producidas por la superficie anterior de la córnea. El software del topógrafo convierte los datos de elevación corneal en datos de frente de onda de la córnea empleando los polinomios de Zernike.

Las aberraciones se cuantificaron por medio del *root mean square* (RMS) total, que incluye todos los términos de Zernike con $n \geq 2$ hasta $n=7$.

$$RMS = \sqrt{\sum_{n,m} (C_n^m)^2} \quad (1)$$

A cada aberración individual se le asocia un polinomio de Zernike con la nomenclatura C_n^m . El astigmatismo se compone de C_2^{+2} para el astigmatismo horizontal y C_2^{-2} para el astigmatismo oblicuo a 45° . Por lo tanto $C_2^{\pm 2}$ será el astigmatismo, que será calculado por el topógrafo en μm con la fórmula 2, dado que los datos están normalizados y son calculados para cada diámetro pupilar.

$$astigmatismo = \sqrt{(c_2^{-2})^2 + (c_2^{+2})^2} \quad (2)$$

Para el cálculo del eje el topógrafo emplea la fórmula 3:

$$eje = \frac{1}{2} \tan^{-1}(c_2^{-2} / c_2^{+2}) \quad (3)$$

Lo mismo ocurre para el caso del coma $C_3^{\pm 1}$, trifoil $C_3^{\pm 3}$, astigmatismo II $C_4^{\pm 2}$, cuadrafoil $C_4^{\pm 4}$ y la aberración esférica C_4^0 .

Se estudiaron los datos topográficos (Sim K y P) y de aberraciones (RMS y coeficientes de Zernike) de cada paciente tanto en el pre como en el postoperatorio. En el caso de los datos aberrométricos se analizaron para un diámetro pupilar de 6 mm.

El análisis estadístico se realizó con el paquete de software Microsoft Office Excel 2007. Al no seguir la muestra una distribución normal se utilizó el test no paramétrico de Wilcoxon. El nivel de significancia estadística se estableció en $P \leq 0.05$.

3. Resultados

3.a. Análisis estadístico de la potencia y eje del astigmatismo con 1 incisión e incisiones pareadas

La potencia corneal sufrió mínimos cambios tras la cirugía, diferencias que en ningún caso fueron estadísticamente significativas ($P=0.82$) para incisiones de 2,2 mm y ($P=0.44$) para incisiones pareadas de 3 mm.

Para el caso del astigmatismo, la figura 2 refleja un ligero aumento en la potencia en tres de los cuatro grupos en los que se agruparon los pacientes según el eje de incisión, después de cirugías que emplearon 1 incisión de 2,2 mm. El promedio de la potencia de los cuatro grupos sufrió ligeros cambios (pre $1,29 \pm 1,28$ D y post $1,34 \pm 1,45$ D) aunque no mostró niveles de significación estadística ($P=0.41$). Aunque en la figura 2 se hizo el promedio para cada grupo para que fuese más representativa, a la hora de analizar los datos se cogieron los datos totales debido a que alguno de los grupos tenía una muestra pequeña.

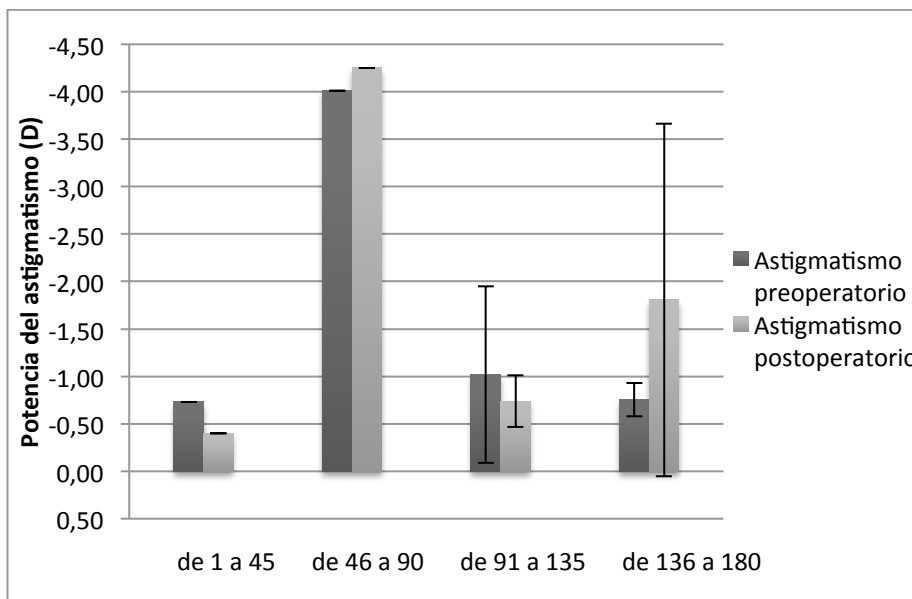


Fig.2. Gráfico de barras con la variación de la potencia del astigmatismo pre y post cirugía para incisiones de 2,2 mm.

El mismo proceso se llevó a cabo para cuantificar la variación del eje del astigmatismo. En la figura 3 la mayor variación del eje del astigmatismo se aprecia en el grupo de 0 a 45 grados de incisión. Aunque la variación que muestra este grupo es grande, los cambios producidos en el promedio total de datos antes ($120,84 \pm 48,77^\circ$) y después de la cirugía ($122,94 \pm 43,18^\circ$) fueron mínimos y carecieron de significación estadística ($P=0.66$). Al igual que en el caso de la potencia promedio, se cogieron los datos totales para el análisis.

Como vemos en la tabla 1, la potencia reveló una pequeña reducción que no fue estadísticamente significativa ($P=0.37$) para las incisiones pareadas de 3 mm (pre 0.94 ± 0.44 D y post $0.90 \pm 0,48$ D). En la tabla los grados indican la orientación de la incisión principal por la que se introdujo el faocemulsificador. El eje del astigmatismo sufrió también leves cambios con este tipo de incisiones (pre $128,20^\circ \pm 32,50$ y post $127,30 \pm 29,07^\circ$), variación sin relevancia estadística ($P=1.00$).

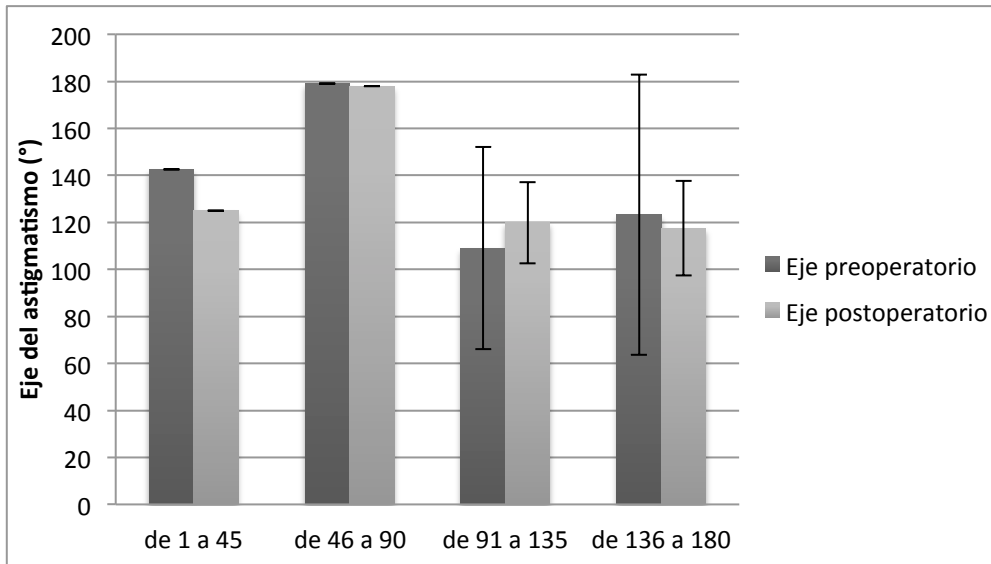


Fig. 3. Gráfico de barras con el valor del eje del astigmatismo pre y post cirugía por grupos según el eje de incisión, para incisiones de 2,2 mm.

TABLA 1. Valores de la potencia y el eje del astigmatismo pre y postoperatorios para incisiones pareadas de 3 mm.

INCISIONES PAREADAS	Potencia astigmatismo pre cirugía(D)	Eje astigmatismo pre cirugía(°)	Potencia astigmatismo post cirugía(D)	Eje astigmatismo post cirugía(°)
Pareadas 115°	-1,03	97,50	-0,96	98,00
Pareadas 13°	-0,73	105,50	-0,70	103,00
Pareadas 140°	-0,55	140,50	-0,40	152,00
Pareadas 45°	-1,66	119,00	-1,67	120,50
Pareadas 80°	-0,73	178,50	-0,76	163,00

3.b. Análisis estadístico de las aberraciones para 1 incisión e incisiones pareadas según su localización temporal y nasal

Los cambios producidos por las incisiones pareadas de 3 mm en las aberraciones, según su orientación nasal y temporal, aparecen reflejados en la figura 4.

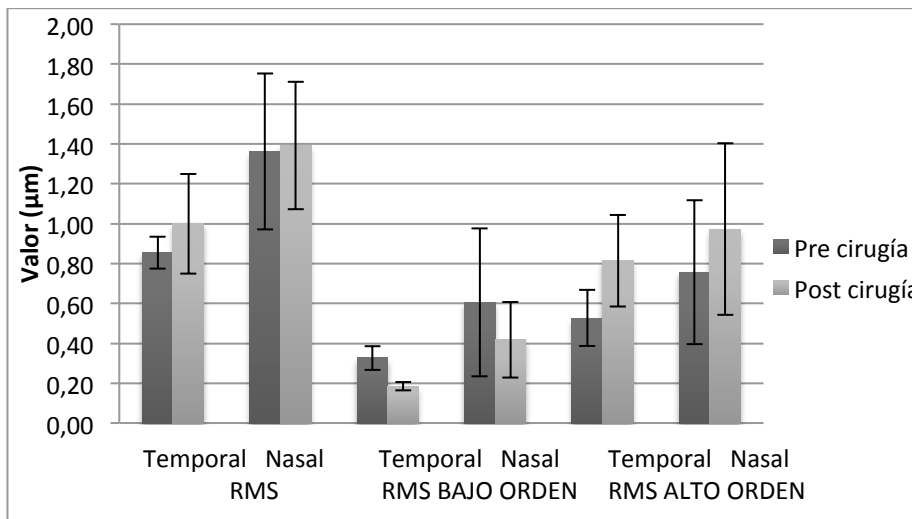


Fig.4. Gráfico de barras con que muestra los cambios en las aberraciones producidos antes y después de la cirugía con incisiones pareadas nasales y temporales.

El valor del RMS total aumentó en mayor medida para las incisiones pareadas temporales (pre $0,86 \pm 0,08 \mu\text{m}$ y post $1,00 \pm 0,25 \mu\text{m}$), en comparación con las incisiones pareadas nasales (pre $1,36 \pm 0,39 \mu\text{m}$ y post

1,39 ± 0,32 μm). Los cambios producidos con las incisiones temporales (P=1.00) y nasales (P=0.63) carecieron de significado estadístico. Por otro lado, en el RMS de bajo orden se produjo una leve disminución después de la cirugía tanto para las incisiones pareadas temporales (pre 0,36 ± 0,06 μm y post 0,19 ± 0,02 μm) como nasales (pre 0,61 ± 0,37 μm y post 0,42 ± 0,19 μm) aunque estos valores no fueron estadísticamente significativos (P=0.50 y P=0.65). En el caso del RMS de alto orden ocurrió lo contrario. Las aberraciones producidas por las incisiones temporales (pre 0,53 ± 0,14 μm y post 0,82 ± 0,23 μm) y nasales (pre 0,76 ± 0,36 μm y post 0,97 ± 0,43 μm) en el postoperatorio aumentaron. A pesar de estos cambios, no entraron en el rango para el cual la muestra tiene significado estadístico (P=0.50 y P=0.50 respectivamente).

El análisis de los términos de Zernike referentes al astigmatismo, trifoil, coma, cuadrafoil, astigmatismo II y aberración esférica fueron presentados en la tabla 2. Como norma general, aumentaron todos los polinomios de Zernike salvo el astigmatismo, que se redujo después de la cirugía tanto para incisiones pareadas temporales y nasales.

TABLA 2. Análisis de los términos de Zernike antes y después de la cirugía con incisiones pareadas temporales y nasales.

PAREADAS TEMPORALES	Pre cirugía	Post Cirugía	Diferencia media	P
Astigmatismo (μm)	0,67 ± 0,02	0,55 ± 0,08	-0,12 ± 0,06	0.50
Trifoil (μm)	0,27 ± 0,10	0,54 ± 0,17	0,27 ± 0,07	0.50
Coma (μm)	0,28 ± 0,08	0,29 ± 0,02	0,01 ± 0,06	1.00
Cuadrafoil (μm)	0,17 ± 0,18	0,30 ± 0,15	0,13 ± 0,03	1.00
Astigmatismo II (μm)	0,08 ± 0,03	0,12 ± 0,00	0,04 ± 0,03	0.50
Aberración esférica (μm)	0,24 ± 0,03	0,32 ± 0,00	0,08 ± 0,03	0.50
PAREADAS NAALES	Pre cirugía	Post Cirugía	Diferencia media	P
Astigmatismo (μm)	1,08 ± 0,45	0,93 ± 0,15	-0,15 ± 0,30	0.63
Trifoil (μm)	0,40 ± 0,24	0,51 ± 0,15	0,11 ± 0,09	0.25
Coma (μm)	0,48 ± 0,21	0,48 ± 0,40	0,00 ± 0,19	0.63
Cuadrafoil (μm)	0,10 ± 0,02	0,27 ± 0,13	0,17 ± 0,11	0.25
Astigmatismo II (μm)	0,12 ± 0,06	0,21 ± 0,13	0,09 ± 0,07	0.25
Aberración esférica (μm)	0,32 ± 0,12	0,32 ± 0,07	0,00 ± 0,05	0.25

En la figura 5 se pueden observar los cambios que sufrieron las aberraciones cuando se realizó 1 incisión nasal o temporal.

El RMS total aumentó cuando la incisión fue temporal (pre 1,45 ± 0,98 μm y post 1,46 ± 1,16 μm) y disminuyó cuando se realizó en el lado nasal (pre 2,28 ± 2,05 μm y post 2,19 ± 2,16 μm). En ambas orientaciones, la variación del RMS total después de la cirugía fue ligera y en ningún caso estadísticamente significativa (P=0.92 y P=0.69). Para el caso del RMS de bajo orden, las aberraciones aumentaron levemente, tanto si el abordaje con 1 incisión fue temporal (pre 0,61 ± 0,88 μm y post 0,75 ± 1,11 μm) o nasal (pre 0,75 ± 0,90 μm y post 0,89 ± 0,95 μm). Los cambios producidos en ambas zonas carecieron de significancia estadística (P=0.38 y P=0.44). En el RMS de alto orden, los cambios producidos fueron contrarios a los mostrados por el RMS de bajo orden. Las aberraciones aumentaron tanto con 1 incisión temporal (pre 0,84 ± 0,40 μm y post 0,72 ± 0,30 μm) como con 1 incisión nasal (pre 1,53 ± 1,21 μm y post 1,30 ± 1,23 μm). Al igual que los anteriores, los cambios no fueron estadísticamente significativos (P=0.23 y P=1.00 respectivamente).

El astigmatismo, trifoil, coma, cuadrafoil, astigmatismo II y aberración esférica que fueron los términos de Zernike analizados, se presentaron en la tabla 3. Los cambios en todos los polinomios de Zernikes fueron similares tanto en la zona nasal como temporal, aunque destaca la significancia estadística de la aberración esférica cuando la incisión fue temporal.

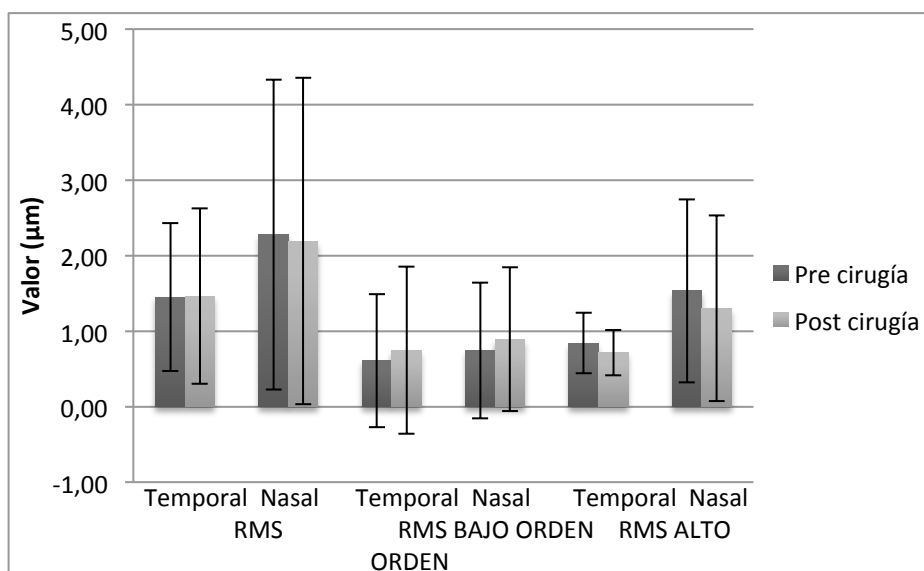


Fig.5. Gráfico de barras con que muestra los cambios en las aberraciones producidos antes y después de la cirugía con 1 incisión temporal y nasal.

TABLA 3. Análisis de los términos de Zernike antes y después de la cirugía con una incisión temporal y nasal.

1 INCISIÓN TEMPORAL	Pre cirugía	Post Cirugía	Diferencia media	P
Astigmatismo (µm)	1,06 ± 1,03	1,17 ± 1,23	0,11 ± 0,20	0.38
Trifoil (µm)	0,47 ± 0,29	0,39 ± 0,15	-0,08 ± 0,14	0.85
Coma (µm)	0,44 ± 0,26	0,32 ± 0,30	-0,12 ± 0,04	0.10
Cuadrafoil (µm)	0,21 ± 0,18	0,17 ± 0,07	-0,04 ± 0,11	0.85
Astigmatismo II (µm)	0,13 ± 0,07	0,11 ± 0,05	-0,02 ± 0,02	0.56
Aberración esférica (µm)	0,31 ± 0,13	0,27 ± 0,14	-0,04 ± 0,01	0.06
1 INCISIÓN NASAL	Pre cirugía	Post Cirugía	Diferencia media	P
Astigmatismo (µm)	1,60 ± 1,75	1,72 ± 1,75	0,12 ± 0,00	0.69
Trifoil (µm)	0,60 ± 0,46	0,65 ± 0,60	0,05 ± 0,14	0.69
Coma (µm)	0,90 ± 0,85	0,78 ± 0,99	-0,12 ± 0,14	1.00
Cuadrafoil (µm)	0,56 ± 0,60	0,40 ± 0,30	-0,16 ± 0,30	1.00
Astigmatismo II (µm)	0,38 ± 0,35	0,30 ± 0,44	-0,08 ± 0,09	0.69
Aberración esférica (µm)	0,31 ± 0,27	0,37 ± 0,36	0,06 ± 0,09	0.56

3.c. Análisis estadístico de las aberraciones para incisiones pareadas y 1 incisión

En este caso la medida de las aberraciones corneales se realizó comparando las variaciones que producían las incisiones pareadas y 1 incisión como se muestra en la figura 6.

El valor del RMS total aumentó en promedio para las incisiones pareadas después de la cirugía (pre $1,16 \pm 0,39 \mu\text{m}$ y post $1,24 \pm 0,34 \mu\text{m}$) mientras que disminuyó ligeramente para el caso de 1 incisión (pre $1,76 \pm 1,47 \mu\text{m}$ y post $1,54 \pm 1,58 \mu\text{m}$) aunque en ninguno de los casos fueron datos estadísticamente significativos ($P=0,82$ y $P=0,60$ respectivamente). En el RMS de bajo orden se produjo un leve descenso de las aberraciones corneales para las incisiones pareadas (pre $0,49 \pm 0,30 \mu\text{m}$ y post $0,33 \pm 0,18 \mu\text{m}$) mientras que para el caso de 1 incisión, las aberraciones corneales aumentaron ligeramente (pre $0,66 \pm 0,86 \mu\text{m}$ y post $0,88 \pm 1,02 \mu\text{m}$) aunque no tuvieron significado estadístico ($P= 0,62$ y $P=0,80$). En el RMS de alto orden se produjo el caso inverso, las aberraciones corneales aumentaron después de la cirugía con las incisiones pareadas (pre $0,67 \pm 0,29 \mu\text{m}$ y post $0,91 \pm 0,34 \mu\text{m}$) y disminuyeron para 1 incisión (pre $1,10 \pm 0,84 \mu\text{m}$ y post $0,93 \pm 0,81 \mu\text{m}$) siendo ($P=0,19$ y $P=0,30$ respectivamente).

El análisis de los términos de Zernikes para el astigmatismo, trifoil, coma, cuadrafoil, astigmatismo II y aberración esférica mostró los siguientes resultados presentados en la tabla 4. para las incisiones pareadas y 1 incisión. De estos datos se puede extraer el aumento del astigmatismo postoperatorio para 1 incisión y la disminución para las incisiones pareadas, además de un ligero aumento del resto de los términos de Zernike para las incisiones pareadas después de la cirugía, ocurriendo lo contrario en el caso de 1 incisión.

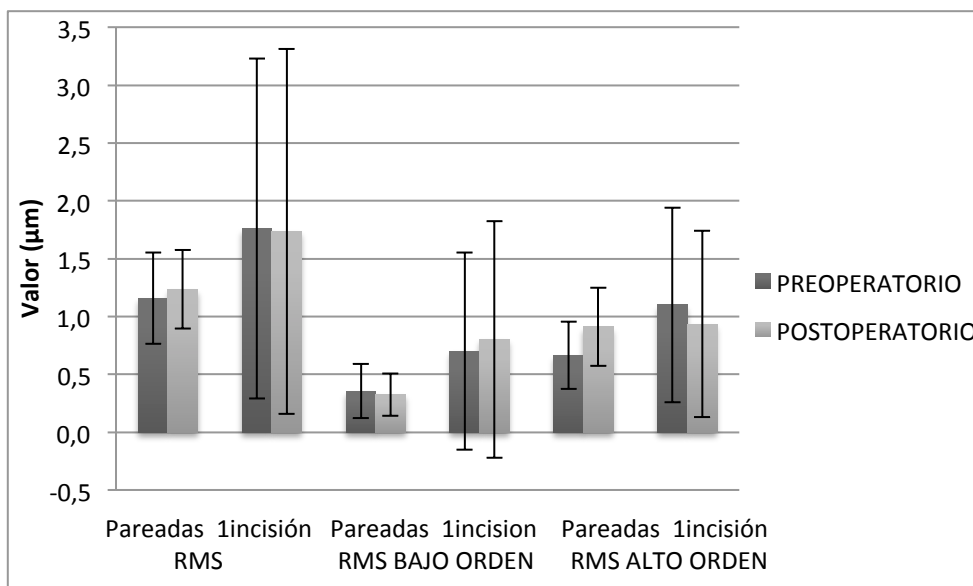


Fig.6. Gráfico de barras que muestra los cambios en las aberraciones pre y post cirugía con incisiones pareadas y 1 incisión.

TABLA 4. Análisis de los datos de los Zernikes antes y después de la cirugía para incisiones pareadas y 1 incisión

INCISIONES PAREADAS	Pre cirugía	Post Cirugía	Diferencia media	P
Astigmatismo (µm)	0,91 ± 0,39	0,78 ± 0,24	-0,13 ± 0,15	0.62
Trifoil (µm)	0,35 ± 0,19	0,52 ± 0,14	0,17 ± 0,05	0.19
Coma (µm)	0,40 ± 0,19	0,40 ± 0,30	0,00 ± 0,11	1.00
Cuadrafoil (µm)	0,13 ± 0,10	0,28 ± 0,12	0,15 ± 0,02	0.19
Astigmatismo II (µm)	0,11 ± 0,05	0,17 ± 0,11	0,06 ± 0,06	0.06
Aberración esférica (µm)	0,29 ± 0,10	0,34 ± 0,05	0,05 ± 0,05	0.19
1 INCISIÓN	Pre cirugía	Post Cirugía	Diferencia media	P
Astigmatismo (µm)	1,27 ± 1,32	1,38±1,42	0,11 ± 0,10	0.30
Trifoil (µm)	0,52 ± 0,36	0,49±0,39	-0,03 ± 0,03	0.94
Coma (µm)	0,61 ± 0,57	0,49±0,66	-0,12 ± 0,09	0.19
Cuadrafoil (µm)	0,34 ± 0,42	0,26±0,21	-0,08 ± 0,21	0.92
Astigmatismo II (µm)	0,22 ± 0,24	0,18±0,27	-0,04 ± 0,03	0.33
Aberración esférica (µm)	0,31 ± 0,18	0,31±0,24	0,00 ± 0,06	0.45

Por último se comparó el promedio de la asfericidad antes y después de la cirugía para las incisiones pareadas y 1 incisión, y si este aumento de la asfericidad, tuvo relación con la aberración esférica. En el caso de las incisiones pareadas el promedio de la asfericidad aumentó en el postoperatorio (pre 0,87 ±0,24 y post 0,92 ±0,26) mientras que con 1 incisión el promedio de la asfericidad casi no sufrió cambios entre el preoperatorio y el postoperatorio (pre 0,84 ±0,18 y post 0,83 ±0,25). Estos valores no fueron significativos estadísticamente (P=0.62 y P=0.42). En el caso de la aberración esférica ocurrió lo mismo que en el promedio de las asfericidad. Las incisiones pareadas presentaron un ligero aumento de esta aberración después de la cirugía (pre 0,29 ± 0,10 y post 0,34 ± 0,05). Por el contrario 1 incisión no produjo cambios en la aberración esférica antes y después de la cirugía (pre 0,31±0,24 y post 0,31 ± 0,18). En este

caso tampoco se obtuvieron valores estadísticamente significativos para las incisiones pareadas ($P=0.19$) y para 1 incisión ($P=0.45$).

4. Discusión

La calidad de la imagen retiniana depende de la corrección de la ametropía y de las aberraciones. La minimización de estos dos factores en la cirugía de catarata implica una imagen retiniana de mayor calidad. Los cambios postquirúrgicos en las aberraciones corneales han sido un tema ampliamente discutido por diversos autores [8, 9, 13]. Muchos de estos trabajos están enfocados en determinar el límite real del tamaño de la incisión en la cirugía de catarata para el cual se obtiene un buen resultado de las aberraciones y de la corrección astigmática. En este estudio hemos mostrado como influye en las aberraciones el tipo y la localización de 1 incisión de 2,2 mm e incisiones pareadas de 3 mm. Estos cambios en dichas aberraciones podrían degradar la calidad óptica de la superficie corneal anterior y afectar a la agudeza visual final del paciente [15].

La potencia media del astigmatismo corneal con 1 incisión apenas varió después de la cirugía de catarata ($P=0.41$). En trabajos similares, que utilizaron incisiones pequeñas, como el de Guirao et al. [15] y Steinert et al. [16], el astigmatismo inducido obtenido fue de 1D y en ambos casos con significado estadístico ($P=0.044$ y $P<0.0001$ respectivamente). Esto podría deberse al pequeño tamaño de la muestra en nuestro trabajo o a la incisión realizada en la cirugía, que en los ojos de este estudio fue de 2,2 mm, es decir, 1,3 mm y 1,8 mm más pequeñas respectivamente que los trabajos citados anteriormente.

En cuanto a la variación promedio del eje del astigmatismo, el cirujano practicó las incisiones en el meridiano de mayor potencia. Esto explica que el eje del astigmatismo no sufriera grandes cambios después de la cirugía ($2,01 \pm 5,59^\circ$ de media). Naggy et al. [17] con un tamaño de la incisión de 2,8 mm obtuvieron una variación del eje del astigmatismo de ($7,38^\circ \pm 4,72^\circ$). Esa variación del eje entre trabajos puede ser resultado de un tamaño de incisión diferente.

También se estudió el comportamiento del astigmatismo para incisiones pareadas de 3 mm pero sin cambios en la potencia y el eje estadísticamente significativos ($P=0.37$ y $P=1.00$ respectivamente). La potencia del astigmatismo sigue la línea de los resultados obtenidos por Ramzjoo et al. [18] y Khokhar et al. [19] donde las incisiones pareadas reducen de forma predecible y eficaz el astigmatismo en comparación con 1 incisión, donde encontramos además una variación mayor del eje del astigmatismo. En nuestro caso, en lo que al eje del astigmatismo se refiere, que el cirujano no tenga en cuenta el eje más curvo para realizar la incisión que corrige el astigmatismo corneal cuando al paciente se le implanta una LIO tórica, explicaría ese ligero aumento y esa pequeña variación ya mencionada en el eje del astigmatismo corneal después de la cirugía cuando se emplea 1 incisión, en comparación con incisiones pareadas ($0,90 \pm 3,43^\circ$).

La córnea mostró pequeños cambios en las aberraciones después de la cirugía para la localización temporal y nasal de las incisiones. El RMS total fue mayor para las incisiones nasales. Si separamos el RMS total en RMS de bajo y alto orden el patrón dominante siguió siendo una mayor aberración para las incisiones nasales, a pesar de pequeñas variaciones que existieron después de la cirugía [15]. Esto apoya los resultados obtenidos por Guirao et al. [15] donde, 4 meses después de la cirugía, además del mayor astigmatismo producido por la incisión cuando el abordaje era nasal los cambios más significativos en las aberraciones para una muestra de 70 ojos con un tamaño de incisión de 3,5 mm y diámetro pupilar de 6 mm se produjeron en esta zona ($P=0.030$). El mayor astigmatismo que inducen las incisiones nasales implica un aumento de la aberración que engloba al astigmatismo. En este estudio el aumento del RMS de bajo orden después de la cirugía fue el mismo cuando se hizo 1 incisión nasal o temporal, a pesar de que el astigmatismo que se induce está englobado en el RMS de bajo orden. Por último, aunque la reducción del RMS de alto orden sea ligeramente mayor en las incisiones nasales, tanto éstas como las incisiones temporales no tuvieron significado estadístico ($P=1.00$ y $P=0.23$ respectivamente).

Según el tipo de incisión practicada, las aberraciones corneales también sufren variaciones. El RMS de la aberración total disminuyó después de la cirugía cuando se realizó 1 incisión corneal. Estos resultados concuerdan con los mostrados por Elkady et al. [20] donde se observó que para la misma apertura pupilar empleada en nuestro estudio, un tamaño de incisión variable de 1,6 a 1,8 mm, el RMS total varió después de la cirugía de forma no significativa ($P=1.00$). Naggy et al. [17] analizaron el RMS de alto orden para un diámetro pupilar de 9 mm encontrando un aumento de las aberraciones estadísticamente significativo

($P=0.002$) para incisiones de 2,8 mm. Estos datos difieren los resultados obtenidos en nuestro estudio donde, el RMS de alto orden disminuyó ligeramente al practicar 1 incisión corneal, aunque no de manera significativa ($P=0.30$). Esta diferencia en ambos estudios se puede deber a la utilización de un tamaño de incisión distinto.

El empleo de incisiones pareadas produjo una disminución de las aberraciones de bajo orden después de la cirugía, mientras que las aberraciones de alto orden aumentaron, de manera no significativa ($P=0.62$ y $P=0.19$). Esta mayor variación en el RMS de alto orden se podría corresponder a la utilización de incisiones pareadas para reducir el astigmatismo. En las incisiones pareadas para la reducción del astigmatismo se realizan dos incisiones en el meridiano corneal más curvo, lo que reduce el astigmatismo pero indirectamente provoca un aumento de las aberraciones de alto orden debido a un mayor número de incisiones en la superficie corneal.

Además de comparar las aberraciones de alto y bajo orden, se debe resaltar la gran importancia de la aberración esférica. La aberración esférica total del ojo es la suma de todos los dioptrios oculares y depende de la asfericidad de cada dioptrio. Dado que la cara anterior de la córnea es el principal dioptrio, su asfericidad es la que más condiciona la aberración esférica total [21]. La utilización de las incisiones en la cirugía de catarata podría modificar la asfericidad corneal y, por lo tanto, cambiar aberración esférica.

Marcos et al. [22] no encontraron cambios significativos de la aberración esférica en ojos a los que se le implantaron LIOs monofocales a través de una incisión de 3,2 mm y utilizaron un diámetro pupilar de 5 y 10 mm. En la misma línea Guirao et al. [15] concluyeron que los pequeños cambios ($P=0.207$) producidos en la aberración esférica con una incisión de 3,5 mm después de la cirugía, apoyaban el diseño de LIOs esféricas para corregir la aberración esférica de la córnea. Romero et al. [23] con una muestra similar, si encontraron un aumento significativo ($P<0.021$) de la aberración esférica empleando una incisión de 1,8 mm y una apertura pupilar de 5 mm.

No se encontraron cambios estadísticamente significativos después de la cirugía con 1 incisión cuando se comparó la asfericidad corneal (pre $0,84 \pm 0,18$ y post $0,83 \pm 0,25$) y la aberración esférica (pre $0,31 \pm 0,24$ y post $0,31 \pm 0,18$) [15, 19]. Sin embargo, al realizar incisiones pareadas se produjo un ligero aumento de la asfericidad corneal (pre $0,87 \pm 0,24$ y post $0,92 \pm 0,26$) y de la aberración esférica (pre $0,29 \pm 0,10$ y post $0,34 \pm 0,05$) aunque no de manera significativa ($P=0.19$). Estos resultados en los dos tipos de incisión podrían demostrar la relación existente entre la asfericidad corneal y la aberración esférica [21]. Esta pequeña variación de la aberración esférica cuando se emplean incisiones pareadas podría explicarse debido a la modificación de la biomecánica corneal, o por una mayor cicatrización [24] al realizar más de una incisión en la superficie corneal, como ocurre en las incisiones pareadas. Otra explicación podría ser que el empleo de incisiones pareadas para reducir el astigmatismo corneal modificara la asfericidad corneal y por tanto la aberración esférica. Por último, el pequeño tamaño de la muestra o el diferente tamaño de las incisiones que se realizan en el trabajo que nos ocupa, podrían explicar esa pequeña variación en los resultados.

5. Conclusiones

En este trabajo se refleja que las incisiones empleadas en la cirugía de catarata no degradan la calidad óptica de la superficie corneal de manera estadísticamente significativa, aunque inducen pequeños cambios en las aberraciones. El uso de incisiones pareadas provoca una disminución no estadísticamente significativa del astigmatismo y, por ende, de las aberraciones de bajo orden. Asimismo, las aberraciones de alto orden aumentaron. Por el contrario, el uso de una sola incisión mostró el efecto contrario. Parece ser que, aunque las incisiones pareadas aumenten las aberraciones de alto orden, ofrecen un mejor resultado visual, ya que el astigmatismo corneal tiene más peso en la calidad óptica. En esta línea de investigación, una muestra mayor aportaría más información al cirujano a la hora de escoger uno u otro tipo de incisión con el fin de optimizar la calidad óptica de sus pacientes.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Programa Isidro Parga Pondal 2009 y el Plan I2C de Apoyo a la etapa Predoctoral (Xunta de Galicia). J. Queiruga agradece una beca de la Universidad de Murcia para estudios de Máster Universitario.