



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Aberraciones oculares en pacientes con glaucoma

Autora

Maitane González Aizpun

Directores

Isabel Pinilla Lozano

Francisco Javier Segura Calvo

Facultad de Ciencias
Grado en Óptica y Optometría

Curso 2014-2015

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Hipótesis	4
3. Objetivos	4
4. Material y métodos	4
4.1. Población de estudio y protocolo de medida	4
4.2. Aberrómetro i-Trace	5
4.3. Análisis estadístico	5
5. Resultados	5
6. Discusión	15
7. Conclusiones	16
8. Bibliografía	17

RESUMEN:

En este Trabajo de Fin de Grado se comprobará el incremento de las aberraciones oculares en pacientes sometidos a una cirugía no perforante de glaucoma. Para ello se medirán las aberraciones oculares mediante un aberrómetro de trazado real de rayos antes y después de la operación en diferentes intervalos temporales.

1. Introducción:

El glaucoma es una neuropatía óptica progresiva que presenta una pérdida de axones de las células ganglionares de la retina. Esta enfermedad es la segunda causa de ceguera en el mundo¹ y se asocia con ciertos factores de riesgo, entre los que destaca el aumento de la presión intraocular (PIO). La presencia de PIO elevada no implica tener glaucoma, puesto que aproximadamente solo un 10% de los sujetos hipertensos oculares desarrolla glaucoma². Sin embargo, hay que considerar la hipertensión ocular como un factor de riesgo principal.

El glaucoma primario de ángulo abierto (GPAA), también denominado glaucoma crónico simple, es una enfermedad generalmente bilateral de inicio adulto, caracterizada por una PIO mayor de 21mmHg que produce un fallo en el drenaje del humor acuoso (HA). El ángulo que subtiende el iris respecto a la córnea es amplio y abierto³, mayor de 30°. Esta neuropatía óptica está caracterizada por una lesión glaucomatosa del nervio óptico y una pérdida característica del campo visual con la progresión de la lesión, así como la ausencia de signos de glaucoma secundario o una causa no glaucomatosa para la neuropatía óptica.

Son diversos los factores de riesgo que acompañan a esta enfermedad, empezando por la PIO alta, que incrementa la probabilidad de glaucoma, así como los pacientes de edad avanzada. La raza también es un factor relevante: la afroamericana pueden dar valores mayores de PIO, al contrario que los sujetos caucásicos. También se han dado casos de un valor de PIO bajo en sujetos orientales.

Los antecedentes familiares son un factor de riesgo importante, ya que el riesgo aproximado en hermanos es cuatro veces mayor, y el de la descendencia dos veces mayor que el riesgo en la población normal. Ciertas enfermedades como diabetes mellitus y de tipo vascular, sugieren una correlación con el GPAA. Cabe mencionar que los ojos miopes son más susceptibles de desarrollar una lesión glaucomatosa.

El principal objetivo del tratamiento de GPAA es evitar la afectación funcional de la visión durante la vida del paciente, lentificando la tasa de pérdida de células ganglionares, de forma que se mantenga próxima a la de la población normal (5000/año)⁴.

El único método terapéutico actual es disminuir la PIO, ya sea por tratamiento médico o quirúrgico. Como primera opción se opta por el tratamiento médico generalmente tópico, donde hay cinco grandes grupos de medicamentos: mióticos, betabloqueantes, alfa-agonistas, prostaglandinas y inhibidores de anhidrasa carbónica. Los mióticos reducen la PIO a merced de la contracción del músculo ciliar. Los alfa-agonistas al igual que los inhibidores de la anhidrasa carbónica, disminuyen la secreción del HA, pero además favorecen el drenaje uveoescleral. Los

betabloqueantes reducen la producción del HA a nivel de los procesos ciliares; por el contrario, los análogos a los prostaglandinas, aumentan el drenaje de HA a través de la vía uveoescleral⁵.

Otro tipo de tratamiento es la trabeculoplastia con láser. Se actúa sobre el trabéculo para aumentar el drenaje de HA y en consecuencia disminuir la PIO. Las principales indicaciones para este tratamiento son:

- Intolerancia a la medicación tópica.
- Ineficacia del tratamiento médico.
- Evitar la polimedicación: el tratamiento láser puede ser un sustituto de otro fármaco.
- Evitar el tratamiento quirúrgico.

La trabeculectomía es hasta la fecha el tratamiento más eficaz para frenar esta enfermedad. Esta técnica reduce la PIO al crear una fístula o filtrado que permite el drenaje del HA de la cámara anterior (CA) al espacio subconjuntival³. En este trabajo de fin de grado, nos centraremos en uno de las técnicas quirúrgicas, la esclerotomía profunda no perforante (EPNP).

La EPNP es una técnica menos invasiva. Esta cirugía está indicada sobre todo en GPAA, y tiene como objetivo mejorar el drenaje de HA a través de una membrana de pocas micras de profundidad que actúa generando una resistencia parcial al flujo de salida, pero que permite la reducción de la PIO por filtración³. Se busca una menor dependencia del proceso cicatricial de la ampolla de filtración y la restitución de las vías de drenaje de la forma más fisiológica posible⁵.

La EPNP es mucho menos invasiva que la técnica perforante, ya que evita la apertura directa de la CA y no provoca una salida excesiva del HA, disminuyendo así los riesgos de descompensación del ojo o hipotonías severas en el postoperatorio. Sin embargo, produce un menor efecto hipotensor que la cirugía perforante, y es por eso que aún está en evolución y se está investigando en aumentar este efecto con diferentes implantes o con modificaciones en la técnica original.

La cirugía, aún con variaciones, consistiría en los siguientes pasos. En primer lugar la creación de un colgajo conjuntival habitualmente de base fórnix. A continuación, se realiza un colgajo escleral de 5,00 x 5,00 mm aproximadamente al 50% de profundidad. Este colgajo escleral debe penetrar en córnea clara hasta 1 mm. Se procede a hacer un segundo colgajo escleral de 3,75 x 3,75 mm aproximadamente y se disecciona hasta alcanzar casi el espesor total de la esclera. Este último colgajo revela una fina capa de esclera sobre la coroides. A nivel del espolón escleral, se crea una fenestración de 3,75 mm de largo y 1,5 mm de ancho sobre el canal de Schlemm, exponiendo así la parte posterior de la malla trabecular y la membrana de Descemet adyacente. Por último se elimina el colgajo escleral profundo, y con una pinza fina se pelan las fibras yuxtacanaliculares con el fin de aumentar la filtración de HA desde la CA al espacio subconjuntival⁶.

Por otro lado, para poder hablar de las aberraciones ópticas, es preciso comenzar explicando los frentes de onda. El frente de onda es aquella superficie perpendicular a todos los rayos prominentes de un punto objeto. En un sistema óptico perfecto, el frente de onda sería

esférico y los rayos convergerían en un punto único al que denominamos foco. A partir de aquí denominaremos aberración de onda a la diferencia de superficie de un frente de onda real con el de referencia o ideal, es decir, esférico (Figura 1).

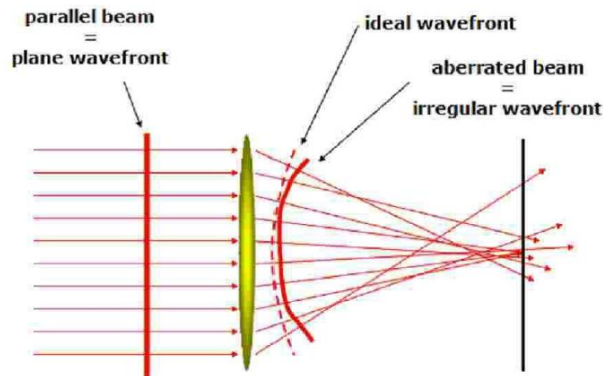


Figura 1. Frente de onda plano y aberrado.

En 1939, Fritz Zernike publicó una serie de polinomios que forman una base ortonormal, de forma que cualquier frente de onda se puede descomponer en una serie de contribuciones de estos polinomios (Figura 2). Por lo tanto, se puede expresar la aberración de onda total como una suma de todos los polinomios o modos de Zernike.

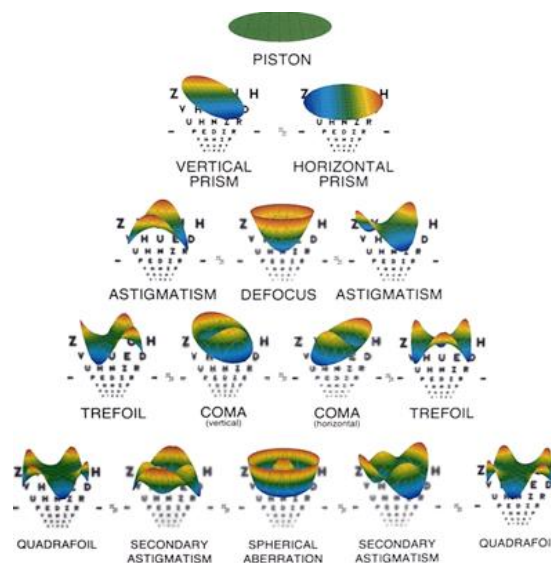


Figura 2. Representación de modos de Zernike.

El coeficiente RMS (Root Mean Square) es una medida de la desviación total del frente de ondas. Se calcula haciendo la raíz cuadrada de la suma de los diferentes coeficientes de Zernike al cuadrado. De manera que, si el frente de onda medido es igual al frente de onda ideal, el RMS sería igual a 0. Abarca toda la extensión de la pupila de entrada y está medida en unidades de longitud, μm .

Entre las diferentes técnicas de medición de las aberraciones oculares, para este trabajo se ha usado la técnica de trazado real de rayos.

2. Hipótesis:

Hay un incremento de las aberraciones oculares del paciente tras la realización de una cirugía de esclerotomía profunda no perforante (EPNP).

3. Objetivos:

Primario: - Analizar el cambio de las aberraciones oculares en pacientes sometidos a EPNP.

Secundarios: - Medir las aberraciones oculares mediante un aberrómetro de trazado de rayos.
- Analizar la evolución de las aberraciones oculares en diferentes intervalos temporales.

4. Materiales y métodos:

4.1. Población de estudio y protocolo de medida:

En este trabajo de fin de grado, se ha estudiado a un total de 6 pacientes, entre ellos 2 mujeres y cuatro hombres. Se les midió individualmente aquellos ojos operados de EPNP, antes y después de la cirugía, un total de 8 ojos. La edad de los sujetos varía entre 40-81 años.

Con el objetivo de determinar cómo varían las aberraciones oculares tras una EPNP, se ha hecho un seguimiento de cada paciente, empezando el día anterior a la intervención.

Después de la cirugía, se realizaron medidas periódicas al día siguiente a la semana, al mes, tres meses, seis meses, nueve meses, y al año de la operación. Sin embargo, no a todos los pacientes se les pudo hacer el mismo seguimiento, por lo que los intervalos temporales no coinciden.

La toma de medidas fue hecha por la mañana con el aberrómetro ocular i-Trace de Tracey Technologies. Utilizando este instrumento se midieron las aberraciones oculares de cada paciente monocularmente.

Se utilizó una luz ambiente tenue, para obtener el mayor diámetro pupilar posible. Sin embargo, debido a la edad de los pacientes y a la propia cirugía que puede modificar la forma de la pupila, los diámetros pupilares obtenidos fueron pequeños. Si la pupila no alcanzaba el diámetro mínimo, se atenuaban las condiciones de iluminación.

Se realizaron tres medidas por ojo en cada intervalo temporal.

4.2. Aberrómetro i-Trace

Hay varios tipos de aberrómetro, y el i-Trace es del tipo trazado real de rayos, capaz de medir las aberraciones totales del ojo.

El método de trazado de rayos se basa en lanzar un haz de rayos láser paralelos al eje a través de la pupila de entrada que llega a la retina refractándose por las diferentes estructuras del ojo. La posición de escaneo y el patrón de los haces puede variar en función del tamaño pupilar.

Dispara 64 puntos láser cuatro veces, en total 256 puntos de láser infrarrojo del orden de 100 μm a 780 nm paralelos al eje de mirada del ojo. Debido a las aberraciones localizadas en córnea y las estructuras internas, se produce un cambio en la localización del impacto del punto láser en retina. Se hace una captura de la luz dispersada en retina y que después focaliza en una matriz de detectores lineales del propio aberrómetro. A continuación, el haz láser se mueve a otra posición y se determina la localización de esta nueva posición en retina.

Una vez proyectado una serie de puntos secuencialmente a través de la pupila de entrada, el software del aberrómetro crea una simulación de un diagrama de impactos en la retina.

Este aberrómetro presenta una serie de ventajas frente a otro tipo de aberrómetros: se hace una captura secuencial de datos, la entrada del haz láser es controlada por un software, así el sistema puede rastrear el tamaño de la pupila de entrada y proyectar los 256 puntos láser en pupilas de 2 a 8 mm de diámetro y por último, cada punto láser proyectado a través de la pupila es medido por separado usando un detector lineal, siendo más precisa la detección del centro de cada punto.

4.3. Análisis estadístico

Los datos de las medidas realizadas se introdujeron en una hoja de cálculo de Microsoft Office Excel. A partir de tres medidas realizadas a cada paciente por sesión, se calculó la media de cada aberración ocular de forma individual, así como los valores de RMS.

5. Resultados

En la Tabla 1 se observan los datos medios de los coeficientes de Zernike, y los cálculos de los valores RMS expresados en micras, para cada uno de los ojos analizados. Únicamente se han analizado hasta los polinomios de 3er orden (Coma Vertical, Coma Horizontal, Trébol X y Trébol Y) y la Aberración Esférica de 4º orden, debido a la poca variación de los polinomios de orden superior, y por lo tanto a la poca influencia en la calidad óptica. También se han incluido los datos del tamaño pupilar y el seguimiento realizado.

	Días	Φ_p (mm)	RMS Total	AO RMS	Desf.	RMS Astig.	RMS Coma	RMS Trébol	Esférica	Coma V	Coma H	Trébol Y	Trébol X
Ojo 1	PRE	3,0	0,44	0,18	-0,33	0,23	0,12	0,09	0,08	-0,01	0,12	-0,03	-0,09
	1	3,0	0,62	0,49	0,19	0,34	0,11	0,41	-0,14	0,11	-0,03	-0,33	-0,24
	7	3,0	0,62	0,36	-0,21	0,46	0,09	0,15	-0,09	0,00	0,09	-0,11	-0,10
	30	3,0	0,64	0,27	-0,40	0,41	0,16	0,21	0,02	-0,13	0,10	0,14	-0,15
	60	3,0	0,48	0,15	-0,35	0,30	0,07	0,12	-0,03	-0,06	0,04	0,09	-0,07
	90	3,0	0,63	0,13	-0,51	0,35	0,04	0,11	0,01	-0,04	0,02	0,10	-0,04
	180	3,0	0,55	0,10	-0,47	0,27	0,03	0,08	0,01	0,00	0,03	0,07	-0,04
	270	3,0	0,72	0,10	-0,60	0,39	0,08	0,05	0,02	-0,03	0,07	0,04	-0,03
	365	3,0	0,54	0,10	-0,43	0,32	0,07	0,06	-0,01	-0,06	0,04	0,04	-0,04
Ojo 2	PRE	2,6	0,28	0,15	-0,16	0,17	0,01	0,04	0,07	0,01	-0,01	-0,04	0,00
	1	2,6	1,16	0,21	-0,68	0,92	0,13	0,09	0,00	-0,09	0,09	0,08	-0,04
	60	2,6	0,74	0,10	-0,67	0,31	0,09	0,02	0,00	-0,06	0,06	0,00	0,02
	210	2,6	0,24	0,06	-0,01	0,23	0,03	0,04	0,01	-0,03	0,02	-0,01	-0,04
Ojo 3	PRE	3,1	0,28	0,15	-0,16	0,17	0,02	0,04	0,07	0,01	-0,02	-0,04	0,00
	7	3,1	1,23	0,26	1,13	0,41	0,24	0,09	0,02	-0,23	-0,07	0,09	0,02
	150	3,1	0,26	0,18	-0,01	0,19	0,07	0,13	0,01	-0,07	-0,03	-0,12	-0,03
Ojo 4	PRE	2,3	0,28	0,15	-0,16	0,17	0,02	0,04	0,07	0,01	-0,02	-0,04	0,00
	60	2,3	0,18	0,10	0,13	0,07	0,08	0,03	-0,02	-0,07	0,04	-0,03	-0,02
	120	2,3	0,19	0,12	-0,11	0,11	0,06	0,03	-0,03	-0,06	0,02	0,01	-0,03
	180	2,3	0,20	0,10	-0,05	0,17	0,05	0,03	0,01	-0,05	0,00	0,03	0,02
	270	2,3	0,27	0,11	-0,18	0,17	0,07	0,07	0,00	0,05	-0,05	0,06	-0,02
	350	2,3	0,35	0,07	0,34	-0,27	0,21	0,05	0,03	0,01	-0,04	-0,03	0,01
	410	2,3	0,27	0,09	-0,13	0,22	0,07	0,01	0,02	-0,07	-0,02	-0,07	0,01
Ojo 5	PRE	2,3	0,22	0,10	0,19	0,05	0,09	0,02	0,00	-0,05	-0,07	0,02	0,00
	1	2,3	0,41	0,29	-0,01	0,30	0,12	0,21	-0,05	-0,08	0,10	0,02	0,21
	7	2,3	0,16	0,13	0,05	0,05	0,06	0,10	0,07	0,00	-0,09	-0,04	0,06
	14	2,3	0,19	0,13	0,12	0,08	0,05	0,08	-0,01	-0,03	-0,04	0,01	-0,08
	30	2,3	0,20	0,12	0,11	0,11	0,09	0,05	0,00	0,08	-0,04	-0,04	-0,03
	60	2,3	0,24	0,10	0,22	0,01	0,08	0,02	0,02	-0,03	-0,07	0,00	-0,02
Ojo 6	PRE	2,5	0,46	0,20	-0,35	0,22	0,10	0,15	-0,03	0,10	0,03	-0,15	-0,04
	1	2,5	1,23	0,72	0,93	0,37	0,23	0,66	0,02	0,20	0,12	-0,62	0,24
	7	2,5	1,01	0,29	-0,07	0,96	0,07	0,23	-0,07	0,05	-0,04	-0,22	0,07
	60	2,5	0,43	0,20	0,38	0,00	0,38	0,10	0,12	-0,02	0,10	0,04	-0,12
	180	2,5	0,32	0,24	0,10	0,19	0,14	0,16	0,03	0,12	0,07	0,11	-0,11
Ojo 7	PRE	2,8	0,96	0,51	-0,56	0,58	0,30	0,33	0,08	0,30	-0,03	-0,33	-0,04
	7	2,8	0,73	0,13	-0,29	0,65	0,09	0,03	0,00	0,08	-0,03	0,01	0,02
	120	2,8	0,54	0,28	-0,26	0,38	0,20	0,13	-0,02	0,20	-0,05	0,13	-0,02
Ojo 8	PRE	2,3	0,29	0,06	-0,28	0,04	0,02	0,04	-0,02	0,02	0,01	-0,02	-0,04
	7	2,3	0,29	0,14	-0,24	0,06	0,06	0,08	-0,05	0,04	0,05	-0,06	-0,06
	10	2,3	0,21	0,04	-0,18	0,11	0,01	0,01	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01
	30	2,3	0,24	0,05	-0,10	0,21	0,02	0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,01
	90	2,3	0,21	0,05	-0,18	0,10	0,04	0,02	0,00	-0,03	-0,02	0,02	-0,01
	180	2,3	0,13	0,02	-0,11	0,07	0,01	0,01	0,00	0,01	-0,01	-0,01	-0,01
270	2,3	0,19	0,02	-0,16	0,09	0,01	0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,01	0,01	

Tabla 1. Valores medios en micras (μm) de las aberraciones oculares y de RMS.

A continuación, se muestran una serie de gráficos que describen la evolución de las aberraciones después de la cirugía en cada paciente por separado. Cada paciente presenta un intervalo temporal diferente. El diámetro pupilar de los pacientes no coinciden entre sí por lo que ha resultado imposible comparar los resultados conjuntamente.

Hay estudios⁷ que tras analizar una cierta población han estandarizado los coeficientes de alto orden para diferentes tamaños pupilares. Se han comparado con los valores previos a la operación de los pacientes.

Se presentan dos gráficas por paciente: en la primera se analiza los RMS de alto orden (AO), astigmatismo, coma y trébol y en la segunda se muestran las aberraciones de alto orden por separado.

Ojo 1:

Como se puede ver en la Figura 3, hay un aumento de la RMS AO (preoperatorio: 0,18 μm ; al día siguiente 0,49 μm). Sin embargo, este valor va disminuyendo conforme avanza el tiempo, obteniendo al final un valor menor al previo a la operación (0,10 μm).

El valor del RMS Astigmatismo sufre un crecimiento general: el valor mínimo es de 0,23 μm (preoperatorio) y va en aumento hasta alcanzar un máximo de 0,46 μm (una semana después). Un año después el valor ha disminuido pero no llega a los valores previos (0,32 μm).

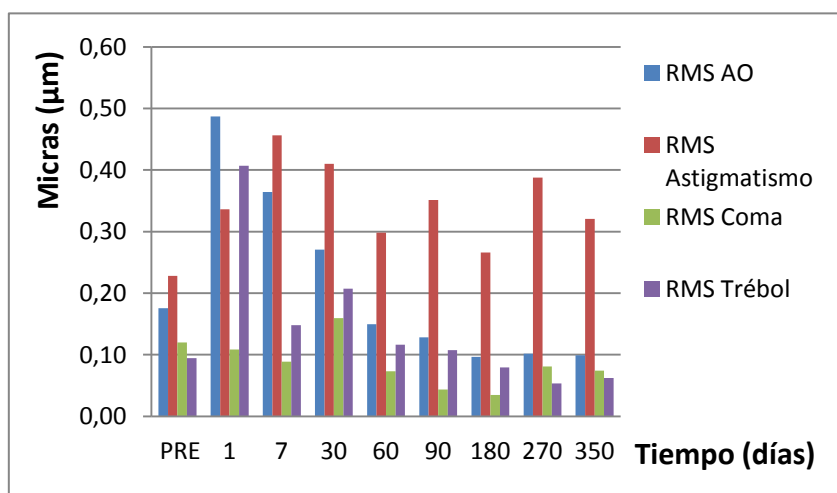


Figura 3. Ojo 1 (OD). Evolución temporal de los valores de RMS.

Este ojo alcanza unos valores de RMS Trébol muy altos al día siguiente de la operación (previo: 0,09 μm ; valor máximo al día siguiente: 0,41 μm). Después los valores han disminuido, dando un salto a la semana siguiente (0,15 μm) y decreciendo progresivamente hasta alcanzar un valor mínimo un año después (0,06 μm).

Se representan los valores de las aberraciones de alto orden como el Coma (vertical y horizontal), Trébol (X e Y) y la aberración esférica en la Figura 4.

Siendo los valores normales⁷, para una pupila de 3 mm, del Coma: 0,018 μm y Trébol: 0,016 μm , los valores previos son más altos y dan un salto en la semana posterior. Los valores más significativos son al día siguiente de la operación, con unos coeficientes de: Coma vertical 0,11 μm , Trébol Y -0,33 μm y Trébol X de -0,24 μm . Los valores de las aberraciones van disminuyendo progresivamente hasta alcanzar valores menores a los previos: Coma vertical -0,06 μm , Coma horizontal 0,04 μm , Trébol Y 0,04 μm , Trébol X -0,04 μm y Aberración esférica de -0,01 μm . La aberración esférica llega a alcanzar un valor de 0,14 μm .

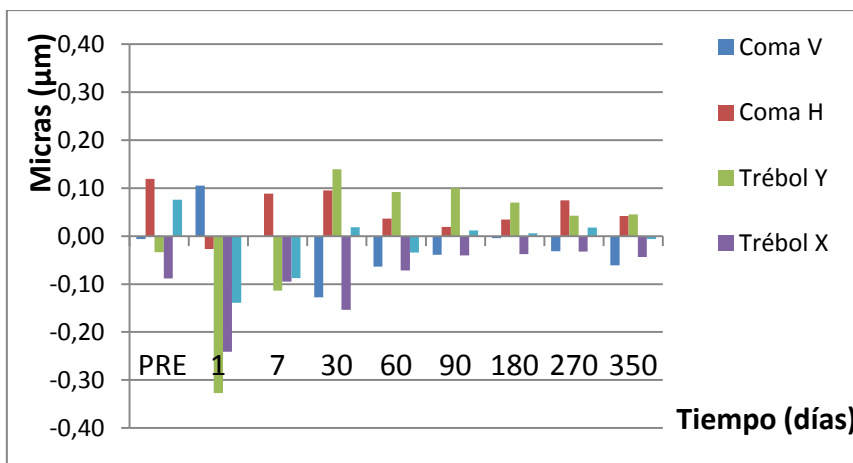


Figura 4. Ojo 1 (OD). Evolución temporal de los valores de las aberraciones de alto orden

Ojo 2:

Se representan las aberraciones oculares en las Figuras 5 y 6.

En la siguiente gráfica (Figura 5) hay un incremento de la RMS AO al día siguiente (previo: 0,15 µm; valor máximo al día siguiente: 0,21 µm) pero no es tan significativo como el salto que da el RMS Astigmatismo (0,92 µm).

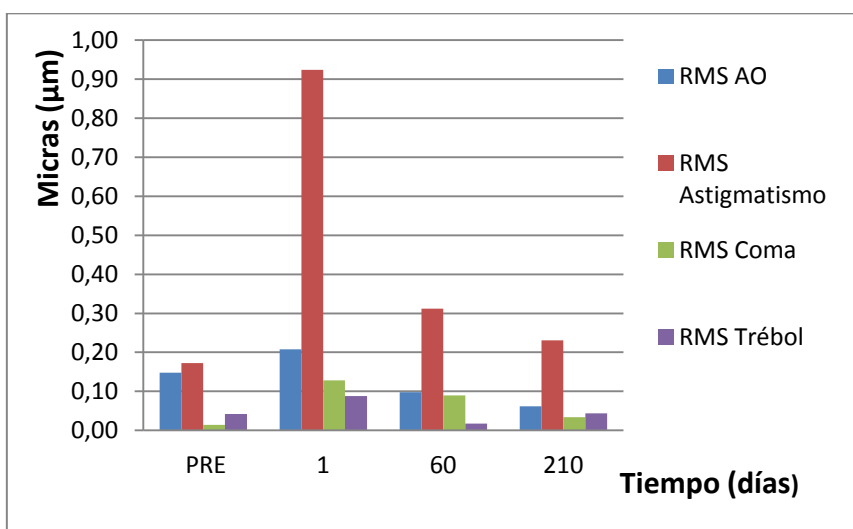


Figura 5. Ojo 2 (OD). Evolución temporal de los valores de RMS.

Los valores individuales de las aberraciones de alto orden son muy bajos como se muestra en la Figura 6. Los valores previos de la aberración esférica disminuyen muy rápido en las siguientes semanas, sin embargo los valores del Coma (horizontal: 0,09 µm y vertical: -0,09 µm) y Trébol (Y: 0,08 µm y X: 0,04 µm) van disminuyendo progresivamente sin alcanzar valores demasiado altos.

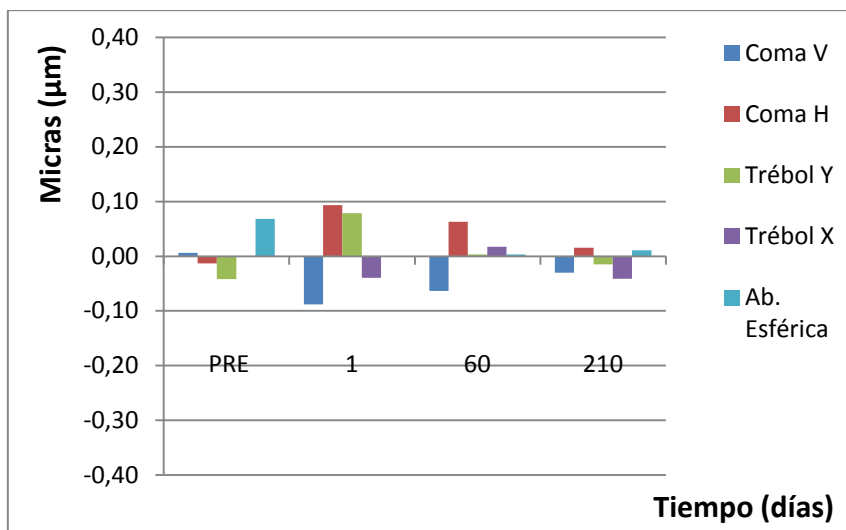


Figura 6. Ojo 2 (OD). Evolución temporal de los valores de las aberraciones de alto orden

Ojo 3:

Las Figura 7 y 8 corresponden al OI del paciente anterior. En este caso no hay mucho intervalo temporal para poder evaluar la evolución de las aberraciones.

La RMS AO cobra importancia a la semana después de la operación (previo: 0,15 μm ; a la semana siguiente: 0,26 μm).

Sin embargo los resultados más característicos son los del RMS Astigmatismo (previo: 0,17 μm ; a la semana siguiente: 0,41 μm). Este valor ha disminuido 5 meses después con un valor de 0,19 μm .

El RMS Coma también alcanza un valor alto a la semana después de la operación (previo: 0,02 μm ; a la semana siguiente: 0,24 μm), este valor también disminuye con un valor mínimo de 0,07 μm .

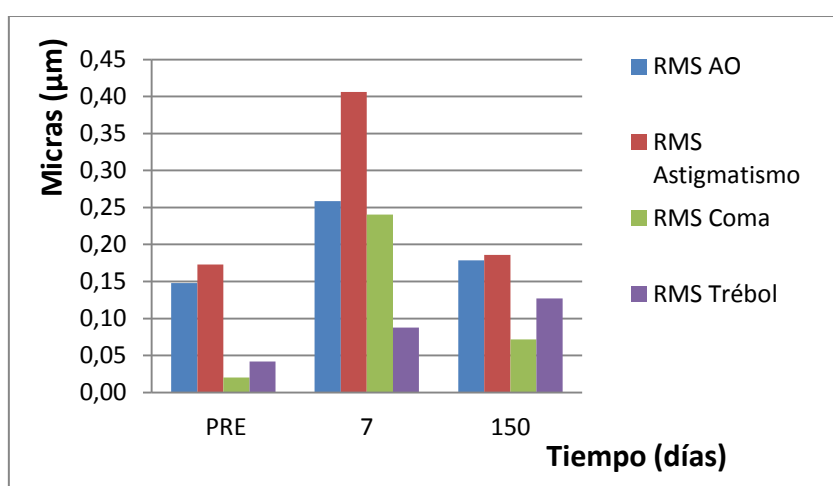


Figura 7. Ojo 3 (OI). Evolución temporal de los valores de RMS.

El paciente no presenta niveles importantes de aberración de alto orden. Pero a la semana siguiente, el Coma vertical (Figura 8) llega a alcanzar un valor de -0,23 μm .

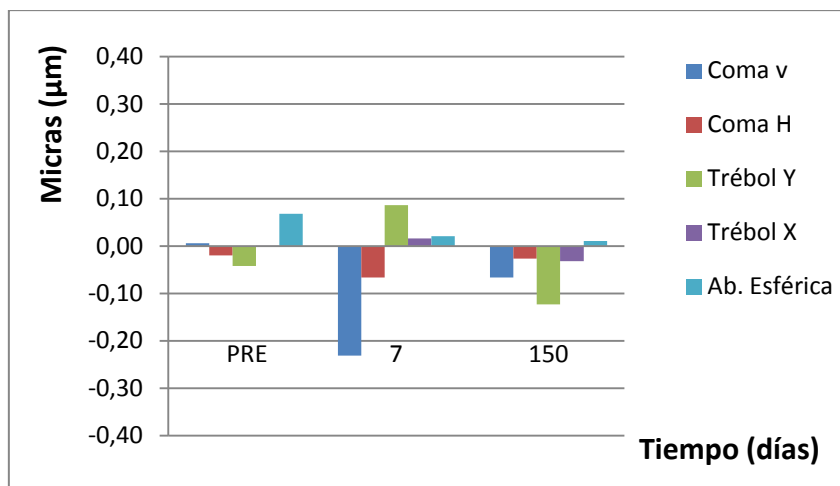


Figura 8. Ojo 3 (OI). Evolución temporal de los valores de las aberraciones de alto orden

Ojo 4:

Hay que tener en cuenta que la evolución de las aberraciones oculares en este paciente no se pueden analizar correctamente ya que la segunda medida se realizó a los dos meses después de la operación.

Los valores de RMS AO (Figura 9) van disminuyendo progresivamente, obteniendo una magnitud menor a los 14 meses (0,09 μm) que antes de la operación (0,15 μm).

El RMS Astigmatismo ha aumentado con el tiempo (a los dos meses: 0,07 μm ; a los 14 meses: 0,22 μm).

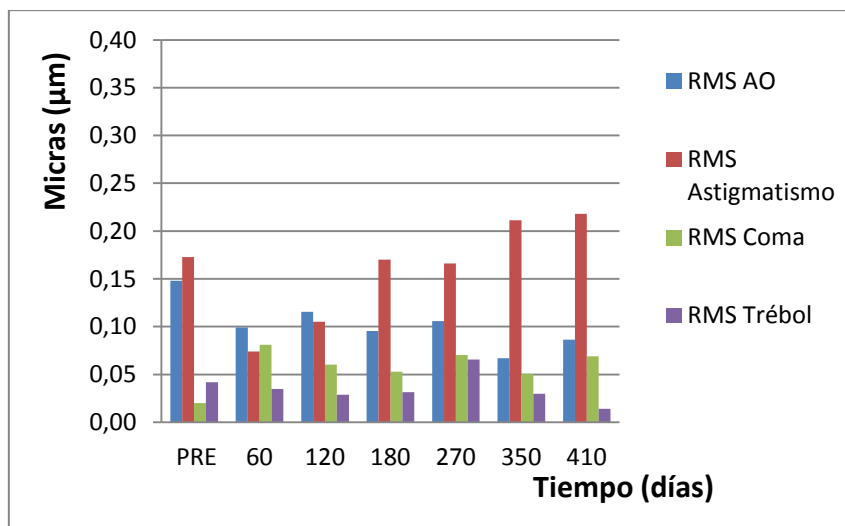


Figura 9. Ojo 4 (OD). Evolución temporal de los valores de RMS.

Hasta los 6 meses todos los valores van disminuyendo (Figura 10), aunque hay un incremento leve a los 9 meses del Coma vertical (0,05 μm) y del Trébol Y (0,06 μm).

La aberración esférica se mantiene más o menos estable antes y después de la operación (previo: 0,07 μm ; dos meses después: -0,02 μm).

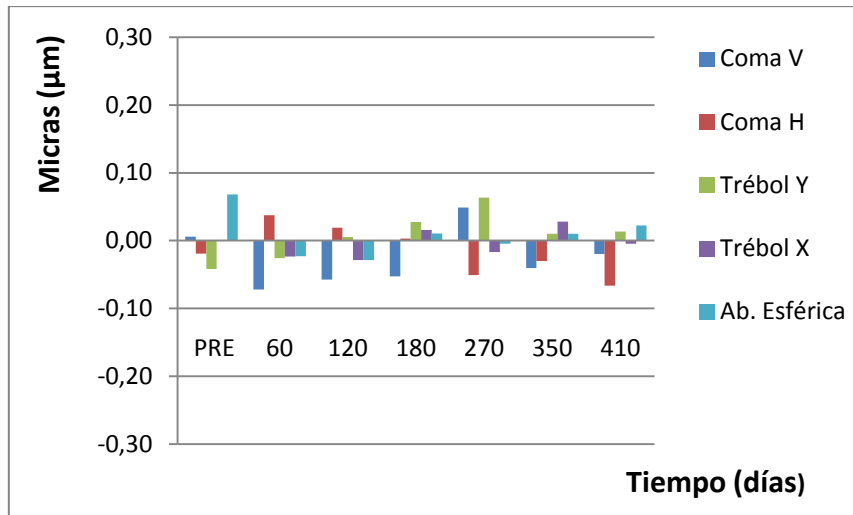


Figura 10. Ojo 4 (OD). Evolución temporal de los valores de las aberraciones de alto orden

Ojo 5:

Los valores de RMS AO (Figura 11) cobran gran importancia al día siguiente de la operación (0,29 µm) y van decreciendo hasta alcanzar los valores previos a la cirugía (previo: 0,10 µm; dos meses después: 0,10 µm).

El RMS Astigmatismo aumenta bruscamente al día siguiente (previo: 0,05 µm; dos meses después: 0,30 µm). En los meses posteriores los valores decrecen hasta alcanzar valores aún menores (0,01 µm).

Los valores de RMS Trébol también aumentan bruscamente (previo: 0,21 µm; al día siguiente: 0,21 µm) y disminuyen a la semana siguiente (0,10 µm) hasta alcanzar un valor mínimo a los dos meses de 0,02 µm.

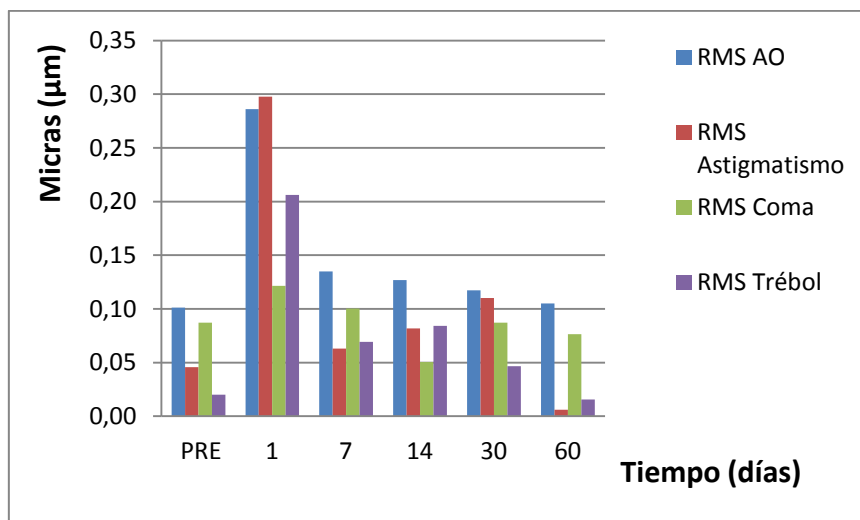


Figura 11. Ojo 5 (OD). Evolución temporal de los valores de RMS.

Analizando los valores de alto orden por separado, se puede ver que el Trébol X (-0,21 µm) y el Coma (vertical -0,08 µm y horizontal 0,10 µm) son elevados al día siguiente de la operación (Figura 12).

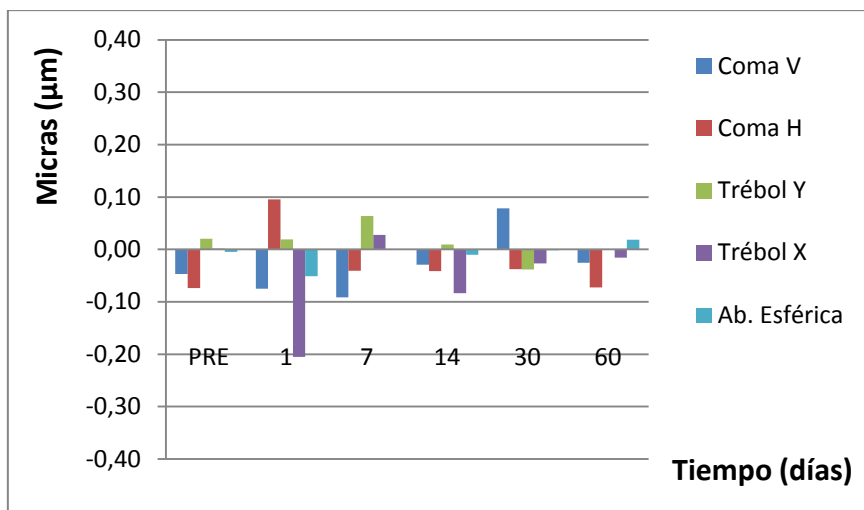


Figura 12. Ojo 5 (OD). Evolución temporal de los valores de las aberraciones de alto orden

Ojo 6:

A este paciente también se le realizó la operación en ambos ojos. En el OD el seguimiento es más largo que en el OI.

Las Figuras 13 y 14 corresponden al OD.

El RMS AO (Figura 13) aumenta bruscamente al día siguiente de la operación (previo: 0,20 µm; al día siguiente: 0,72 µm). A la semana siguiente los valores disminuyen muy rápido (0,29 µm) y después van disminuyendo poco a poco hasta los 6 meses (0,24 µm).

El RMS Astigmatismo alcanza su valor máximo a la semana de la operación con un valor de 0,96 µm. En los días posteriores todas las aberraciones disminuyen hasta los 4 meses que llega el seguimiento.

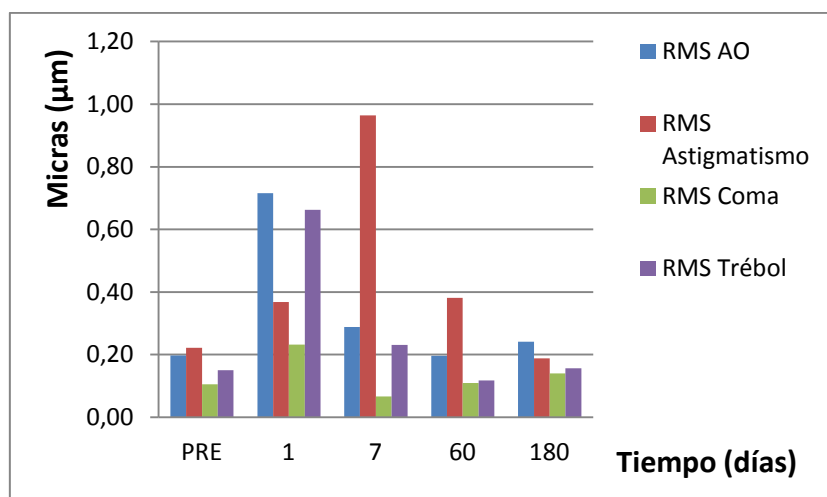


Figura 13. Ojo 6 (OD). Evolución temporal de los valores de RMS.

Analizando las aberraciones de alto orden por separado (Figura 14), observamos que al día siguiente de la intervención, los valores del Trébol Y (-0,62 µm) da un salto muy grande, junto con el Trébol X (0,24 µm) y el Coma V (0,20 µm) que también alcanzan valores notables.

Tanto el Trébol como el Coma alcanzan promedios muy elevados debido a que el paciente tiene valores previos a la operación también elevados para una pupila de 2,5mm (valores normales⁷ en pupilas de 3mm: Trébol (X): 0,019 μm ; Trébol (Y): 0,014 μm y Coma vertical: 0,021 μm y Coma horizontal: 0,015 μm).

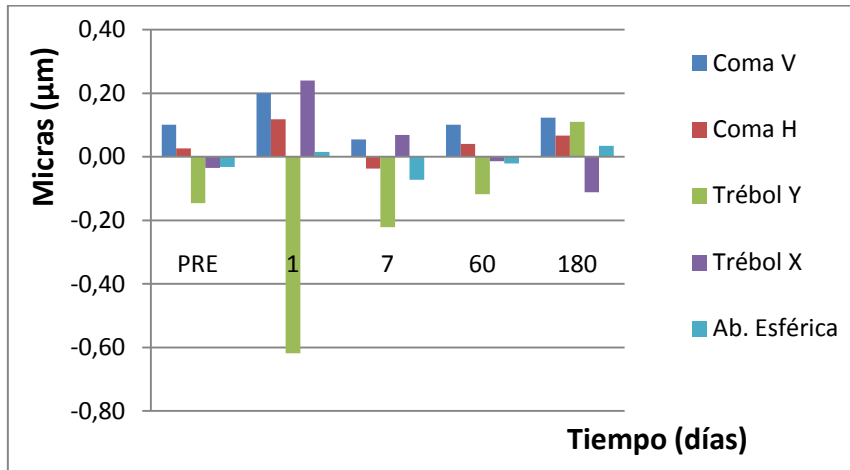


Figura 14. Ojo 6 (OD). Evolución temporal de los valores de las aberraciones de alto orden

Ojo 7:

Las aberraciones oculares del OI se representan en los Figuras 15 y 16. El seguimiento es menos extenso en este caso.

Los valores previos de las aberraciones oculares (Figura 15) en general de este paciente son elevados: RMS AO: 0,51 μm ; RMS Astigmatismo 0,58 μm ; RMS Coma 0,30 μm y RMS Trébol 0,33 μm . Sin embargo, a la semana de la operación las aberraciones oculares disminuyen excepto el RMS Astigmatismo que alcanza un valor de 0,65 μm .

A los dos 4 meses se ha visto una disminución, respecto a los valores previos, de todas las aberraciones.

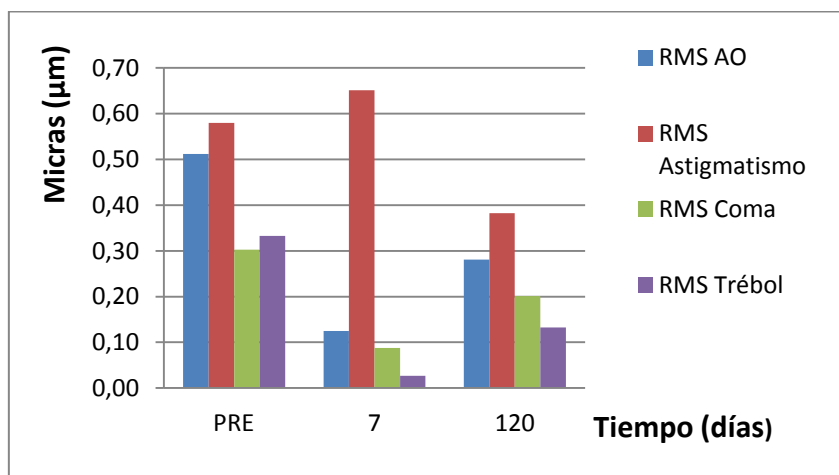


Figura 15. Ojo 7 (OI). Evolución temporal de los valores de RMS.

Tal y como se observa en la Figura 16, los valores previos del Trébol Y (-0,33 μm) y del Coma V (0,20 μm) son elevados. Estos valores van disminuyendo hasta los 4 meses.

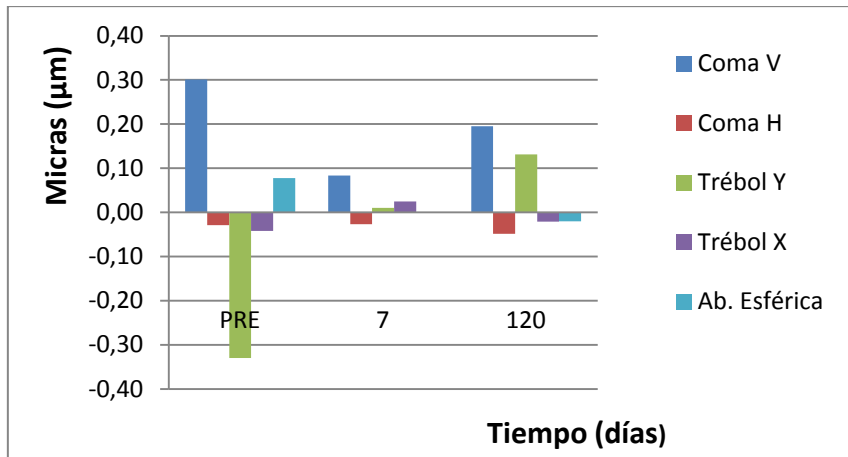


Figura 16. Ojo 7 (OI). Evolución temporal de los valores de las aberraciones de alto orden

Ojo 8:

En la Figura 17 se observa que el valor de RMS AO aumenta a la semana siguiente de la operación (previo: 0,06 μm; a la semana siguiente: 0,14 μm) y va disminuyendo con el tiempo hasta alcanzar un valor mínimo de (0,02 μm) a los 4 meses.

El valor del RMS Astigmatismo previo es de 0,04 μm y va aumentando progresivamente hasta alcanzar un máximo al mes después de la operación (0,21 μm). Este valor disminuye también progresivamente hasta los 9 meses después a un valor de 0,09 μm.

Los valores de RMS Coma (previo: 0,02 μm) y RMS Trébol (previo: 0,04 μm), alcanzan valores máximos a la semana siguiente (0,06 μm y 0,08 μm respectivamente). Días después, su valor va disminuyendo hasta alcanzar valores mínimos de RMS Coma y RMS Trébol (0,01 μm).

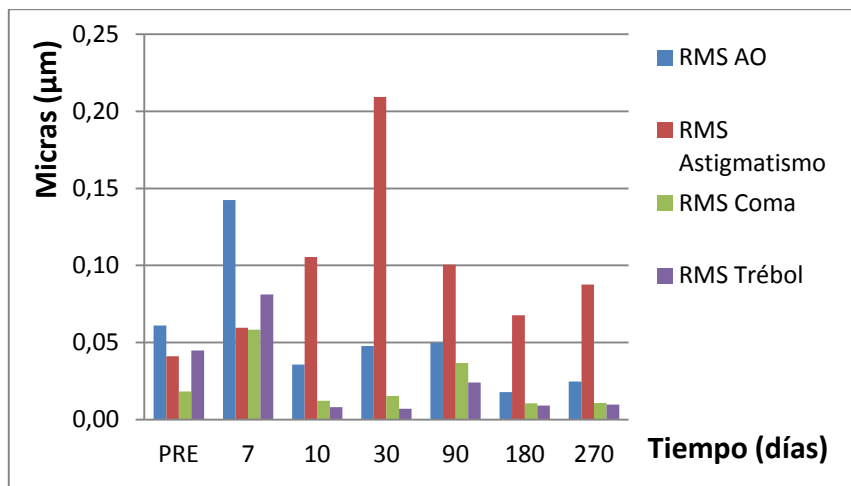


Figura 17. Ojo 8 (OD). Evolución temporal de los valores de RMS.

Analizando las aberraciones de alto orden por separado (Figura 18), puede observarse que todos los valores son muy pequeños y que todos sufren un aumento a la semana después de la operación: Coma vertical (0,04 μm), Coma horizontal (0,05 μm), Trébol Y (-0,06 μm) y Trébol X (0,06 μm). Y alcanzan valores mínimos a los 9 meses después de la operación: Coma vertical (-0,01 μm), Coma horizontal (0,00 μm), Trébol Y (0,01 μm) y Trébol X (0,01 μm).

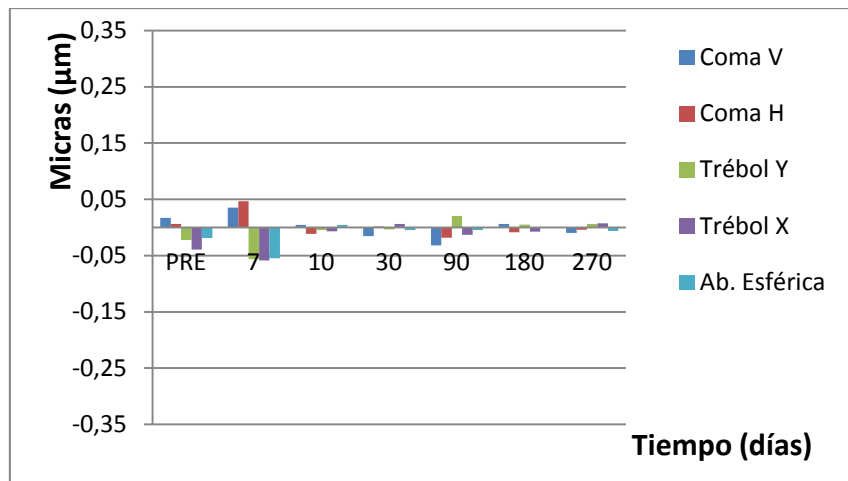


Figura 18. Ojo 8 (OD). Evolución temporal de los valores de las aberraciones de alto orden

6. Discusión

El objetivo de este trabajo de fin de grado era evaluar las aberraciones oculares, en especial las de alto orden, después de una cirugía de EPNP.

Como se ha comentado anteriormente, no se ha podido comparar las aberraciones oculares de todos los pacientes conjuntamente debido a los diferentes diámetros pupilares. Además no todos los pacientes tienen el mismo tiempo de seguimiento. Lo que se ha hecho es una comparativa individual a diferentes intervalos temporales. Es por esto que no se habla de muestra representativa pero sí de una tendencia en los resultados.

Se ha comprobado que las aberraciones que más han sufrido un cambio después de la cirugía son las RMS AO, RMS Astigmatismo y RMS Coma. Los cambios más importantes se han encontrado entre el día siguiente y la semana posterior a la intervención.

Las aberraciones de alto orden son las que más contribuyen a la degradación de la calidad de la imagen retiniana. Hay un crecimiento de los valores de RMS AO de los días siguientes en 6 de los 8 ojos, alcanzando valores medio altos⁷ (mínimo 0,21 μm y máximo 0,72 μm). Sin tener en cuenta que hay un caso que la segunda medida se realizó dos meses después, por lo tanto, la información de los primeros días tras la intervención se perdió.

Los resultados se estabilizaron aproximadamente a los 2-4 meses después de la cirugía y disminuyeron hasta alcanzar resultados aún menores a los previos en 6 de los sujetos.

Se ha observado un aumento en el RMS Astigmatismo a los pocos días de la cirugía en 4 de los 8 ojos que se midieron. Este incremento puede ser debido a las incisiones de la operación que alteran la superficie ocular y también a los procesos inflamatorios post-quirúrgicos⁸. Los valores vuelven al estado inicial únicamente en 3 de los 8 ojos medidos.

El Coma, junto a la aberración esférica, es una de las aberraciones de alto orden más común en el ojo humano⁹. Se ha podido observar en el análisis que hay un incremento en los días posteriores a la cirugía, alcanzando valores de hasta 0,24 μm , que en comparación con un ojo

normal y una pupila de 3 mm⁷, son valores considerablemente altos para que haya repercusión en la calidad de la imagen retiniana.

El Trébol es la segunda aberración de alto orden más influyente en este análisis. No se ha observado una incidencia tan alta como en el Coma, pero sí que ha habido ciertos pacientes con valores de hasta 0,41 μm al día siguiente de la operación. Sin embargo, no ha habido una tendencia clara del incremento tras la EPNP en todos los pacientes.

El desenfoque también es una de las aberraciones que más cambios ha tenido en cada uno de los pacientes. Sin embargo, la causa puede ser variable y no precisamente achacable a la cirugía. Puede ser en consecuencia a que el paciente no esté mirando al punto de fijación y esté acomodando, o que además de realizarle una EPNP le hayan realizado una cirugía refractiva cristaliniana.

Debido al poco tiempo que lleva esta cirugía en curso, hay muy pocos estudios relacionados, que puedan justificar mejor lo mencionado en las discusiones anteriores. Sin embargo, hay varios estudios que han confirmado la alteración en la estabilidad de las aberraciones oculares, sobre todo en las de alto orden, ante una cirugía refractiva¹⁰ y cirugía refractiva del cristalino⁸. En la cirugía refractiva se ha comprobado el incremento del coeficiente de la aberración esférica. En la cirugía de facoemulsificación, la precisión de las incisiones (principal y secundaria) es muy importante ya que puede inducir un astigmatismo irregular que no se puede corregir con lentes oftálmicas. La colocación de la LIO también es crítica ya que al menor descentramiento o inclinación de la lente provocará un aumento de las aberraciones de alto orden¹¹.

Se puede deducir que hay una tendencia a que las aberraciones de alto orden aumenten tras esta cirugía y que al tiempo vuelvan a disminuir los parámetros, hasta un valor incluso menor previo a la cirugía.

7. Conclusiones

Al finalizar este trabajo de fin de grado, las conclusiones obtenidas para la población estudiada son:

1. Las aberraciones de alto orden tienden a aumentar tras la cirugía de esclerotomía profunda no perforante.
2. Los valores de RMS de alto orden tienden al estado inicial pasados 2-4 meses.
3. El RMS Astigmatismo tiende a aumentar tras la cirugía y a no regresar al estado inicial.
4. Las alteraciones que sufre la superficie ocular en una cirugía ocular, en especial la córnea, tienen una repercusión directa con las aberraciones, sobre todo con las de alto orden.

8. Bibliografía

1. Alvarado D, Rivera B, Lagos L, Ochoa M, Starkman I, Castillo M, Flores E, Lansingh Van C, Limburg H, Silva JM. (2014). Encuesta nacional de ceguera y deficiencia visual evitables en Honduras. *Panam Salud Pública*; 36(5):300–305.
2. Martín Herranz R, Vecilla Antólinez G. (2010). *Manual de Optometría. Médica Panamericana*. Madrid, España.
3. Loscos Arenas J. (2012-2013). Cirugía de glaucoma mediante esclerotomía profunda no perforante con implante supraciliar: resultados a 24 meses, factores asociados a la eficacia y estudio mediante Biomicroscopía ultrasónica. Departament Cirurgia, Universitat autònoma de Barcelona. Barcelona, España.
4. Kanski JJ. (2012). *Oftalmología clínica*. Elsevier. Barcelona, España.
5. Iglaukom. <http://www.iglaukom.com/>
6. Muñoz G. (2013). Manejo postoperatorio de la esclerotomía profunda no perforante. Publicaciones Laboratorios Thea.
7. Salomon TO, van de Pol C. (2006). Normal-eye Zernike coefficients and root-mean-square wavefront errors. *J Cataract Refract Surgery*; 32(12):2064-74.
8. Marcos S. (2005). Calidad óptica del ojo. *Investigación y Ciencia*: 66-74.
9. Del Castillo Ruiz A, Quintela Hernández E. (2008). Aberraciones corneales de alto orden. ¿Un método para graduar al queratocono? *Revista Mexicana de Oftalmología*; 82(6): 369-375.
10. Moreno-Barriuso E, Merayo Loves J, Marcos S, Navarro R, Llorente L, Barbero S. (2001). Ocular Aberrations before and after Myopic Corneal Refractive Surgery: LASIK-Induced Changes Measured with Laser Ray Tracing. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*; 42 (1396-1403).
11. Krieglstein G. K, Weinreb R. N. (2009). *Cataract and refractive surgery*. Heidelberg, Alemania.