



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Asfericidad y profundidad de campo tras la
ablación de superficie avanzada para la
corrección de la miopía

Presentado por Laura Olagüenaga Larrinaga

Tutelado por el Dr. Miguel José Maldonado López

Alfredo Holgueras López

Tipo de TFG: Revisión Investigación

En Valladolid a, 28 de mayo de 2020

ÍNDICE

Resumen.....	3
Abreviaturas	5
Introducción.....	6
Justificación.....	10
Hipótesis y objetivo:.....	10
- Hipótesis	10
- Objetivos	10
Pacientes, material y método:	11
- Pacientes:.....	11
- Material y método:.....	11
- Análisis estadístico:.....	13
Resultados	14
Discusión.....	19
- Discusión de los métodos utilizados	19
- Discusión de los resultados obtenidos.....	19
- Limitaciones del estudio	20
Conclusiones.....	21
Bibliografía	22

RESUMEN

Objetivo: El objetivo principal de este estudio es observar la evolución de los pacientes que han sido corregidos de miopía mediante técnica de ablación de superficie avanzada, analizando los cambios producidos en la asfericidad de la superficie corneal anterior y en la profundidad de campo, correlacionando esos valores con aberraciones corneales de alto orden antes y después de la intervención.

Material y método: Para conocer la variación de los parámetros corneales de los 28 sujetos reclutados evaluamos la base de datos del topógrafo Galilei G4, el cual sirvió para obtener la asfericidad corneal, la aberración esférica, comática y total para diámetros pupilares simulados de 3, 4, 5 y 6 milímetros. También se hizo una revisión de las historias clínicas de cada paciente con el fin de obtener los siguientes datos: corrección y ablación realizada mediante láser excímer, cambios en la agudeza visual, excentricidad corneal, refracción subjetiva y queratometría. Todos los valores se tomaron, tanto en el preoperatorio como en el postoperatorio.

Resultados: Tras la intervención vemos que existe un cambio en la asfericidad corneal de los sujetos, pasando de córneas prolatas a oblatas, mejorando la agudeza visual que presentaban en el preoperatorio. En cuanto a las aberraciones corneales de alto orden, observamos que hay una correlación directa significativa entre la aberración esférica y la cantidad de ametropía corregida para los diámetros pupilares de 3 mm pero que no se encuentra en diámetros pupilares superiores a los 5 mm. En la aberración comática vemos un aumento muy sutil para los cuatro diámetros pupilares estudiados, sin llegar a encontrar ningún parámetro que se correlacione de manera significativa con la ablación ni ametropía corregida. También encontramos que existe una correlación directa significativa entre la ablación y el RMS total postoperatorio para los diámetros de 4, 5 y 6 mm. Analizando la variación producida en el RMS total a los seis meses de la intervención vemos que sufre un incremento, provocando que la profundidad de campo aumente.

Conclusiones: La asfericidad corneal y la profundidad de campo varían tras aplicar la ablación de superficie avanzada para la corrección de la miopía haciendo que se produzca un rango mayor de visión nítida sin necesidad de compensación óptica adicional.

Palabras clave: Asfericidad, profundidad de campo, cirugía refractiva láser, miopía, aberraciones de alto orden.

ABSTRACT

Objective: The main objective of this study is to investigate the evolution of patients who have been corrected for myopia by means of an advanced surface ablation, observing the changes in the asphericity of the corneal surface and in the depth of field, correlating those values with higher order corneal aberrations before and after of the intervention.

Materials and methodology: To find out the variation in corneal parameters of the 28 subjects recruited we evaluate the database of the Galilei G4 topographer, which served to obtain the corneal asphericity, the spherical, comatic and total aberration for simulated pupil diameters of 3, 4, 5 and 6 millimetres. There was also a review of the stories clinical data of each patient in order to obtain the following data: correction and excimer laser ablation, changes in visual acuity, corneal eccentricity, subjective refraction and keratometry. All these values were taken, both pre-operative and post-operative.

Results: After the intervention we see that there is a change in the asphericity of the subjects' corneas, going from prolates to oblates corneas, with an improvement in the pre-operative visual acuity. As for the high order corneal aberrations, we observe that there is a significant direct correlation difference between the spherical aberration and the amount of ametropia corrected for 3 mm pupil diameter but not in pupil diameters greater than 5 mm. In the comatic aberration we see a very subtle increase for the four pupil diameters studied, without reaching to find any parameters that correlate significantly with ablation or corrected ametropia. We also found that there is a significant direct correlation between ablation and total post-operative RMS for the diameters of 4, 5 and 6 mm. Analyzing the variation produced in the total RMS six months after the intervention we see that it suffers an increase, making the depth of field increase.

Conclusions: Corneal asphericity and depth of field vary after applying advanced surface ablation for the correction of myopia, resulting in a greater range of clear vision without the need for additional optical compensation.

Keywords: Asphericity, depth of field, laser refractive surgery, myopia, higher-order aberrations.

ABREVIATURAS

AO: Ambos ojos

ASA: Ablación de superficie avanzada

AV: Agudeza visual

AVcc: Agudeza visual con corrección

AVsc: Agudeza visual sin corrección

e: Excentricidad

EE: Equivalente esférico

ETDRS: Early Treatment Diabetic Retinopathy Study

Epi-LASIK: Queratomileusis asistida con láser realizada con epikeratomo

HOAs: Aberraciones de alto orden

IOBA: Instituto Universitario de Oftalmobiología Aplicada

LASEK: Queratomileusis subepitelial asistida por láser

LASIK: Queratomileusis in situ asistida por láser

mm: Milímetros

OD: Ojo derecho

OI: Ojo izquierdo

p: Factor de forma

PDC: Profundidad de campo

PDF: Profundidad de foco

PRK: Querectomía fotorrefractiva

Q: Asfericidad corneal

RMS: Aberración total corneal

Øt: Diámetro de la zona de transición

ØZo: Diámetro de la zona óptica

INTRODUCCIÓN:

La cirugía refractiva es aquella que corrige las ametropías: miopía, hipermetropía y astigmatismo. Puede tratar también, aunque no eliminar, las aberraciones de alto orden (HOAs) de origen corneal.

A finales del siglo XIX empezaron a plantearse varias soluciones quirúrgicas con el fin de corregir los problemas refractivos anteriormente mencionados. A raíz de esas primeras investigaciones, se han llegado a desarrollar diversas técnicas de cirugía refractiva que hoy en día se pueden agrupar en corneales e intraoculares. Dentro de las técnicas corneales (queratorrefractivas) nos encontramos con cuatro tipos de cirugías:¹

- Técnicas incisionales: queratotomía radial, queratotomía astigmática, queratotomía arcuata, incisiones limbares relajantes y queratotomía transversa.
- Técnicas sustractivas como la ablación de superficie avanzada (ASA), la queratotectomía fotorrefractiva (PRK), la queratomileusis asistida por láser (LASIK) o la queratomileusis asistida con láser realizada con epiqueratomo (Epi- LASIK).
- Técnicas de moldeamiento: termoqueratoplastia o láser INTRACOR.
- Técnicas aditivas: anillos o segmentos intraestromales y lentes intracorneales o intraestromales.

La técnica más comúnmente utilizada es la sustractiva, la cual consiste en realizar la desepitelización de la córnea aplicándose el tratamiento fotoablativo directamente en la superficie corneal, actuando sobre la membrana de Bowman, o creando un colgajo y realizando una ablación en capas inferiores.

Por ello, podemos clasificar las técnicas sustractivas en dos subgrupos:

- Aquellas en las que se realiza una aplicación directa del láser excímer sobre la membrana de Bowman tras eliminar el epitelio corneal (técnicas como el PRK o ASA).
- Aquellas en las que se crea un *flap* o colgajo corneal, posteriormente se ablaiona sobre el estroma anterior (como en el LASIK) y finalmente se recoloca de nuevo el colgajo.^{2,3}

Para conocer las diferencias entre las técnicas explicaremos brevemente cada una de ellas:^{1,2}

- PRK: es una técnica de superficie en la que se modifica la curvatura corneal, eliminando previamente el epitelio, de manera manual o mecánica, sin ser repuesto al final de la cirugía tras aplicar el láser excímer; es decir, el epitelio se desecha. Para realizarlo manualmente, se retira con una espátula. De manera mecánica se retira con un cepillo de Amoils u otro tipo de instrumentación más automatizada. En esta técnica, el moldeado corneal se produce sobre la membrana de Bowman y el estroma corneal superficial.
- ASA: para retirar el epitelio corneal esta técnica se sirve de alcohol diluido al 20%, que produce una relajación de las uniones estrechas de las células del epitelio, haciendo que éste se desprege con facilidad de la membrana basal. El alcohol suele estar en contacto con la córnea

medio minuto aproximadamente, y se utiliza en frío para limitar la respuesta inflamatoria de los tejidos. En esta técnica, como en el caso de la PRK, se desecha el epitelio una vez se elimina, además de realizar la fotoablación a nivel de la membrana de Bowman y el estroma corneal superficial.⁴

- LASIK: se realiza un corte mediante un microqueratomo o un láser de femtosegundo, que separa el epitelio y parte del estroma corneal, creándose el colgajo o *flap*. Una vez levantado el *flap* se pliega hacia atrás, permaneciendo unido mediante una bisagra situada superior o nasalmente. A continuación, se aplica el láser excímer sobre el centro de la córnea y se fotoabla produciendo una remodelación en el estroma corneal para finalmente recolocar dicho *flap* en su posición original. Con respecto al nivel en que se aplica el láser excímer esta es la técnica que más profundo lo hace; es decir se aplica en el estroma corneal situado a unas 100 micras de profundidad.^{1,2,4}

- LASEK y Epi-LASIK: El LASEK es una evolución de la PRK en donde se realiza un levantamiento químico del epitelio corneal, mientras que el Epi-LASIK realiza un levantamiento mecánico de dicho epitelio. Tanto en el LASEK como en el Epi-LASIK, después de retirar el epitelio corneal se aplica láser excímer sobre el espesor corneal, volviendo a colocar el epitelio en su lugar. El moldeado corneal en estos casos se realiza sobre la membrana de Bowman y el estroma anterior de la córnea.⁴

Estudios basados en la topografía corneal han demostrado que, aunque las ametropías son generalmente corregidas con éxito, la cirugía refractiva puede aumentar la cantidad de HOAs, especialmente la aberración esférica total; este aumento está relacionado con la cantidad de ametropía corregida.⁵

En función del tipo de refracción que sufran los rayos en la superficie anterior corneal podremos distinguir dos tipos de aberración esférica longitudinal; la positiva y la negativa (**Fig. 1**). La aberración esférica es positiva cuando los rayos periféricos se enfocan por delante de los rayos paraxiales, o centrales. Mientras que la aberración esférica será negativa cuando los rayos marginales enfoquen por detrás de los paraxiales.⁶

Se conoce que la córnea humana normal, es decir, sin patología alguna y sin procedimientos quirúrgicos de por medio, tiene una forma levemente prolata. Esto quiere decir que los rayos marginales se refractan menos que los centrales debido a que la potencia dióptrica en esa zona periférica es menor que la que hay en el centro. Sin embargo, en las córneas oblatas la potencia marginal es mucho mayor que la central (como en los ojos miopes intervenidos con láser excímer)

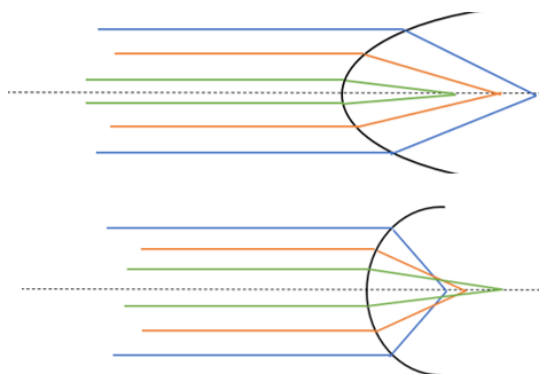


Figura 1.- La imagen superior representa la aberración esférica negativa. La inferior, una aberración esférica positiva.

ocurrirá, lo contrario, habrá mayor potencia periférica haciendo que los rayos focalicen por delante de la retina.

Uno de los factores que se modifican en procedimientos de cirugía refractiva mediante láser excímer es la asfericidad corneal (Q). El índice de Q nos indica ante qué geometría corneal nos encontramos, es decir, si se trata de una córnea prolata u oblata, al tiempo que nos informa del grado de asfericidad; o lo que es lo mismo, del cambio de la curvatura de la cara anterior corneal desde su centro a la periferia; es decir, la curvatura de 3 a 4 milímetros (mm) centrales.

Suponiendo que un valor de $Q=0$ se trata de una córnea con geometría esférica, en córneas prolatas nos encontraremos con una $Q < 0$ y en córneas oblatas $Q > 0$. Se conoce que la córnea humana tiene una forma prolata, con un valor de Q negativo promedio de $-0,27$.^{2,6,7}



Figura 2.- Representación de una superficie prolata, esférica y oblata.⁷

La córnea, en general, no representa una forma esférica, sino que tiene una forma levemente prolata, que indica que su curvatura va aplanándose según nos alejamos del centro a la periferia. Cuando nos referimos a la Q podemos encontrarnos, además de con la asfericidad, con los siguientes parámetros: el factor de forma o *shape factor* (p) y la excentricidad (e). Todos ellos tienen que ver con lo mismo, la geometría que presenta la córnea. En cualquier caso, en el ámbito de la cirugía refractiva, el más utilizado es Q o asfericidad. Estos tres términos se relacionan mediante las siguientes fórmulas:

$$Q = p - 1 \quad p = \left(\frac{b}{a}\right)^2 \quad e = \sqrt{1 - p}$$

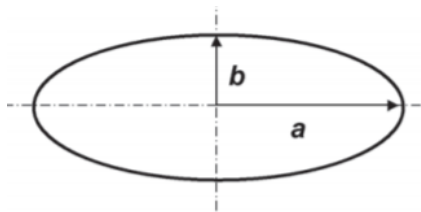


Figura 3.- En una elipse, si a es el semieje mayor y b el semieje menor, el valor p indica la relación entre b^2 y a^2 .⁶

Podemos decir entonces que, si se trata de una córnea con mayor aplanamiento periférico, córneas prolatas (con valor negativo de Q), el valor de e será mayor y que dicho valor aumenta con el grado de Q. Por el contrario, en las córneas que presenten menor aplanamiento periférico, es decir córneas oblatas con valor positivo de Q, el valor de e será menor.

$$Q = -e^2$$

A día de hoy, gracias a las investigaciones realizadas, podemos concluir que después de aplicar cirugía refractiva láser se producen cambios corneales desde la primera semana del postoperatorio. Las córneas pasan de tener valores de Q negativos a positivos; es decir, pasan de ser prolatas a oblatas y estos cambios dependen de factores como el tipo de láser usado o la cantidad de ametropía corregida, entre otros.⁶

Otro de los factores para tener en cuenta en este estudio es la profundidad de campo (PDC). Se trata de la zona que comprende desde el punto más

cercano al más lejano de nuestro campo visual que sea aceptable en cuanto a nitidez. Se trata de un parámetro que varía con estos cuatro factores: el tamaño del círculo de mínima confusión, la distancia focal, el diámetro pupilar y la distancia de enfoque.⁸

El ámbito donde más se ha investigado el efecto que tiene la Q es las técnicas quirúrgico- refractivas para la presbicia. En estas técnicas se modifica a voluntad la Q, lo que implica a su vez una alteración de la aberración esférica, de modo que se produce una multifocalidad que permite aumentar la profundidad de foco (PDF) y la PDC respectivamente. Sí que es cierto que la calidad visual con esta inducción de aberración esférica solo será óptima en el círculo de mínima confusión coincidente con la retina; siendo borrosa en el resto de focos.⁹

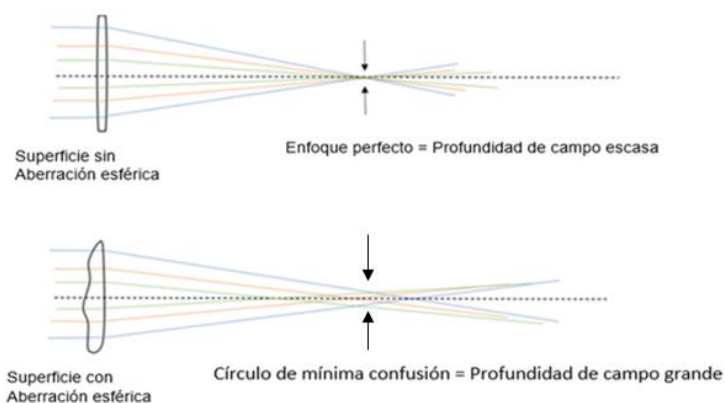


Figura 4.- PDC en un trazado de rayos sin y con aberración esférica.

En la imagen superior (**Fig. 4**), en ausencia de aberraciones, el frente de onda es casi esférico. La luz entrante se enfoca en un único punto, es decir, los rayos convergen en el plano de enfoque. Por ello, la PDC es pequeña y su dispersión se debe únicamente a la difracción por la apertura de la pupila. Sin embargo, en la imagen inferior (**Fig. 4**) nos encontramos con aberraciones esféricas que distorsionan el frente de onda de una superficie esférica perfecta. Los rayos de luz no convergen en un solo plano. En este caso la PDC aumenta.

Además, se ha estudiado la existencia de una estrecha relación entre el tamaño pupilar y la PDF. Se sabe que la disminución del diámetro pupilar aumenta la PDF por un efecto estenopeico; sin embargo, limita la iluminancia retiniana al reducir la luz disponible y del mismo modo, amplifica los efectos adversos de la difracción. El aumento de las HOAs, principalmente la aberración esférica, expandirá la PDC, pero también disminuirá la calidad visual. A pesar de ello, aún no se ha determinado la magnitud de las HOAs que permitirá una calidad visual aceptable y ampliará la PDF y la PDC, considerando la influencia del tamaño pupilar.⁹

Hasta la fecha no hay ninguna publicación que haya realizado comparaciones entre la Q, las HOAs y la PDC antes y después de la intervención de cirugía refractiva corneal mediante la técnica de ASA.

Por todo ello, consideramos existe una carencia en la investigación de la PDC en relación con el cambio de Q que se produce tras aplicar una técnica sustractiva, como es la ASA para la corrección de la miopía.

JUSTIFICACIÓN:

En la mayoría de las técnicas de cirugía refractiva corneal se inducen HOAs, debido a los cambios producidos en la Q por la alteración en la superficie anterior de la córnea.

Entendemos que es importante conocer cómo afecta el cambio de la Q tras la cirugía ASA para la corrección de la miopía, según diferentes diámetros pupilares y, además, valorar la repercusión que tiene en la calidad visual y PDC del paciente.

Creemos conveniente realizar un estudio en el que se analicen las posibles ventajas e inconvenientes que puede tener esta técnica con respecto a la PDC.

HIPÓTESIS:

El resultado final de una cirugía refractiva corneal se puede ver afectada por el diámetro de la zona óptica (\emptyset Zo), el de la zona de transición, el tipo de tratamiento y la cantidad de ablación aplicada debido a que de ello dependerá la agudeza visual (AV), la Q y la PDC postoperatorias.

Pensamos que la técnica ASA para la corrección de la miopía aplicando un tratamiento optimizado para cada sujeto modificará las aberraciones corneales, lo cual hará variar la PDC de cada individuo.

OBJETIVOS:

El objetivo principal de este estudio de investigación es determinar la variación que existe en la Q y en la PDC al realizar una cirugía refractiva corneal en pacientes miopes, por medio de la técnica ASA.

A su vez, nos planteamos los siguientes objetivos específicos:

- Describir la evolución de los pacientes a los 6 meses de haber sido corregidos de su defecto refractivo, observando los cambios producidos en los parámetros topográficos.
- Examinar la correlación entre la asfericidad de la superficie corneal anterior y las HOAs antes y después de la intervención de cirugía refractiva corneal.
- Analizar la relación entre el cambio de la Q y la PDC.

En cuanto a la zona de transición, lo que hace es suavizar los bordes de la ablación, fusionando combinaciones de esfera y cilindro, además de minimizar aberraciones del borde del tallado.

- La refracción que presentaban a los 6 meses de la cirugía refractiva, medida objetivamente con el autorrefractómetro Nidek ARK 30 (Nidek Technologies, Gamagori, Japan). Se anotó la media obtenida de las tres medidas que se habían realizado a cada ojo.

A continuación, para conocer los cambios que han tenido los parámetros corneales, tomamos los datos de dos topógrafos que permiten analizar de forma no invasiva la morfología y curvatura corneal.

- Galilei G4 Dual Scheimpflug analyzer (Ziemer Ophthalmic Systems AG, Port, Switzerland), sirvió para obtener el valor de la Q, la aberración esférica, comática y total (RMS) para diámetros pupilares simulados de 3, 4, 5 y 6 mm y la queratometría con sus respectivos ejes. Todas estas medidas fueron recogidas tanto de la visita preoperatoria como de la postoperatoria.



Figura 6.- Galilei G4.¹¹

- El topógrafo corneal Topolyzer WaveLight® (Alcon, Erlangen, Germany) nos aportó la cantidad de la e que presentaba cada sujeto antes de aplicar el tratamiento.



Figura 7.- Topolyzer WaveLight®.¹²

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se procedió al análisis estadístico de los resultados del estudio mediante el programa informático Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 26 para Windows, de la empresa International Business Machine (IBM).

Se realizaron dos tipos de análisis:

- Análisis descriptivo de las variables: edad, AVcc, Q y aberración esférica, comática y RMS para diámetros pupilares simulados de 3, 4, 5 y 6 mm.

Todas las variables son cuantitativas y se describen utilizando la media, desviación típica (DT), el intervalo de confianza (IC) del 95% para la media, la mediana (Med) y los valores máximo (Máx) y mínimo (Mín). Además, se comprueba la hipótesis de normalidad utilizando en contraste de Shapiro-Wilk (SW).

- Análisis inferencial:

Se empleó el test Shapiro-Wilk para contrastar la normalidad de la distribución de los datos. Para buscar posibles diferencias entre los resultados obtenidos de la AV, la Q y la aberración esférica, para diámetros pupilares de 3, 4, 5 y 6 mm, se evaluó la hipótesis de igualdad de medias utilizando el contraste t-Student para dos muestras independientes. En el caso en el que no se pueda asumir la normalidad se utiliza la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon, alternativa no paramétrica de la t-Student.

Para las correlaciones entre las distintas variables asumiendo la hipótesis de normalidad, se usa el coeficiente de correlación de Pearson. Sin embargo, para este estudio no se puede asumir esta hipótesis, por lo que se usó el coeficiente de correlación de Spearman (ρ). Considerando una correlación baja 0 – 0.25, correlación media 0.25 – 0.5, correlación moderada 0.5 – 0.75 y correlación alta 0.75 - 1.

Son considerados estadísticamente significativos aquellos p- valores inferiores a 0,05. Quedarán al borde de la significancia las variables cuya p- valor quede comprendida entre 0,05 y 0,1.

RESULTADOS:

En este estudio clínico se analizaron 28 pacientes con edades comprendidas entre los 21 y los 57 años, siendo la media de edad de 31,21 años. Entre esos 28 pacientes escogidos se encuentran 15 mujeres y 13 hombres. De los datos de los ojos analizados, obtenemos que 16 casos se trataban del OD y los otros 12 del OI. A todos ellos se les aplicó un ØZo entre 6,5 y 8 mm y un Øt de 9 mm.

Tabla 1.- AV del preoperatorio y postoperatorio.

	N	Media	DT	IC 95% para la media		Med	Mín	Máx	H ₀ : normalidad	
				Inf.	Sup.				SW	p-valor
AV _{cc} pre	28	1,03	0,17	0,96	1,09	1,00	0,63	1,25	0,88	0,005
AV post	28	1,19	0,19	1,12	1,27	1,25	0,63	1,60	0,83	<0,001

DT= desviación típica; IC= intervalo de confianza; Med= mediana; Mín= mínimo; Máx= máximo; SW= Shapiro- Wilk.

La media muestral de la AV_{cc} preoperatoria resultó de 1,03 en la escala decimal. Tras el tratamiento, la media muestral de la AV resultó ser de 1,19 en la escala decimal.

Tabla 2.- Análisis de la asfericidad corneal (Q).

	N	Media	DT	IC 95% para la media		Med	Mín	Máx	H ₀ : normalidad	
				Inf.	Sup.				SW	p-valor
Asf (Q) pre	28	-0,11	0,15	-0,17	-0,57	-0,14	-0,38	0,43	0,84	0,001
Asf (Q) post	28	0,02	0,29	-0,09	0,13	-0,04	0,43	0,87	0,89	0,01

DT= Desviación típica; IC= Intervalo de confianza; Med= Mediana; Mín= Mínimo; Máx=Máximo; SW= Shapiro- Wilk

La Q para los 8 mm de córnea central antes de realizar la intervención presentó una media de -0,11, mientras que después de la cirugía se obtuvo una media de 0,02.

Tabla 3.- La aberración esférica para los diámetros pupilares de 3, 4, 5 y 6 mm, tanto en el preoperatorio como en el postoperatorio.

	N	Media	DT	IC 95% para la media		Med	Mín	Máx	H ₀ : normalidad	
				Inf.	Sup.				SW	p-valor
ABesf 3 pre	28	0,017	0,006	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	0,78	<0,001
ABesf 4 pre	28	0,055	0,013	0,05	0,06	0,06	0,02	0,08	0,91	0,023
ABesf 5 pre	28	0,129	0,035	0,11	0,14	0,13	0,07	0,24	0,92	0,032
ABesf 6 pre	28	0,257	0,093	0,22	0,29	0,25	0,13	0,61	0,84	<0,001
ABesf 3 post	28	0,006	0,010	0,002	0,01	0,01	-0,01	0,02	0,88	0,003
ABesf 4 post	28	0,041	0,027	0,03	0,05	0,04	0,01	0,10	0,91	0,017
ABesf 5 post	28	0,146	0,070	0,12	0,17	0,14	0,04	0,31	0,94	0,119
ABesf 6 post	28	0,391	0,169	0,32	0,46	0,39	0,09	0,76	0,97	0,567

DT= Desviación típica; IC= Intervalo de confianza; Med= Mediana; Mín= Mínimo; Máx=Máximo; SW= Shapiro- Wilk

Las medias de las aberraciones esféricas en condiciones preoperatorias fueron mayores a las postoperatorias para los diámetros pupilares de 3 y 4 mm; sin embargo, en el caso de 5 y 6 mm aumentaron tras la intervención.

Tabla 4.- Aberración comática para los diferentes diámetros pupilares.

	N	Media	DT	IC 95% para la media		Med	Mín	Máx	H ₀ : normalidad	
				Inf.	Sup.				SW	p- valor
Coma 3 pre	28	0,040	0,020	0,03	0,05	0,04	0,01	0,09	0,89	0,007
Coma 4 pre	28	0,088	0,041	0,07	0,10	0,08	0,03	0,17	0,93	0,069
Coma 5 pre	28	0,169	0,073	0,14	0,20	0,17	0,07	0,33	0,94	0,128
Coma 6 pre	28	0,290	0,119	0,24	0,34	0,28	0,12	0,57	0,95	0,156
Coma 3 post	28	0,043	0,021	0,03	0,05	0,04	0,01	0,11	0,91	0,017
Coma 4 post	28	0,103	0,059	0,08	0,13	0,09	0,03	0,32	0,82	<0,001
Coma 5 post	28	0,210	0,127	0,16	0,26	0,18	0,06	0,69	0,78	<0,001
Coma 6 post	28	0,373	0,217	0,29	0,46	0,32	0,14	1,19	0,77	<0,001

DT= Desviación típica; IC= Intervalo de confianza; Med= Mediana; Mín= Mínimo; Máx=Máximo; SW= Shapiro- Wilk

En cuanto al grado de aberración comática corneal, éste presentó valores menores en el preoperatorio frente al postoperatorio.

Tabla 5.- Análisis de la aberración total (RMS).

	N	Media	DT	IC 95% para la media		Med	Mín	Máx	H ₀ : normalidad	
				Inf.	Sup.				SW	p- valor
RMS 3 pre	28	0,413	0,142	0,36	0,47	0,41	0,23	0,89	0,9	0,012
RMS 4 pre	28	0,667	0,237	0,58	0,76	0,67	0,35	1,47	0,89	0,01
RMS 5 pre	28	0,926	0,331	0,79	1,05	0,92	0,47	1,97	0,92	0,039
RMS 6 pre	28	1,172	0,412	1,01	1,33	1,15	0,62	2,21	0,94	0,133
RMS 3 post	28	0,643	0,197	0,57	0,72	0,65	0,25	1,08	0,96	0,284
RMS 4 post	28	1,086	0,328	0,96	1,21	1,09	0,41	1,81	0,97	0,537
RMS5 post	28	1,526	0,453	1,35	1,70	1,52	0,56	2,53	0,98	0,824
RMS6 post	28	1,833	0,537	1,62	2,04	1,85	0,66	3,11	0,98	0,871

DT= Desviación típica; IC= Intervalo de confianza; Med= Mediana; Mín= Mínimo; Máx=Máximo; SW= Shapiro- Wilk

La media muestral que presentó el RMS para los diferentes diámetros pupilares antes de la intervención resultó ser menor que la del postoperatorio.

Se realizó el test Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de la muestra, planteándose como hipótesis nula (H₀) que la muestra proviene de una población normalmente distribuida. Como se puede observar en las cinco tablas, existen variables cuya significancia es menor que α (0,05) por lo que se rechaza H₀, concluyendo que la AV, la Q y las aberraciones esféricas, comáticas y RMS totales no provienen de una población normalmente distribuida. Sin embargo, en las aberraciones esféricas para los diámetros de 5 y 6 mm se acepta la H₀, por lo que analizaremos dichas variables con una prueba t para muestras relacionadas.

Al determinar que la muestra no proviene de una población normalmente distribuida, se realizó el test de rangos con signo de Wilcoxon para la diferencia entre la AV, la Q y la aberración esférica, considerando como hipótesis nula que la diferencia entre ambas variables es 0.

Tabla 6.- Análisis con test de rangos con signo de Wilcoxon.

	N	Medi a	DT	IC 95% para la media		Med	Mín	Máx	H ₀ : igualdad de medidas	
				Inf	Sup				Wilcoxon	p- valor
AV _{cc} pre	28	1,03	0,17	0,96	1,09	1,00	0,63	1,25	-2,848 ^b	0,004
AV post	28	1,19	0,19	1,12	1,27	1,25	0,63	1,60		
Asf (Q) pre	28	-0,11	0,15	-0,17	-0,57	-0,14	-0,38	0,43	-3,168 ^b	0,002
Asf (Q) post	28	0,02	0,29	-0,09	0,13	-0,04	0,43	0,87		
ABesf 3 pre	28	0,017	0,006	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	-3,734 ^c	<0,001
ABesf 3 post	28	0,006	0,010	0,002	0,01	0,01	-0,01	0,02		
ABesf 4 pre	28	0,055	0,013	0,05	0,06	0,06	0,02	0,08	-2,927 ^c	0,003
ABesf 4 post	28	0,041	0,027	0,03	0,05	0,04	0,01	0,10		
ABesf 5 pre*	28	0,129	0,035	0,11	0,14	0,13	0,07	0,24	-1,750*	0,092*
ABesf 5 post*	28	0,146	0,070	0,12	0,17	0,14	0,04	0,31		
ABesf 6 pre*	28	0,257	0,093	0,22	0,29	0,25	0,13	0,61	-5,695*	<0,001*
ABesf 6 post*	28	0,391	0,169	0,32	0,46	0,39	0,09	0,76		

DT= Desviación típica; IC= Intervalo de confianza; Med= Mediana; Mín= Mínimo; Máx=Máximo. En los casos que se muestran con (*) se utilizó el test paramétrico T -student.

Para las variables que comparan la AV, la Q y la aberración esférica para los diámetros pupilares de 3, 4 y 6 mm, el p-valor resultó <0,05, existiendo una diferencia sistemática significativa entre los valores en el preoperatorio y postoperatorio. Como se muestra en la aberración esférica para un diámetro pupilar de 5 mm no difirió de manera significativa.

Posteriormente, se utilizó el test de correlación rho de Spearman para evaluar la existencia de correlación entre las diferentes variables a estudiar. Se buscó la correlación entre las variables equivalente esférico (EE) del tratamiento y la profundidad de ablación realizada junto con la Q y la aberración esférica, el coma y el RMS para los diferentes diámetros pupilares.

Tabla 7.- Asociación entre las variables EE, ablación y asfericidad.

VARIABLES		N	rho	H ₀ : rho= 0
				p- valor
EQ. ESFÉRICO	Asf (Q) pre	28	0,094	0,633
	Asf (Q) post	28	-0,070	0,723
ABLACIÓN	Asf (Q) pre	28	-0,082	0,678
	Asf (Q) post	28	-0,076	0,701

Ninguna de ellas resulta estadísticamente significativa.

Tabla 8.- Correlación entre las variables EE y ablación con la aberración esférica.

VARIABLES		N	rho	H ₀ : rho= 0
				p- valor
EQ. ESFÉRICO	ABesf 3 pre	28	-0,209	0,286
	ABesf 4 pre	28	-0,076	0,700
	ABesf 5 pre	28	-0,127	0,518
	ABesf 6 pre	28	-0,140	0,478
	ABesf 3 post	28	0,454	0,015
	ABesf 4 post	28	0,299	0,122
	ABesf 5 post	28	-0,043	0,830
	ABesf 6 post	28	-0,350	0,068
ABLACIÓN	ABesf 3 pre	28	0,161	0,413
	ABesf 4 pre	28	0,015	0,940
	ABesf 5 pre	28	0,075	0,704
	ABesf 6 pre	28	0,140	0,478
	ABesf 3 post	28	-0,350	0,068
	ABesf 4 post	28	-0,355	0,064
	ABesf 5 post	28	-0,152	0,440
	ABesf 6 post	28	0,148	0,453

Observando las tablas 7 y 8 concluimos que existe una correlación directa significativa entre los parámetros EE y la aberración esférica para 3 mm del postoperatorio. Además, la aberración esférica para 6 mm del postoperatorio muestra una correlación negativa que está cerca de la significancia estadística con un p -valor de 0,068. Respecto a la correlación entre la ablación y las aberraciones esféricas, podemos ver que existe una correlación al borde de la significancia para los diámetros pupilares de 3 y 4 mm tras la intervención. En cuanto al resto de variables no se encuentra una correlación estadísticamente significativa.

Tabla 9.- Análisis entre las variables: EE, ablación y aberración comática.

VARIABLES		N	rho	H ₀ : rho= 0
				p- valor
EQ. ESFÉRICO	COMA 3 pre	28	0,105	0,595
	COMA 4 pre	28	0,083	0,673
	COMA 5 pre	28	0,107	0,589
	COMA6 pre	28	0,140	0,477
	COMA 3 post	28	-0,081	0,683
	COMA4 post	28	-0,181	0,357
	COMA5 post	28	-0,180	0,359
	COMA 6 post	28	-0,212	0,278
ABLACIÓN	COMA 3 pre	28	0,007	0,972
	COMA 4 pre	28	0,031	0,876
	COMA 5 pre	28	-0,042	0,833
	COMA6 pre	28	-0,085	0,668
	COMA 3 post	28	0,037	0,852
	COMA4 post	28	0,184	0,347
	COMA5 post	28	0,209	0,285
	COMA 6 post	28	0,247	0,204

En la tabla 9 no encontramos ningún parámetro que se correlacione de manera estadísticamente significativa.

Tabla 10.- Análisis entre las variables: EE, ablación y RMS total.

VARIABLES		N	rho	H ₀ : rho= 0
				p- valor
EQ. ESFÉRICO	RMS 3 pre	28	-0,096	0,626
	RMS 4 pre	28	-0,114	0,564
	RMS 5 pre	28	-0,098	0,619
	RMS 6 pre	28	-0,096	0,626
	RMS 3 post	28	-0,489	0,008
	RMS 4 post	28	-0,562	0,002
	RMS 5 post	28	-0,591	0,001
	RMS 6 post	28	-0,594	0,001
ABLACIÓN	RMS 3 pre	28	0,150	0,445
	RMS 4 pre	28	0,185	0,346
	RMS 5 pre	28	0,195	0,320
	RMS 6 pre	28	0,181	0,357
	RMS 3 post	28	0,347	0,070
	RMS 4 post	28	0,441	0,019
	RMS 5 post	28	0,492	0,008
	RMS 6 post	28	0,518	0,005

Podemos concluir, como se muestra en la tabla 10, que existe una correlación inversa significativa entre las variables EE y el RMS total tras la intervención para todos los diámetros pupilares. Asimismo, observamos una correlación directa significativa entre la ablación y el RMS total postoperatorio para los diámetros pupilares de 4, 5 y 6 mm. Finalmente, vemos que queda al borde de la significancia la correlación positiva entre la ablación y el RMS total postoperatorio para 3 mm.

DISCUSIÓN:

Los resultados obtenidos en este estudio evidencian una variación en la Q tras realizar una cirugía queratorrefractiva en pacientes miopes, presentando una forma corneal más oblata a los 6 meses de la intervención. Además, se observa una mejora en la AV_{sc} a pesar de sufrir un aumento, estadísticamente significativo en algunos casos, en las HOAs.

Asimismo, podemos observar que la aberración esférica para los diámetros pupilares de 3 y 4 mm son los que más correlación significativa presentan tanto de EE como de la profundidad de ablación. Sin embargo, en cuanto a la aberración comática podemos ver un pequeño aumento en las medias entre el preoperatorio y el postoperatorio, pero sin encontrar ninguna asociación estadísticamente significativa.

DISCUSIÓN DE LOS MÉTODOS:

Se realizó una revisión de las historias clínicas de los 28 pacientes seleccionados, anteriormente intervenidos mediante ASA, para obtener los datos de las variables necesarias. No se hizo un estudio donde se realizasen las pruebas de medición de la AV, la refracción objetiva y la subjetiva, la queratometría, la topografía, la paquimetría, etc. a cada sujeto puesto que nos llevaría más tiempo del que disponemos para llevar a cabo el estudio completo.

Para obtener datos como la Q, la aberración esférica, el coma y el RMS total para diferentes diámetros de 3, 4, 5 y 6 mm; comparando la variación del estado inicial y tras el tratamiento optamos por utilizar la base de datos que proporciona el sistema Galilei G4. Comparando con el resto de topógrafos que hay en el mercado a día de hoy es el más completo para este estudio de investigación, puesto que se posiciona como la mejor solución para las cirugías refractivas corneales, cirugías de catarata y de compensación de la presbicia. Esto indica que sirve para valorar si un paciente es buen candidato a la cirugía refractiva láser excluyendo a los que presentan indicios de queratocono, astigmatismos irregulares o paquimetrías finas; a su vez, determinar qué tipo de cirugía debe aplicarse y hacer el seguimiento postoperatorio. Además, se trata de un topógrafo de elección para este tipo de cirugías ya que garantiza la seguridad durante la intervención.^{13,14}

Finalmente, el Topolyzer WaveLight® nos sirvió para obtener el valor de la e que presentaba cada sujeto antes de la intervención para conseguir la mejor precisión en las medidas realizadas. Este dato fue contrastado con la Q en la tabla de Excel, comprobando que había una relación entre ambas variables.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS:

Como cabía prever, encontramos una mejora en la AV_{sc} en el postoperatorio de los 28 sujetos, además de encontrarnos con un cambio en la Q pasando de córneas prolatas a oblatas; o con un perfil menos prolato que antes de la intervención. Esto concuerda con los resultados obtenidos por otros investigadores que también estudiaron la Q y las HOAs en pacientes miopes.^{2,6}

En cuanto a la aberración esférica observamos que disminuye para los diámetros pupilares de 3 y 4 mm tras aplicar la técnica ASA. Sin embargo, para los diámetros de 5 y 6 mm vemos que aumenta la variable, presentando un p-valor que no es estadísticamente significativo. El aumento de la aberración

esférica en estos diámetros podría deberse al efecto óptico que se crea en la zona de transición entre la córnea y no tratada, pudiendo afectar a la Q, ya que a la mayoría se les aplicó una zona óptica de unos 6mm. Los resultados obtenidos guardan cierta relación con otros estudios^{5,15}, donde analizaron que la zona de transición fue representada por una aberración esférica de mayor grado al que se obtuvo en la zona fotoablacionada.

La aberración comática aumenta en el postoperatorio para los diferentes diámetros pupilares, pero lo hace de una manera muy sutil, ya que apenas afecta a la calidad visual que presentan a los seis meses. Una de las limitaciones observadas en otros estudios^{16,17} es el posible descentramiento entre las zonas tratadas y el centro de la pupila. Como han informado otros autores¹⁷, estas diferencias pueden tener repercusiones en las aberraciones comáticas.

A diferencia del resto de parámetros, el RMS total para los cuatro diámetros pupilares es el que mayor aumento presenta tras la intervención quirúrgica. Esto indica que el RMS total distorsiona el frente de onda de la cara anterior de la córnea haciendo que los rayos de luz no converjan en un solo plano y, por lo tanto, aumentando la PDC. Sin embargo, no llegan a afectar a la calidad visual final del paciente. Además, el diámetro pupilar va disminuyendo con la vejez por lo que no van a apreciar tan frecuentemente las aberraciones existentes en los diámetros de 5 y 6 mm. Como bien indican ciertas investigaciones⁶, el diámetro pupilar puede ser un factor de riesgo para las alteraciones de la visión nocturna, pero sólo cuando es mayor que la zona óptica puesto que, cuando el tamaño de la pupila superaba el diámetro de la zona óptica, el RMS aumentaba.

LIMITACIONES DEL ESTUDIO:

Como en toda investigación, este estudio posee unas limitaciones:

Una de las limitaciones que presenta este estudio es que el tamaño muestral es reducido. En un principio el número de pacientes llegaba a los 88 sujetos, pero a la hora de seleccionar información de la base de datos del Galilei G4, se observó que en 60 de ellos no estaban guardados los datos de las visitas anteriores. Por lo que se acabaron escogiendo 28 pacientes miopes intervenidos con ASA y que cumplieran con la revisión a los seis meses de postoperatorio. Sin embargo, la muestra fue lo suficientemente representativa como para que la información acumulada permitiese encontrar asociaciones estadísticamente significativas.

La segunda limitación es que en muchos pacientes no se pudo anotar la refacción objetiva tomada con el autorrefractómetro en la visita a los seis meses de la intervención, ya que no estaba plasmada en la historia clínica del mismo. Por lo que en el análisis estadístico y en la correlación no se ha podido incluir esta variable para analizarla con el resto. Esta limitación se compensó analizando la correlación del EE aplicado en el tratamiento y la profundidad de ablación con el resto de las variables.

CONCLUSIONES:

Tras los análisis realizados en este estudio, podemos concluir de modo general que:

- La asfericidad corneal varía tras aplicar la ablación de superficie avanzada para la corrección de la miopía, por lo que la profundidad de campo también varía, pero sin llegar a afectar significativamente la calidad visual de los sujetos.

De manera más específica, extraemos las siguientes conclusiones:

- A los seis meses de la intervención vemos que hay una mejora en los 28 pacientes puesto que aumenta tanto la AV como la PDC, tratando la miopía inicial mediante una técnica personalizada para cada sujeto.

- La asfericidad corneal sufre un cambio tras la intervención para la corrección de la miopía, pasando de valores de Q negativos a positivos; es decir, de córneas prolatas a oblatas. Además, se produce un aumento de las aberraciones corneales esféricas, afectando en mayor grado a los diámetros pupilares a partir de los 5 milímetros, y RMS totales para los cuatro diámetros estudiados.

- El aumento producido en las aberraciones corneales y el cambio de la asfericidad afecta en la profundidad de campo haciendo que se produzca una multifocalidad en el sujeto y que éste tenga un rango mayor de visión nítida sin necesidad de compensación óptica adicional.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Chao S, Huang M, Chen H-CJ. Overview of Laser Refractive Surgery.
2. Sánchez Rivera CA, Mayorga MT. Variación de la asfericidad corneal en pacientes miopes sometidos a cirugía refractiva LASIK (Laser-Assisted in Situ Keratomileusis) o LASEK (Laser-Assisted Subepithelial Keratomileusis). *Cienc Tecnol para la Salud Vis y Ocul.* 2016;14(2):71.
3. Turek M, Dydo P. O Ptimisation of E Lctrodialytic D Esalination. 2001;1–4.
4. Chuck RS, Jacobs DS, Lee JK, Afshari NA, Vitale S, Shen TT, et al. Refractive Errors & Refractive Surgery Preferred Practice Pattern®. *Ophthalmology.* 2018;125(1):P1–104.
5. Smadja D, Reggiani-Mello G, Santhiago MR, Krueger RR. Wavefront ablation profiles in refractive surgery: Description, results, and limitations. *J Refract Surg.* 2012;28(3):224–32.
6. Calossi A. Corneal asphericity and spherical aberration. *J Refract Surg.* 2007;23(5):505–14.
7. Ribeiro Oculare G. Aberrometry in cataract surgery Narrative Literature Review. 2017 [cited 2020 Apr 20];3(3). Available from: www.eoftalmo.org.br<http://dx.doi.org/10.17545/eOftalmo/2017.94><http://dx.doi.org/10.17545/eOftalmo/2017.94>
8. Zapata-Díaz JF, Marín-Franch I, Radhakrishnan H, López-Gil N. Impact of higher-order aberrations on depth-of-field. *J Vis.* 2018;18(12):1–11.
9. Mello GR, Rocha KM, Santhiago MR, Smadja D, Krueger RR. Applications of wavefront technology. *J Cataract Refract Surg [Internet].* 2012;38(9):1671–83. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcrs.2012.07.004>
10. ETDRS Acuity Testing with the Standardized ESV-3000 [Internet]. [cited 2020 May 14]. Available from: <http://www.vectorvision.com/etdrs-acuity-esv/>
11. Galilei G4 - IMEX, FUTURE IN SIGHT [Internet]. [cited 2020 Apr 24]. Available from: <https://www.imex.es/galilei-g4/>
12. Videopupímetro - WaveLight® Topolyzer™ VARIO - Alcon - queratómetro automático / topógrafo corneal / de mesa [Internet]. [cited 2020 May 22]. Available from: <https://www.medicalexpo.es/prod/alcon/product-80586-717050.html>
13. Corneal Galilei_G4_Es_V1 T. Galilei G4 [Internet]. [cited 2020 May 22]. Available from: www.imex.es
14. Galilei G4 [Internet]. [cited 2020 May 23]. Available from: <https://rosinov.com/catalogo/galilei-g4/#descripcion>
15. Alarcón A, Rubiño M, Pérez-Ocón F, Jiménez JR. Theoretical analysis of the effect of pupil size, initial myopic level, and optical zone on quality of vision after corneal refractive surgery. *J Refract Surg.* 2012;28(12):901–5.
16. Queirós A, Villa-Collar C, Jorge J, Gutiérrez ÁR, González-Méijome JM. Multi-aspheric description of the myopic cornea after different refractive treatments and its correlation with corneal higher order aberrations. *J Optom [Internet].* 2012;5(4):171–81. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.optom.2012.08.002>
17. Lu F, Wu J, Qu J, Wang Q, Xu C, Zhou X, et al. Association between offset of the pupil center from the corneal vertex and wavefront aberration. *J Optom.* 2008;1(1):8–13.