

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE MEDICINA



TESIS DOCTORAL

**Influencia de la paracentesis en el astigmatismo tras
cirugía de cataratas con facoemulsificación**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA

PRESENTADA POR

Miriam Cañizares Cantera

Director

José Manuel Benítez del Castillo

Madrid, 2019

**COMISIÓN DE POSTGRADO DE LA FACULTAD DE MEDICINA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**



PROGRAMA DE DOCTORADO (RD 99/2011) EN:

CIENCIAS DE LA VISIÓN

DEPARTAMENTO DE INMUNOLOGIA, OFTALMOLOGIA Y ORL

**INFLUENCIA DE LA PARACENTESIS EN EL ASTIGMATISMO TRAS CIRUGIA
DE CATARATAS CON FACOEMULSIFICACION**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA

PRESENTADA POR

Miriam Cañizares Cantera

Madrid, 2018

**COMISIÓN DE POSTGRADO DE LA FACULTAD DE MEDICINA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**



PROGRAMA DE DOCTORADO (RD 99/2011) EN:

CIENCIAS DE LA VISIÓN

DEPARTAMENTO DE INMUNOLOGIA, OFTALMOLOGIA Y ORL

**INFLUENCIA DE LA PARACENTESIS EN EL ASTIGMATISMO TRAS CIRUGIA
DE CATARATAS CON FACOEMULSIFICACION**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTORA

PRESENTADA POR

Miriam Cañizares Cantera

BAJO LA DIRECCION DEL DOCTOR

JOSÉ MANUEL BENITEZ DEL CASTILLO

Madrid, 2018

“Si he conseguido ver más lejos, es porque me he aupado en hombros de gigantes.”

Isaac Newton (1642-1727)



**INFORME DEL
DIRECTOR DE LA
TESIS**



Informe del director de la tesis

JOSE MANUEL BENITEZ DEL CASTILLO, Profesor Titular de la Universidad Complutense de Madrid, CERTIFICA: Que MIRIAM CAÑIZARES CANTERA, Grado en Óptica y Optometría, Máster en ciencias de la visión ha realizado bajo su dirección, en el Departamento de Inmunología, Oftalmología y ORL de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, la Tesis Doctoral titulada “Influencia de la paracentesis en el astigmatismo tras cirugía de cataratas con facoemulsificación” para optar al grado de Doctora por la Universidad Complutense de Madrid.

Informa que el presente trabajo ha sido realizado sobre la base de hipótesis científicas, contiene una base experimental y unos resultados originales, y posee un formato académico pertinente.

En Madrid, febrero 2018.

Fdo. D. José Manuel Benítez del Castillo

RESUMEN

.

Objetivos

Analizar los cambios refractivos y topográficos tras una cirugía de cataratas con incisión pequeña e incisión accesoria e investigar, sabido el astigmatismo corneal pre y post quirúrgico, los ejes donde se han practicado tanto la incisión principal como la paracentesis, si ésta última ha podido inducir astigmatismo.

Valorar si la paracentesis es astigmática bien por sí misma o bien en función de factores como su relación con la incisión principal, tipo de astigmatismo corneal prequirúrgico o cuantía del mismo.

Material y método

Se realizó un estudio prospectivo intervencional con 117 intervenciones quirúrgicas de cirugía de cataratas con facoemulsificación. Todas han sido practicadas por el mismo cirujano, idéntica técnica quirúrgica y mismo instrumental.

Los distintos ojos se han dividido de manera tal que el astigmatismo corneal preexistente sea similar cualitativa y cuantitativamente en cada uno de ellos, es decir, valores astigmáticos iguales en grupos separados por intervalos de 0,5 dioptrías (D) y dentro de cada grupo el eje más curvo estaba localizado en el mismo lugar.

A todos los pacientes, cualquiera que sea el grupo al que pertenecen, se le realiza la incisión principal en el meridiano más curvo, pero la paracentesis en unos casos estaba enfrentada a la principal, y en otros dispuesta perpendicularmente a ella.

A la semana, 15 días y 6 meses de la intervención se comprueba el astigmatismo corneal de cada ojo.

Resultados

Tras la verificación del astigmatismo corneal para cada uno de los grupos, en ningún caso el astigmatismo postquirúrgico es el mismo si la paracentesis se ha realizado enfrentada o perpendicularmente a la incisión principal.

Del total de los ojos operados, a los que la paracentesis se les realiza enfrentada a la principal, disminuyen su astigmatismo corneal prequirúrgico de media en 0,4 D, mientras que a los que se les disponen las incisiones paracentesis y principal de manera perpendicular, aumentan su astigmatismo en 0,13 D.

Conclusiones

No parece probado que la paracentesis, sea astigmáticamente neutra y, hoy por hoy, la práctica de esta incisión es obligada en la cirugía de cataratas con facoemulsificación. Si, tal y como se viene haciendo en la actualidad, se busca una cirugía facorefractiva, que deje al paciente emétrope tras la cirugía, es

interesante poder valorar la incidencia y repercusión astigmática que dejarán todos los actos quirúrgicos, concretamente, todas las incisiones.



ABSTRACT



Purpose

Analyze the refractive and topographic changes after a cataract surgery with small incision and accessory incision and investigate, known the corneal astigmatism before and after surgery, the axes where both the main incision and the paracentesis have been practiced, if the latter has been able to induce astigmatism.

Evaluate if the paracentesis is astigmatic by itself or in function of factors such as the relationship with the main incision, type of pre-surgical corneal astigmatism or amount thereof.

Methods

A prospective interventional study was performed with 117 surgical interventions of cataract surgery with phacoemulsification. All have been practiced by the same surgeon, identical surgical technique and same instrumental.

The different eyes have been separated in such a way that the preexisting corneal astigmatism is similar qualitatively and quantitatively in each of them, that is, equal astigmatic values in groups separated by 0.5 diopters (D) intervals and within each group the most curved axis was in the same place.

All patients, regardless of the group to which they belong, performed the main incision in the most curved meridian, but the paracentesis was in some cases facing the main one and in another arranged perpendicular to it.

One week, 15 days and 6 months after surgery, the corneal astigmatism of each eye is checked.

Results

After verification of the corneal astigmatism for every groups, in no case post-surgical astigmatism is the same if the paracentesis has been performed facing or perpendicular to the main incision.

Of the total of the operated eyes, to which the paracentesis is performed facing the main one, they decrease their pre-surgical corneal astigmatism by 0.4 D, while those with the paracentesis and main incisions are perpendicular; increase their astigmatism by 0.13 D.

Conclusions

It does not seem proven that paracentesis is astigmatically neutral and, presently, the practice of this incision is obligatory in cataract surgery with phacoemulsification. If, as is currently the case, a phacorefractive surgery is sought, which leaves the patient emmetropic after surgery, it is interesting to be able to evaluate the incidence and astigmatic repercussion that all the surgical acts, specifically, all the incisions, will leave behind.

INDICES

Indice de tablas

Indice de figuras

Indice de figuras

Figura 1. Esquema de ojo con catarata y sin catarata.....	8
Figura 2. Esquema de aberración esférica.....	29
Figura 3. Aberraciones oculares.....	33
Figura 4. Ojo esquemático paraxial.....	38
Figura 5. Astigmatismo irregular.....	44
Figura 6. A. Astigmatismo a favor de la regla. B. Astigmatismo en contra de la regla.....	45
Figura 7. Clasificación astigmática en función de la relación de las dos líneas focales con la retina.....	46
Figura 8. Secciones transversales de un haz de rayos después de ser refractado por un sistema ocular astigmático.....	47
Figura 9. Círculo de mínima confusión.....	50
Figura 10. Efecto que produce cada aberración de alto orden al frente de onda.....	57

Figura 11. El radio de curvatura de la córnea se puede deducir de la medida del tamaño de la imagen reflejada.....	60
Figura 12. Uso de microscopio para medir aumento y utilización de sistema duplicador de las miras	61
Figura 13. Queratómetro telecéntrico	64
Figura 14. Imagen topografía corneal.....	67
Figura 15. Incisión en bisagra. La profundidad de la incisión condicionará el efecto bisagra.....	76
Figura 16. Regla de la válvula. El margen de seguridad de la incisión es proporcional a la proyección de corte.....	77
Figura 17. Aberrómetro corneal Hartmann Shack.....	106
Figura 18. Autorrefractómetro TOPCON.....	106
Figura 19. Imagen cuchillete incisión principal.....	108
Figura 20. Imagen cuchillete paracentesis.....	108
Figura 21. Imagen mapa de aberraciones.....	111

Figura 22. Imagen de preparación del paciente.....	113
Figura 23. Imagen incisión paracentesis.....	114
Figura 24. Imagen de la incisión principal.....	116
Figura 25. Imagen capsulorrexsis.....	117
Figura 26. Imagen de la aspiración de la corteza.....	119

Indice de tablas

Tabla 1. Análisis descriptivo del total de pacientes según la cuantía del astigmatismo corneal previo.....	126
Tabla 2. Análisis descriptivo del total de pacientes según el tipo del astigmatismo corneal previo.....	126
Tabla 3. Análisis descriptivo del total de pacientes según la localización de las incisiones.....	127
Tabla 4. Estadística de la variación del astigmatismo tras la cirugía.....	127
Tabla 5. Estadística de la variación del astigmatismo tras la cirugía según la localización de la incisión.....	128
Tabla 6. Prueba de Mann-Whitney para tabla 5.....	129
Tabla 7. Gráfica comparativa que representa la media del astigmatismo corneal de todos los ojos antes y después de la cirugía.....	130
Tabla 8. Gráfica comparativa que representa la media del astigmatismo antes y después de la cirugía de todos los ojos con astigmatismo corneal prequirúrgico	

entre 0,5 y 1,0 D a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal.....131

Tabla 9. Gráfica comparativa que representa la media del astigmatismo antes y después de la cirugía de todos los ojos con astigmatismo corneal prequirúrgico entre 0,5 y 1,0 D a los que se les practicó la paracentesis perpendicular a la incisión principal.....132

Tabla 10. Gráfica comparativa que representa la media del astigmatismo antes y después de la cirugía de todos los ojos con astigmatismo corneal previo entre 1,0 y 1,5 D a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal133

Tabla 11. Gráfica comparativa que representa la media del astigmatismo antes y después de la cirugía de todos los ojos con astigmatismo corneal previo entre 1,0 y 1,5 D a los que se le practicó la paracentesis perpendicular a la incisión principal134

Tabla 12. Gráfica comparativa que representa la media del astigmatismo antes y después de la cirugía de todos los ojos con astigmatismo corneal previo entre

1,5 y 2,0 D a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal135

Tabla 13. Gráfica comparativa que representa la media del astigmatismo antes y después de la cirugía de todos los ojos con astigmatismo corneal previo entre

1,5 y 2,0 D a los que se les practicó la paracentesis perpendicular a la incisión principal136

Tabla 14. Gráfica comparativa para astigmatismo corneal prequirúrgico a favor de la regla entre 0,5 y 1,0 D. Representa la media de variación de astigmatismo

de los pacientes a los que les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal o perpendicular a ésta.....137

Tabla 15. Gráfica comparativa para astigmatismo corneal prequirúrgico en contra de la regla entre 0,5 y 1,0 D. Representa la media de variación de astigmatismo

de los pacientes a los que les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal o perpendicular a ésta.....138

Tabla 16. Gráfica comparativa para astigmatismo corneal prequirúrgico oblicuo entre 0,5 y 1,0 D. Representa la media de variación de astigmatismo de los

pacientes a los que les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal o perpendicular a ésta.....139

Tabla 17. Gráfica comparativa para astigmatismo corneal prequirúrgico a favor de la regla entre 1,0 y 1,5 D. Representa la media de variación de astigmatismo de los pacientes a los que les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal o perpendicular a ésta.....140

Tabla 18. Gráfica comparativa para astigmatismo corneal prequirúrgico en contra de la regla entre 1,0 y 1,5 D. Representa la media de variación de astigmatismo de los pacientes a los que les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal o perpendicular a ésta.....141

Tabla 19. Gráfica comparativa para astigmatismo corneal pre-quirúrgico oblicuo entre 1,0 y 1,5 D. Representa la media de variación de astigmatismo de los pacientes a los que les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal o perpendicular a ésta.....142

Tabla 20. Gráfica comparativa para astigmatismo corneal prequirúrgico en contra de la regla entre 1,5 y 2,0 D. Representa la media de variación de astigmatismo

de los pacientes a los que les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal o perpendicular a ésta.....143

ANEXO

Tabla A1. Estadística de la variación del astigmatismo tras la cirugía según la localización de la paracentesis respecto a la incisión principal.

Tabla A2. Prueba de Mann Whitney para la tabla A1.

Tabla A3. Estadística de la variación de astigmatismo en función de la localización del meridiano más curvo antes de la cirugía cruzado con la localización de las incisiones.

Tabla A4. Prueba de Mann Whitney para la tabla A3.

Tabla A5. Estadística de la variación astigmática relacionando la cuantía del astigmatismo corneal prequirúrgico, la localización del meridiano más curvo y el ángulo entre incisión principal y paracentesis.

Tabla A6. Prueba de Mann Whitney para la tabla A5.



CONTENIDOS



INDICE

CAPITULO 1. JUSTIFICACION DEL TEMA.....	1
CAPITULO 2. INTRODUCCION.....	9
2.1 Fundamentos de óptica.....	11
2.1.1 La luz.....	11
2.1.2 El frente de onda.....	14
2.1.3 Difracción.....	16
2.1.4 Sistema óptico.....	18
2.1.5 El ojo como sistema óptico.....	19
2.1.6 Aberraciones.....	23
2.1.6.1 Aberraciones oculares.....	25
A. Desenfoque.....	29
B. Astigmatismo.....	30
C. Aberraciones de orden superior.....	32
2.1.6.2 Aberraciones como límite en la calidad de visión.....	34
2.1.7 El ojo esquemático paraxial.....	37
2.2 Astigmatismo como defecto refractivo.....	40
2.2.1 Clasificación del astigmatismo.....	43
2.2.2 Formación de la imagen astigmática.....	47
2.2.3 Visión del ojo astigmata.....	48
2.3 La córnea.....	51
2.3.1 Astigmatismo corneal.....	54
2.3.2 Medida del astigmatismo corneal.....	55
2.3.2.1 Análisis del frente de onda.....	55
2.3.2.2 Queratómetro.....	57
A. Queratómetro manual.....	63
B. Queratómetro automático.....	64

2.3.2.3 Topografía corneal.....	66
2.3.3 Análisis del astigmatismo corneal.....	69
2.4 Incisiones corneales en cirugía de cataratas con facoemulsificación.....	71
2.4.1 Factores que influyen en el efecto astigmático de las incisiones.....	78
2.5 Alternativas para la corrección del astigmatismo en cirugía de catarata.....	82
2.5.1 Tratamiento del astigmatismo con técnica incisional.....	83
2.5.2 Tratamiento del astigmatismo con lentes tóricas.....	88
2.5.2.1 Historia.....	88
2.5.2.2 Consideraciones acerca de las lentes tóricas.....	90
A. Rotación.....	91
2.5.3 Láser de femtosegundo.....	22
CAPITULO 3. OBJETIVOS E HIPOTESIS DE TRABAJO.....	93
3.1 Objetivo principal.....	95
3.2 Objetivos secundarios.....	95
3.3 Hipótesis conceptual.....	96
3.4 Hipótesis alternativa.....	97
3.5 Hipótesis nula.....	97
CAPITULO 4. MATERIAL Y METODO.....	99
4.1 Diseño.....	101
4.1.1 Características de la muestra.....	104
4.1.2 Criterios de inclusión.....	104
4.1.3 Criterios de exclusión.....	105
4.2 Material	
4.2.1 Instrumental de exploración.....	105
4.2.2 Instrumental quirúrgico.....	107

4.3 Método.....	110
4.3.1 Recogida de datos y control preoperatorio.....	139
A. Exámenes preoperatorios.....	110
B. Exámenes postoperatorios.....	112
4.3.2 Técnica quirúrgica.....	113
4.3.3 Variables estudiadas.....	120
4.3.3.1 Análisis estadístico.....	120
4.3.3.2 Estudio descriptivo de los datos.....	121
4.3.3.3 Análisis de las variables.....	121
CAPITULO 5. RESULTADOS.....	123
5.1 Descripción de la muestra.....	125
5.2 Análisis descriptivo.....	126
CAPITULO 6. DISCUSION.....	145
CAPITULO 7. CONCLUSIONES.....	161
BIBLIOGRAFIA.....	169
ANEXO	
Tablas	

CAPITULO 1

JUSTIFICACION DEL TEMA

CAPITULO 1

JUSTIFICACION DEL TEMA

El cristalino es una estructura intraocular transparente con doble función óptica, y contribuye al poder convergente del globo ocular. Anatómicamente es una lente biconvexa cuyo radio de curvatura posterior es menos plano que el anterior.

Dentro del proceso fisiológico de envejecimiento que sufre esta estructura con el paso de los años, se encuentran tanto procesos mecánicos como involutivos, que se traducen en variaciones en su composición y por tanto en su transparencia, que se manifiesta en el individuo en una pérdida de agudeza visual y sensibilidad al contraste.

La catarata, primera causa de ceguera evitable en el mundo, consiste en la opacificación del cristalino, fundamentalmente por modificaciones moleculares en el seno del cristalino, cambios hídricos y oxidación de proteínas

crystalinianas, y en la inmensa mayoría de los casos están relacionadas con el envejecimiento.

El aumento en la edad media poblacional incrementa el número de personas afectadas de cataratas, siendo el procedimiento de extracción de la catarata mediante la técnica de facoemulsificación, probablemente, el acto quirúrgico más realizado en el mundo. Tan sólo en el sistema de salud público español, en el año 2014 se practicaron 324.180 cirugías de catarata, y el 50% de la población mayor de 15 años fue diagnosticada de catarata (1).

En los estudios que evalúan la prevalencia de cataratas según la definición morfológica (opacificación del cristalino) la prevalencia se encuentra entre un 15% y un 20%; mientras que cuando es considerada la agudeza visual asociada a la opacificación del cristalino, existe una mayor variabilidad alcanzado una prevalencia de hasta el 30% en población de 65 o más años de edad en el estudio de North London (2).

En los últimos años se ha observado un aumento importante tanto de la prevalencia como de la tasa de cirugía. Este incremento se advierte, no sólo a nivel local (3) sino también a nivel internacional (4).

No cabe duda del impacto que tiene la visión en la calidad de vida de las personas, quedando muy deteriorada cuando existe una baja agudeza visual. Además, los diferentes avances englobados dentro del marco de la cirugía de cataratas permiten, no únicamente la solución del problema, sino dar uno o varios pasos más que consigan la mejor agudeza visual y una mayor independencia de o lentes oftálmicas o de contacto tras la cirugía.

Por ello, en la actualidad, la cirugía de cataratas tiene como objetivo, no sólo la eliminación del cristalino opaco, sino también el proporcionar un estado refractivo que no precise utilización de compensación óptica tras la cirugía. Para ello se han de corregir tanto la afaquia quirúrgica como las ametropías preexistentes, miopía, hipermetropía o astigmatismo.

Si bien los defectos esféricos se pueden corregir con la elección de la lente intraocular adecuada, para lo cual actualmente se dispone de técnicas de interferometría de coherencia parcial, los astigmáticos han de compensar el astigmatismo corneal que presente el paciente previo a la cirugía. Para ello se emplean diferentes técnicas de forma intraoperatoria, realizando cirugías complementarias o bien seleccionando lentes intraoculares tóricas. A efectos prácticos, el cirujano de catarata tratará de corregir el astigmatismo corneal si existiera, o no inducirlo en el caso de no tenerlo presente.

En lo que a incisiones respecta, la búsqueda de la excelencia en esta cirugía parece estar encaminada a practicarlas lo más pequeñas y anastigmáticas posible, no obstante, existen técnicas facorefractivas basadas en optimizar las incisiones de manera que compensen defectos astigmáticos preexistentes.

Nuestro interés nace tras la observación y medida de más de 30 pacientes a los que se les realiza una cirugía de cataratas practicando como técnicas refractivas

tanto la incisional, como el implante de lente intraocular tórica en función de la cuantía del astigmatismo corneal inicial. A la verificación de dicho astigmatismo corneal tras la cirugía, lo que esperamos obtener si el cálculo previo ha sido correcto, es un valor de astigmatismo prácticamente nulo, sin embargo, nos encontramos con un cierto valor astigmático que se repite en cada uno de los casos y en casi todos ellos parece coincidir con una ligera modificación del incurvamiento en el meridiano donde ha sido practicada la paracentesis.

Sabemos que el procedimiento quirúrgico se sirve de un mínimo de 2 incisiones para su correcta realización, y es habitual decidir el lugar de la incisión en función del astigmatismo corneal preexistente, Para ello se han realizado numerosos estudios que predicen el astigmatismo que induce la incisión principal del acto quirúrgico. A partir de un cierto valor de astigmatismo se valora el implante de lente intraocular tórica, pues la modificación astigmática con la incisión principal es insuficiente para conseguir la emetropización perseguida



Figura 1. Imagen ojo con cataratas

CAPITULO 2

INTRODUCCION

CAPITULO 2

INTRODUCCION

2.1 FUNDAMENTOS DE OPTICA

2.1.1 LA LUZ

El conocimiento de la luz ha sido cuestión de debate durante siglos. Desde hace muchos años, numerosos científicos han experimentado con la luz para comprender mejor su verdadera naturaleza (5). Dejando a un lado ideas más antiguas sobre la naturaleza de la luz, los grandes protagonistas de su explicación y comprensión son Isaac Newton y Christian Huygens.

A partir de 1670 una escuela de pensamiento defendía la teoría de Huygens que más tarde desarrollaron Young y Maxwell, que define la luz como fenómeno

ondulatorio, mientras que otra corriente abogaba por la teoría corpuscular, que inició Newton y que secundó más adelante Planck. Sin embargo, para explicar todos los fenómenos asociados a la luz son necesarias ambas teorías, y considerar a la luz como partícula y como onda.

En 1690, Christian Huygens enunció que la luz se origina a partir de una fuente pulsátil. Desde dicha fuente, los pulsos de energía luminosa se expanden en el espacio y modifican la sustancia que este autor llamó éter y que se suponía que nos rodeaba (6).

En 1905, Albert Einstein perfeccionó el concepto inicial de Newton de las partículas de luz, con la introducción del fotón como la partícula más pequeña de luz que conserva la información de la fuente inicial. Este paso significativo permitió la explicación de algunas propiedades físicas de la luz observadas y la predicción de las propiedades y la factibilidad de los sistemas de láser.

Actualmente, los fenómenos ópticos quedan divididos y se explican mediante óptica física, que explica los fenómenos según las propiedades ondulatorias de la luz, óptica geométrica, que describe la luz como rayos y explica las propiedades de formación de imágenes por lentes y espejos, y óptica cuántica, que considera a la luz como onda y como la partícula llamada fotón.

Los rayos de luz, entonces, son las trayectorias de esta energía propagándose, y fue Willibrord Snell, con la fórmula que describe la refracción de la luz en medios ópticos, el primero en formular lo que hoy en día expresa las propiedades de la propagación de la luz en medios ópticos.

Si la luz atraviesa el vacío, el aire o un material transparente se comporta como una onda. Sin embargo, los procesos de absorción están más representados en su comportamiento como fotón. El trazado de rayos es un modelo que, aun prescindiendo de fenómenos asociados a la óptica física, como por ejemplo la difracción, representa una muy útil herramienta para la realización de cálculos

en procesos de formación de imágenes. La energía electromagnética que emiten los cuerpos cuando se excitan sus átomos o grupos de átomos, o lo que emiten determinados dispositivos electrónicos se llama energía radiante, y ha sido interpretado de diversas maneras, pero fundamentalmente como ondas y como corpúsculos.

La energía radiante, en su propagación obedece a leyes geométricas, pero su forma no depende ni de la longitud de onda ni de la intensidad (7), y los receptores pueden ser sensibles a algunos intervalos de longitud de onda, o responder únicamente sobrepasado un valor umbral. Así mismo, es posible que la radiación recibida determine el valor de la respuesta.

2.1.2 EL FRENTE DE ONDA

Una onda se define por su frecuencia o número de oscilaciones por unidad de tiempo y su velocidad de propagación. La longitud de onda de luz monocromática

depende de estos dos parámetros. El espectro visible corresponde a longitudes de onda de entre 400 y 700 nanómetros.

Se denomina frente de onda al lugar geométrico en que los puntos del medio son alcanzados en un mismo instante por una determinada onda. Definido este concepto, si una onda se propaga en el espacio o sobre una superficie, los frentes de onda pueden visualizarse como superficies que se expanden a lo largo del tiempo alejándose de la fuente que genera las ondas sin tocarse entre sí.

El concepto de frente de onda es muy utilizado en las ciencias de la visión, puesto que puede describir gráfica y matemáticamente localización de la imagen que puede formar el ojo a partir de un objeto luminoso puntual (8).

Si un frente de onda de luz se propaga en el vacío, la velocidad de propagación se denomina c . Si un frente de onda plano se refracta por una lente plana, su

velocidad disminuye de forma proporcional al valor del índice refractivo de la lente, y puesto que la frecuencia no varía, la longitud de onda en la lente se reduce.

A medida que un frente de onda esférico se propaga, su radio se incrementa, por ello una pequeña zona del frente de onda entrante, localizada a bastante distancia de la fuente, se asemeja mucho a una porción plana de una onda plana.

Así, en un momento dado, todas las superficies en las que la perturbación tiene una fase constante forman un conjunto de planos, cada uno de ellos perpendicular a la dirección de propagación.

2.1.3 DIFRACCION

La difracción implica la inclinación de las ondas alrededor de los obstáculos.

Suele estar determinada por el principio de Huygens, que establece que cada punto de un frente de onda actúa como una fuente de diminutas ondas que

avanzan a la misma velocidad que la onda. El frente de onda en un instante posterior es la superficie tangente a las pequeñas ondas.

Si al encontrar un obstáculo transparente u opaco se altera la amplitud o la fase del frente de ondas, se producirá difracción, por tanto, es imposible obtener un frente de onda perfectamente esférico. El grado de perfección alcanzable en la formación real de imágenes está limitado por la difracción. Este efecto es una característica general de los fenómenos ondulatorios que ocurren cuando un frente de ondas está obstruido de alguna manera.

En el caso de la difracción debida a una abertura, cuanto más estrecha sea esta, mayor será el efecto sobre el frente de onda que se propaga más allá de la abertura. Entonces para que la imagen sufra menos difracción, mayor deberá ser la pupila de entrada en sistema óptico (9).

El ojo humano se encuentra limitado en primera instancia por la difracción, pues el tamaño pupilar como primer obstáculo altera la amplitud o la fase del frente de ondas.

2.1.4 SISTEMA OPTICO

En el campo de la óptica geométrica, llamamos sistema óptico a un conjunto de superficies que separan medios de diferentes índices de refracción. Estas superficies no es necesario presenten alineación de ningún tipo ni simetría de revolución. Si las superficies son refractantes el sistema óptico se llama dióptrico.

La difracción por si sola provoca una imagen poco borrosa denominada disco de Airy, que representa la dispersión de la luz incidente provocada por la difracción pupilar, y hace que el estigmatismo perfecto sea prácticamente imposible en cualquier sistema óptico de diafragma.

2.1.5 EL OJO COMO SISTEMA OPTICO

Hasta el año 965 se creía que el ojo emitía rayos de luz hacia los objetos, y fue Alhacén, matemático árabe, quien en su libro “Tratado Óptico” (10) describe detalladamente que son los objetos los que emiten los rayos luminosos. Posteriormente, en el siglo XV, Leonardo Da Vinci describe e ilustra el funcionamiento de la cámara oscura: la luz que entra en una habitación oscura a través de un pequeño orificio forma una imagen invertida de un objeto. Se pensó entonces que el ojo podía actuar de manera similar.

El ojo humano es un receptor afectado por todas las circunstancias que rodean la naturaleza de la luz, tanto si es considerada como onda o como corpúsculo. La existencia de radiaciones determina la luz u oscuridad, puesto que serán ellas las que estimulen o no el proceso de la visión.

El sistema visual humano es sensible e interpreta una determinada franja de longitudes de onda: el espectro de luz visible, y está formado por dos lentes que,

junto con un diafragma de diámetro variable, enfoca la luz sobre una membrana fotosensible. Un complejo proceso produce potenciales de acción en las células ganglionares de la retina, cuyos axones configuran el nervio óptico que conducirá la información hasta en núcleo geniculado lateral para finalizar en el córtex visual primario (11).

El ojo humano como sistema óptico es sencillo. Parafraseando a Helmholtz, "No es exagerado decir que si un óptico quisiera venderme un instrumento que tuviera tantos defectos como los del ojo, estaría justificado que le reprendiera su falta de cuidado de la forma más enérgica y se lo devolviera", se podría pensar que el ojo humano como sistema óptico es técnicamente pobre, sin embargo, como el propio médico y físico añadió a continuación: "Por supuesto, no haría esto con mis ojos (devolverlos), que espero mantener el mayor tiempo posible con todos los defectos que puedan tener. Y aunque soy crítico desde el punto de vista óptico, ya que todas esas imperfecciones serían extremadamente problemáticas en las imágenes fotográficas de una cámara, debo admitir que no

lo son en el ojo” (12). Sabemos que, pese a su sencillez, el ojo humano está dotado de ciertas características que lo configuran como óptica y técnicamente bueno y robusto.

La aberración cromática presente hace que por ejemplo un ojo perfectamente emétrope en el rojo esté al menos 2 D fuera de eje en el azul. Además, aberraciones presentes en las superficies de córnea y cristalino, junto a las que añaden las suturas del cristalino nos harían pensar en una imagen deficitaria, y sin embargo esto no es así (13).

El ojo es un sistema óptico convergente, que se comporta como un sistema aplanático, es decir, corregido en parte de aberración esférica y coma, formando una imagen invertida en la capa sensible de la retina. Sin embargo, no es un sistema centrado, pues los ejes de revolución no son coincidentes entre sí. Si el ojo y la pupila fueran un sistema centrado, entonces coincidirían el eje pupilar y

el eje óptico. El descentramiento de la pupila respecto a la córnea, y que la superficie de ésta última no sea regular condicionan la dirección del eje pupilar.

En el ojo humano, los principios de formación de imagen no varían a los de un sistema óptico convencional. Es posible aplicar la óptica paraxial para obtener un modelo de ojo teórico y estudiar las propiedades básicas del ojo como sistema formador de imágenes, sin embargo, hemos de tener en cuenta la naturaleza ondulatoria de la luz, ya que el tamaño del punto de difracción de Airy es del orden de magnitud de los fotorreceptores de la retina.

La teoría para la representación óptica funciona para sistemas centrados aplicando la aproximación paraxial, y como hemos mencionado, esto no ocurre en el ojo humano. Así, cuando se aplican las ecuaciones de óptica paraxial, es necesario considerar el efecto de la difracción y el de las aberraciones.

2.1.6 ABERRACIONES

El término aberración deriva del latín y significa salirse del camino, comportamiento que se aparta claramente de lo que se considera normal.

Desde el punto de vista matemático, las aberraciones son funciones que caracterizan las propiedades de formación de imágenes en cualquier sistema óptico, inclusive en el ojo humano. Es de vital importancia entender algunos conceptos básicos previos para lograr interpretar la información suministrada por los mapas de frentes de onda y visualizar el valor que las aberraciones tienen a nivel ocular, ya que el ojo no es un sistema ópticamente perfecto (14).

La óptica paraxial u óptica de primer orden, se basa en el supuesto de que la altura desde los rayos de luz incidentes al eje óptico es pequeña y que el sistema óptico considerado carece de aberraciones.

Para que un sistema óptico fuera perfecto en su comportamiento, las superficies de onda emergentes correspondientes a los haces originados en el objeto deberían ser esféricas y sus centros de curvatura estar en el plano imagen (15).

Además, sería necesario la semejanza entre plano objeto y plano imagen. Si todo esto no sucede simultáneamente la imagen tendrá aberraciones (16).

Generalmente, la calidad de los elementos ópticos formadores de imágenes se evalúa en términos del mapa de aberraciones. El principio de Fermat define el frente de onda mediante la óptica geométrica, y la fase de la onda define el frente bajo la óptica física. De cualquier manera, al ser este frente una superficie, se puede representar matemáticamente como una función de tres variables (17).

En la pupila de salida de un sistema óptico formador de imagen se definen el frente de onda de referencia y el frente de onda real. La diferencia entre ellos define la aberración del frente de onda.

Pueden distinguirse dos tipos principales de aberración: aberraciones cromáticas y aberraciones monocromáticas. Las primeras se originan porque el índice refractivo depende en realidad de la frecuencia o color, y las segundas se dividen en subgrupos, como aberración esférica, tipo coma, o aberraciones de alto orden que veremos más adelante.

2.1.6.1 ABERRACIONES OCULARES

Desde hace mucho tiempo se sabe que el ojo humano normal presenta numerosas aberraciones monocromáticas que degradan la calidad de la imagen retiniana (18). Es importante considerar el ojo humano como un sistema aberrado que produce imágenes no todo lo nítidas que deberían ser, pues un sistema óptico con aberraciones distorsiona el frente de onda con respecto al frente de onda esférico. Esto se debe a que el frente de onda no es completamente esférico, y por tanto el sistema óptico es imperfecto.

En términos físicos, el frente de onda que emerge del sistema óptico debe ser una esfera perfecta centrada en el punto de la imagen para que el rayo luminoso converja en un punto perfecto. La distancia en micrómetros entre el frente de onda real y el frente de onda esférico ideal que se toma como referencia es la aberración de frente de onda. Por lo tanto, las aberraciones del ojo son la diferencia entre dos superficies: el ideal y el frente de onda real.

El ojo normal emétrope está libre de aberraciones cuando su diámetro pupilar es menor de 2,5 mm. Con ese diámetro pupilar, la difracción producida en los bordes de la pupila es el único factor que determina el tamaño de la imagen retiniana de una fuente puntual. Cuando el diámetro pupilar se incrementa, la calidad de la imagen retiniana disminuye, debido al aumento de las aberraciones ópticas (19).

Sin embargo, en un ojo que no tuviese aberración óptica, la calidad de la imagen retiniana aumentaría cuando la pupila se dilatase, debido a la reducción del

efecto de la difracción. Dicho ojo es el que habitualmente denominamos como perfecto o únicamente limitado por difracción.

Las aberraciones oculares suelen cuantificarse en términos de aberración de un frente de onda expresado en micras. Provocan una mayor dispersión de la luz que emana de una fuente luminosa puntual incoherente y que está formando una imagen en la fovea de un paciente que tiene la vista fijada en ella. En función de la cantidad de esta dispersión puede producirse una reducción de la sensibilidad al contraste y de la agudeza visual.

Hay algunos estudios sobre las aberraciones de segundo orden y de orden superior en el campo visual periférico del ojo (20). En ellos se demuestra que la aberración óptica aumenta rápidamente al alejarnos del eje de fijación (21).

Dentro de los factores causantes del emborronamiento de la imagen retiniana, el más frecuente es el desenfoque, caracterizado en la miopía, hipermetropía o astigmatismo. Pero existen otros factores también causantes de la degradación de la imagen, son las llamadas aberraciones de alto orden, que al igual que el desenfoque, producen un emborronamiento de la imagen retiniana, reduciendo el contraste y limitando el intervalo de frecuencias de la imagen.

Las superficies esféricas de radio constante refractan la luz en la misma proporción sólo para rayos que inciden cercanos al eje óptico. Los que penetran cercanos al borde pupilar se refractan más que los paraxiales, y por tanto alcanzan el foco más rápidamente que los que lo hacen por el centro. Como consecuencia la imagen retiniana es una mancha borrosa afectada por aberración esférica.

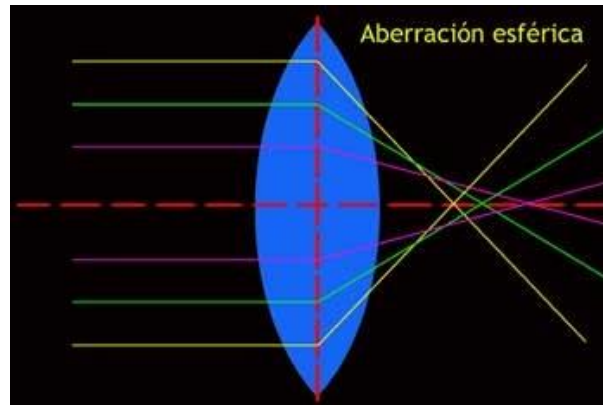


Figura 2. Aberración esférica

A. ABERRACION DE DESENFQUE

Es la más simple y está originada porque el sistema óptico forma la imagen en un plano diferente del gaussiano, el correspondiente a la esfera de referencia.

En este plano se formará una mancha circular de diámetro proporcional a la longitud de desenfoque (22).

En la visión, este concepto define la miopía o la hipermetropía por lo que también se les denomina aberraciones oculares primarias.

La única aberración que afecta a puntos en el eje es la esférica. Son rayos que se salen de la aproximación paraxial debido al ángulo grande con el que entran en la lente. Así, cuanto más cercano al eje incida el rayo, convergerá más lejos, porque la focal de los rayos no paraxiales está en función de su altura.

Si la lente es convergente la aberración esférica es positiva, y negativa para las divergentes. Clínicamente, esta aberración de cuarto orden radialmente simétrica es la causa de la miopía nocturna, y aumenta habitualmente tras la cirugía de cataratas. Da lugar a la visión de halos alrededor de las imágenes puntuales, puede aumentar la profundidad de campo, pero reduce la sensibilidad al contraste.

B. ABERRACION ASTIGMATISMO

Esta aberración es consecuencia de que el frente de onda no sea esférico, sino tórico. Puede ocurrir si alguna de las lentes del sistema tiene esa forma o si el

objeto no se encuentra en el eje.

Cuando los rayos tangenciales que pertenecen a dicho meridiano tienen diferente curvatura que los rayos sagitales, se enfocarán cada uno en un centro de curvatura diferente. El plano tangencial será el de máxima simetría, y el sagital será perpendicular a este.

Estas superficies en las que la curvatura progresa desde un valor mínimo a uno máximo en sendos meridianos perpendiculares se llaman astigmáticas. En ellas, los rayos que emiten un punto objeto sufren una desviación diferente para cada meridiano.

Dependiendo de la focal de la lente, el ángulo de los rayos, y de la distancia al eje del punto objeto, será la distancia entre el foco sagital y tangencial. Dicha distancia es el astigmatismo.

C. ABERRACIONES DE ORDEN SUPERIOR

Las más comunes son el coma, la esférica y la cromática. El coma está originado porque los rayos que entran a distinta altura focalizan en distintos puntos del plano imagen. En sistemas descentrados, puntos fuera de eje u objetos extensos tiene bastante importancia.

El coma es una aberración típica en el ojo normal, pues aparece vinculada a córneas normales descentradas respecto al eje visual. Sin embargo, tanto el coma como el astigmatismo oblicuo producen imágenes menos nítidas en la retina periférica, ya que la forma del ojo y la curvatura de la retina la aproximan a condiciones ópticas ideales.

En cuanto a la aberración cromática, es debida a la variación del índice de refracción respecto a la longitud de onda, por lo que habrá un foco para cada longitud de onda. Esta originada por la dispersión de la luz blanca al atravesar

los dioptrios oculares, puesto que el sistema óptico ocular es incapaz de enfocar diferentes longitudes de onda simultáneamente. Como consecuencia se origina una diferencia tanto en el tamaño como en la posición de las imágenes retinianas formadas con luz blanca cromáticamente diferentes.

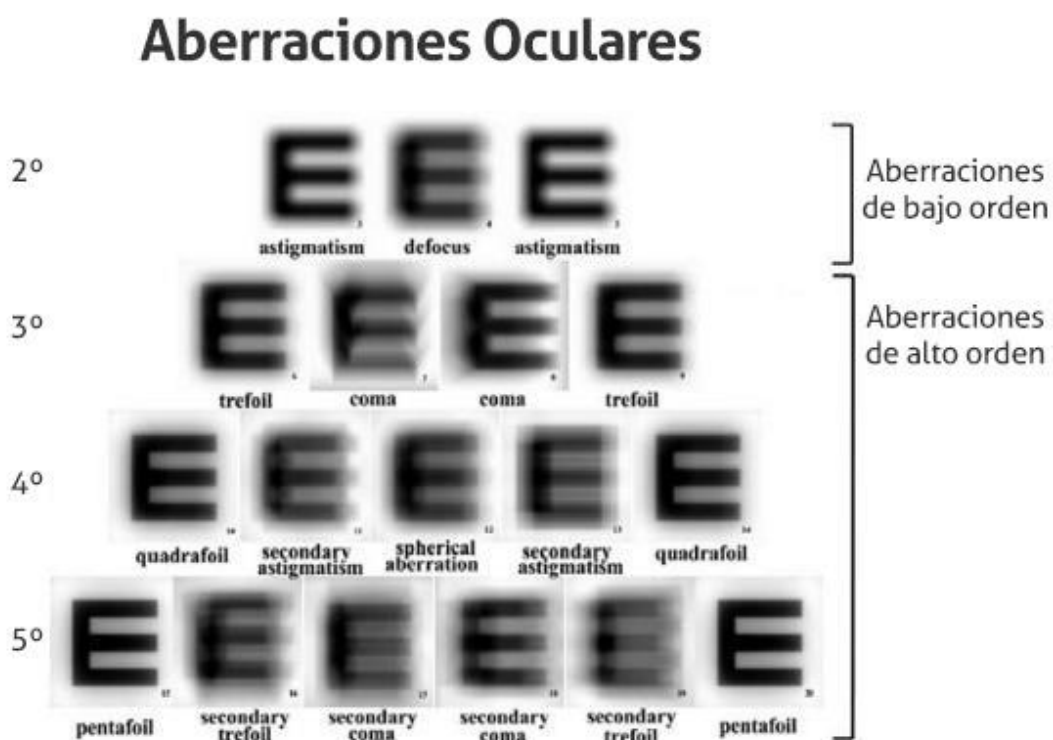


Figura 3. Aberraciones oculares

Todas las aberraciones de un frente de onda se pueden representar matemáticamente mediante los llamados polinomios de Zernike, y la suma de

los diferentes términos será la aberración total del frente de onda. De este modo podemos representar las aberraciones oculares dónde cada uno de los términos correspondería a cada una de las aberraciones ópticas.

2.1.6.2 ABERRACIONES COMO LIMITE EN LA CALIDAD DE VISION

Ya en 1868, Helmholtz describió que había limitaciones en el ojo que emborronaban la imagen en la retina incluso con la mejor compensación óptica (8). El reparto de las células ganglionares y de los fotorreceptores, y los tamaños de estos últimos limitan la calidad visual.

Dentro de las limitaciones ópticas, como hemos visto, se encuentran la difusión de la luz dentro de los medios oculares y la difracción. Las aberraciones presentes en las superficies de la córnea y el cristalino, las suturas presentes en el cristalino, que también inducen aberración óptica, limitan la calidad visual.

En un ojo sólo limitado por la difracción las trayectorias ópticas de todos los rayos emitidos por una fuente puntual única son idénticos: la luz oscila un mismo número de veces desde la fuente hasta la fóvea. Los frentes de ondas planos se convierten en frentes de ondas esféricos centrados en la imagen. En este ojo ideal emétrope y sin ninguna aberración monocromática el frente de onda emergente es plano, por el contrario, un ojo con aberraciones reflejaría un frente de onda distorsionado.

El desenfoque, dentro de las aberraciones oculares es la predominante. Sin embargo, otras aberraciones de alto orden, que habitualmente en la práctica clínica no se tienen en consideración, emborronan la imagen de la retina limitando su intervalo de frecuencias espaciales.

Desde finales de los años 90 ya se tenía la idea de corregir las aberraciones mediante cirugía, considerándolas como límite óptico de visión. En este sentido,

la óptica adaptativa demostró que con su corrección se pueden conseguir agudezas visuales de 200\100 (23). Aunque los primeros estudios demostraban lo complicado que resultaba la eliminación de las aberraciones más adelante se probó que la reducción era posible (24).

Los aberrómetros pueden medir las aberraciones oculares totales, y el topógrafo corneal puede medir las aberraciones de la superficie corneal. El estudio cuidadoso de la información que nos proporcionan estos instrumentos ofrece la posibilidad de evaluar objetivamente la calidad visual y ajustar las cirugías, sabidos a priori los parámetros que más deterioran la visión.

Entre las causas principales del deterioro de la visión en pacientes pseudofacos estarían las inducidas por la propia cirugía, las incisiones, las aberraciones que aporta la lente intraocular como tal, y sus rotaciones o descentramientos, que pueden aumentar considerablemente la aberración cromática.

Analizadas las aberraciones en ojos pseudofacos no se encuentran grandes diferencias de esos mismos ojos antes de la cirugía de catarata o de ojos sanos de la misma edad (25). Sin embargo, las aberraciones en pseudofácicos son más altas que en ojos jóvenes: la esférica en estos últimos tiende a ser negativa, y parece compensar la corneal, por lo que si es positiva la de la lente intraocular se incrementara la aberración total.

2.1.7 EL OJO ESQUEMATICO PARAXIAL

Si asumimos que las superficies refractivas del ojo son esféricas, todas están centradas sobre un mismo eje, y para cada medio los índices de refracción son constantes, se puede estudiar un modelo esquemático de ojo mediante la óptica paraxial.

Utilizando este modelo se definen la potencia equivalente, pupilas de entrada y salida, y los ejes del ojo. Debido a que donde se forma la imagen, la fovea, no

correspondería a un lugar en el eje óptico, se definen el eje visual y al óptico.

También se consideran el eje pupilar que pasa por el centro de la pupila de entrada, y el eje de fijación.

Asumimos normalmente que con la acomodación relajada el ojo “dentro de la medida” esté enfocado al infinito, y los rayos de luz que entran paralelos procedentes de un objeto lejano refracten y focalicen sobre la retina. Si esto no ocurre así y convergen delante o detrás de ella diremos que el ojo amétrope.

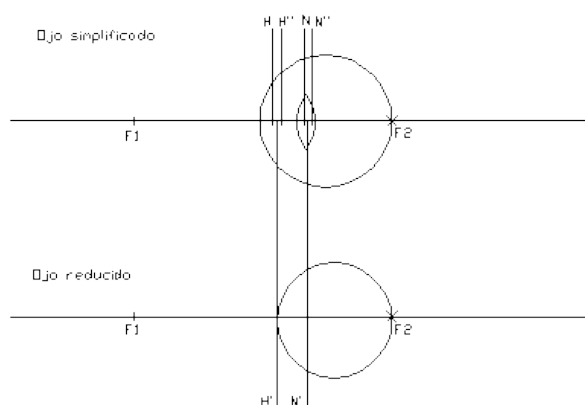


Figura 4. Ojo esquemático paraxial.

Los Puntos Principales H y H": Son dos puntos que se relacionan de tal manera que cuando un rayo incidente pasa por el primer punto principal H, el rayo emergente correspondiente pasa por el segundo punto principal H".

Los Puntos Nodales N y N": Son el centro óptico del sistema dióptrico.

Primer Foco Principal (F1): Es el punto del eje principal en el que se encuentran los rayos provenientes del vítreo paralelo al eje. Este se encuentra a unos 15 mm por delante del vértice corneal.

Segundo Foco Principal (F2): Punto sobre el eje en el cual se encuentran los rayos paralelos al eje después de su refracción por el sistema dióptrico del ojo. Se encuentran a unos 20 mm detrás del vértice corneal.

2.2 ASTIGMATISMO COMO DEFECTO REFRACTIVO

Como defecto refractivo el astigmatismo es una condición en la que el ojo no es capaz de obtener imágenes enfocadas. El astigmatismo de un sistema lo podríamos definir como la característica por lo que a un punto objeto no le corresponde un punto imagen, sino dos líneas focales.

Si las superficies refractivas oculares tienen curvaturas diferentes, potencias por lo tanto diferentes en sendos meridianos, la imagen de un punto no será un punto, sino una mancha. El astigmatismo producido por la asimetría del sistema, tiene lugar cuando la simetría del sistema con respecto al haz incidente se quiebra como consecuencia de la propia estructura de un sistema astigmático (26).

Una superficie astigmática presenta una curvatura que varía de un valor mínimo a uno máximo, y los rayos procedentes de un punto objeto sufren diferente

desviación según el meridiano por el que incidan.

Desde un punto de vista teórico un ojo es astigmático cuando los rayos que proceden de un punto son refractados de tal modo que todos pasan describiendo una recta perpendicular al eje anteroposterior (primera línea focal) atravesando segunda otra similar (segunda línea focal), cuya dirección es perpendicular a la primera. Estas dos líneas focales están separadas por una distancia denominada intervalo focal de Sturm (27).

La refracción ocular se reparte en dos tercios a nivel de la córnea y un tercio a nivel del cristalino. Es decir, la importancia del dioptrio corneal anterior en la génesis del astigmatismo es capital.

Debemos distinguir entre el astigmatismo corneal y el refractivo. El astigmatismo refractivo es la suma del corneal y las superficies del cristalino. Si sustituimos el

crystalino por una lente artificial esférica, cabe esperar que todo el astigmatismo refractivo sea el originado por la córnea, en concreto por la superficie anterior, puesto que a ella es debida la mayor parte del astigmatismo presente en la córnea, al igual que la potencia, que debe a la cara anterior su mayor parte.

La prevalencia del astigmatismo es muy variable, al ser dependiente de multitud de factores como región geográfica, edad o raza. Además, los estudios difieren según el grado de astigmatismo que se considere significativo. La diferencia de prevalencia entre los diferentes grupos de edad es notable, siendo mucho mayor en niños entre 1-4 años (28, 29). También hay estudios que valoran la incidencia de este defecto refractivo con pacientes refractivos, y la magnitud igualmente es muy variable (30).

2.2.1 CLASIFICACION DEL ASTIGMATISMO

El astigmatismo se puede dividir en dos grandes grupos, axial y oblicuo. El astigmatismo axial es la característica de un sistema óptico no de revolución, que es lo que ocurre en un ojo afecto de astigmatismo. En el astigmatismo oblicuo o astigmatismo por incidencia oblicua, los haces luminosos inciden oblicuamente y al refractarse dan lugar a dos rectas focales, las focales de Sturm, cuya diferencia se denomina astigmática. El valor del astigmatismo oblicuo varía con ángulo de incidencia de los rayos, siendo tanto mayor cuanto más elevada aquella incidencia.

Se pueden utilizar diferentes parámetros para clasificar el astigmatismo:

En función de la relación que existe entre los meridianos principales diferenciamos entre el astigmatismo regular e irregular. El primero se produce si los dos meridianos principales forman un ángulo recto, y el segundo por falta de

regularidad en la superficie corneal (31). Generalmente en el ojo humano el astigmatismo es regular, esto es, la refracción en cada meridiano es la misma a lo largo de él.

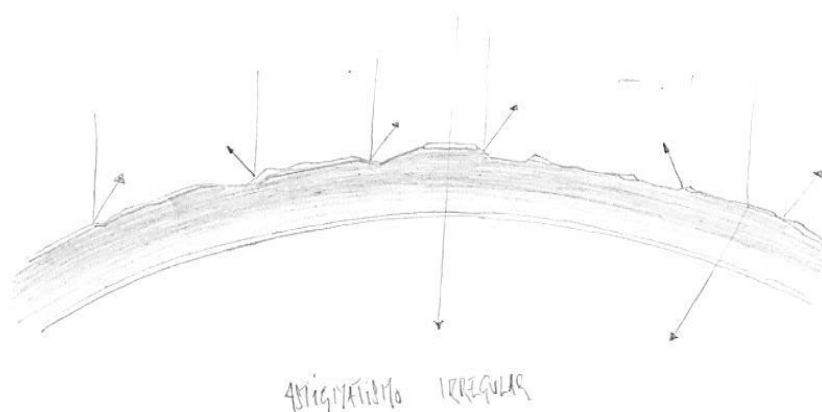


Figura 5. Astigmatismo irregular.

En función de la posición del meridiano de mayor curvatura se establece una nueva clasificación (32) . Entendiendo que los dos meridianos principales forman un ángulo de noventa grados, si el eje de mayor potencia está entre sesenta y ciento veinte grados diremos que está a favor de la regla, y si se encuentra entre cero grados y treinta grados hablaremos de astigmatismo en contra de la regla.

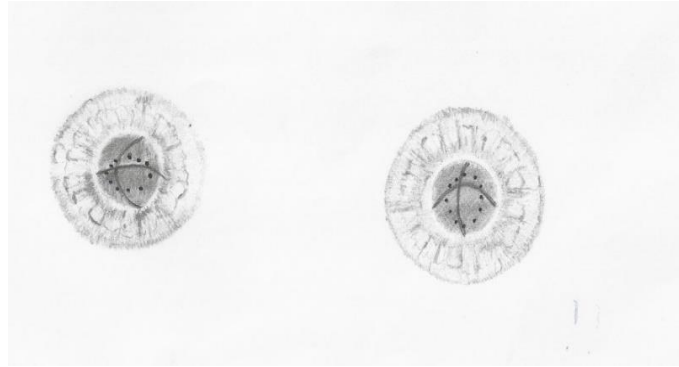


Figura 6. Astigmatismo con la regla. Astigmatismo en contra de la regla.

En otras direcciones, y siempre que los ejes de mayor y menor potencia sean perpendiculares entre sí, lo llamaremos oblicuo, y tiene un peor rendimiento visual que el a favor o en contra de la regla (33), consideración importante a la hora de planificar las cirugías y valorar el resto astigmático residual postquirúrgico.

En función de la posición de las líneas focales respecto a la retina. Hay cinco posibilidades: miópico simple, miópico compuesto, hipermetrónico simple, hipermetrónico compuesto y mixto.

Si el astigmatismo es simple, una de las líneas focales estará en la retina, y la otra por delante o por detrás, habrá un meridiano emélope y otro no. El astigmatismo compuesto tiene las dos líneas focales por delante (miópico compuesto) o por detrás de la retina (hipermetrónico compuesto). En el mixto una se encuentra por delante y otra por detrás de la retina.

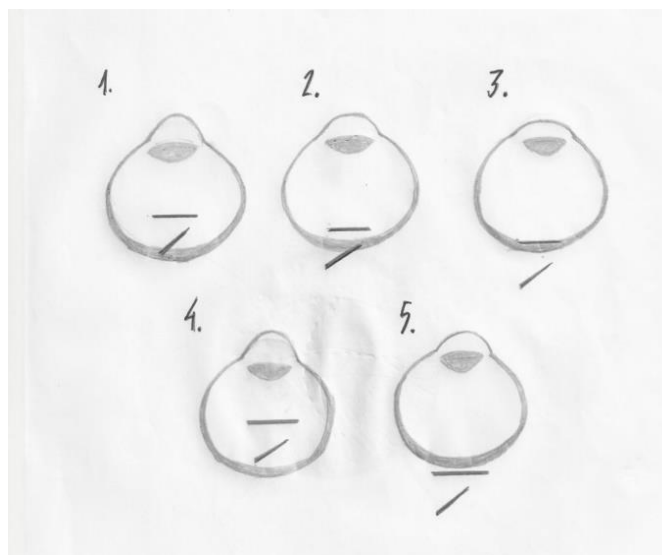


Figura 7.

1. Miópico simple

3. Hipermetrónico simple 5. Hipermetrónico

2. Mixto

4. Miópico compuesto

2.2 FORMACION DE LA IMAGEN ASTIGMATICA

Llamaremos 1 al meridiano de máxima curvatura, y 2 al de mínima. El haz de rayos que procede de un punto objeto convergerá en un punto O_1 u O_2 según el meridiano por el que incidan. El astigmatismo es la diferencia entre la potencia del meridiano 1 y la potencia del meridiano 2.

El conoide de Sturm es el haz formado por las dos líneas focales. El eje mayor de la elipse estará orientado en la dirección del meridiano correspondiente.

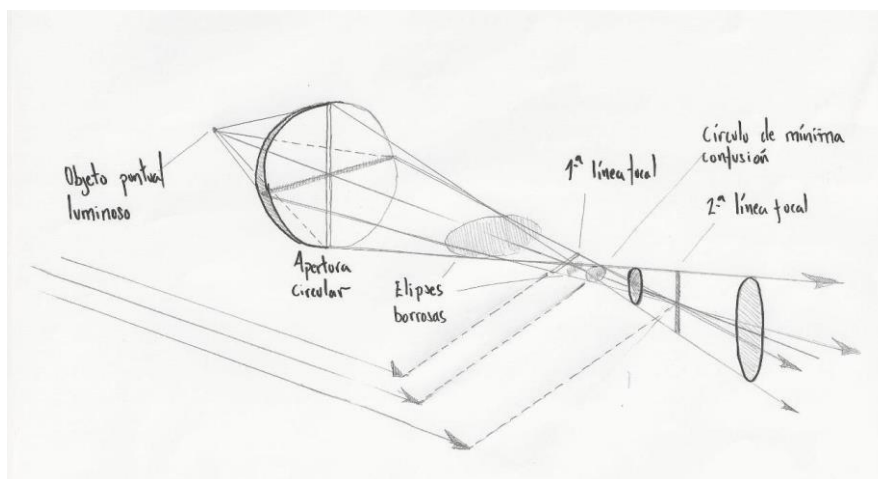


Figura 8. Secciones transversales de un haz de rayos después de ser refractado por un sistema ocular astigmático.

En el haz de luz formado por este sistema, las secciones perpendiculares al eje tendrán distinta forma en los diferentes puntos del conoide Sturm. En la mitad del camino entre las dos líneas focales, la sección transversal del haz refractado es circular y se conoce como círculo de mínima confusión.

2.2.3 VISION DEL OJO ASTIGMATA

En un sistema óptico ideal la imagen de un punto es otro punto y la imagen de un objeto sería un objeto exactamente igual, teniendo en cuenta que el medio del espacio objeto y el medio del espacio imagen son homogéneos. En la práctica, aunque se cumpla esta homogeneidad, la imagen de un punto no es un punto, sino una mancha conocida como PSF (Point Spread Function), y su forma depende de la difracción de la luz en la pupila de salida.

Si la imagen de un punto es una mancha, un objeto extenso formado por un número finito de puntos será una mancha también, y la calidad de la imagen

habrá sufrido un deterioro en el contraste y en la resolución.

Para evaluar la PSF únicamente habrá que medir el frente de onda en la pupila de salida (34). Se definen el rayo principal y el rayo marginal. El primero sale de un punto objeto fuera de eje y se dirige al centro de la pupila de entrada pasando por el centro del diafragma de apertura y llega al punto imagen en una dirección como se viniera del centro de la pupila de salida. El segundo entra en el sistema óptico pasando por el borde de diafragma de apertura y llega al punto imagen como si viniera del borde de la pupila de salida.

La imagen de un punto objeto generalmente será una elipse y uno de los ejes será menos borroso aparentemente que el otro. La cantidad de astigmatismo está íntimamente ligado con la dimensión del círculo de mínima confusión, por lo que cuanto más astigmatismo, más borrosa será la imagen retiniana. La dirección del eje y la clase de astigmatismo de la que se trate será también un

factor determinante, pues determina la parte de la sección transversal del haz que incide en la retina.

Si el astigmatismo es simple se ve más borroso en la dirección de la línea focal correspondiente al meridiano más emélope, lo que se conoce como paradoja astigmática.

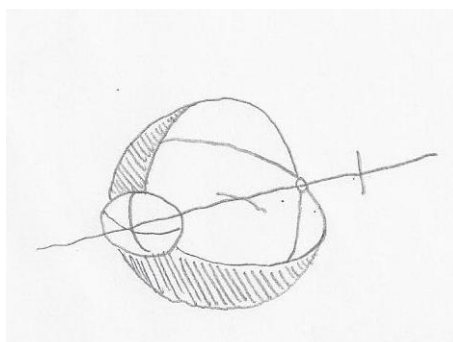


Figura 9. Situado en la retina se encuentra el círculo de mínima confusión.

En los pacientes operados de cataratas cuyo astigmatismo no ha sido corregido tienen una disminución para las actividades cotidianas, menor capacidad funcional y aumentan su dependencia. Hemos de considerar a sí mismo la alta

prevalencia del astigmatismo corneal de los pacientes que van a ser operados de cataratas (35, 36) .

2.3 CORNEA

La córnea es un tejido avascular, casi totalmente transparente y altamente diferenciado que hace posible la refracción y transmisión de la luz. Su forma consiste en una lente cóncavo-convexa, en contacto con la película lagrimal precorneal en cara anterior y con el humor acuoso en la cara posterior.

Constituida por una capa externa de células epiteliales en constante renovación que se diferencian formando una capa superficial de células no queratinizadas que interaccionan con la película lagrimal, protege el interior del ojo actuando como barrera física entre este y el medio ambiente.

Desde el punto de vista mecánico es fuerte y transparente. Su fuerza procede de las capas de fibras de colágeno que la constituyen: son alrededor de 200

capas entrecruzadas y orientadas en direcciones perpendiculares. Están dispuestas en una sustancia gelatinosa acuosa y espesa constituida por glucosaminglicanos, que le procura a la córnea su capacidad de plegamiento (37).

El grosor corneal se acerca a un milímetro en periferia y sobrepasa ligeramente los 0,5 mm en la zona central. Su composición es aparentemente simple y consiste en un epitelio estratificado escamoso no queratinizado, un estroma de tejido conectivo y de un monocapa celular endotelial (11).

La cornea constituye el principal elemento refractivo del ojo, para ello, deberá ser transparente y de superficies regulares y lisas. La disposición de fibras y el diámetro de las mismas deben ser constante. Al ser el radio de las fibras inferior a la longitud de onda y por mantener un orden y una distancia entre ellas, la córnea ópticamente se comporta como un material homogéneo (37).

La comprensión de la base física de la transparencia corneal ha sido un tema de interés entre los físicos, científicos básicos y oftalmólogos. La alteración de la claridad corneal es una causa importante de morbilidad visual en todo el mundo.

Se han presentado varios tratados como apoyo a diferentes teorías de transparencia corneal en los años posteriores a la aparición de la microscopía electrónica, que han llevado a una comprensión mucho mayor de la ultraestructura corneal (38).

El poder dióptrico corneal viene determinado por su anatomía. De forma ovalada el radio medio de la superficie anterior es aproximadamente 7,7 mm. El diámetro horizontal medio es de 12,6 mm, y vertical es de 11,7mm. La superficie posterior tiene un radio de curvatura menor, aproximadamente 6,8 mm, por lo que la forma final de la córnea es un menisco cóncavo.

La superficie anterior de la córnea es esférica, lo cual es condición fundamental para corregir las aberraciones del sistema óptico ocular (8). La curvatura disminuye hacia la periferia y el poder dióptrico total se sitúa entre 42 y 42,5 dioptrías, lo que representa el 70% del poder dióptrico total del ojo.

2.3.1 ASTIGMATISMO CORNEAL

El astigmatismo corneal es una condición debida a una irregularidad en la superficie de la córnea, en la cual la luz no es refractada por igual en todos los meridianos. Siendo así, según la orientación de la luz incidente la potencia dióptrica variará. Habitualmente se determinan los meridianos de mayor y menor potencia que equivaldrán a los de mayor y menor curvatura.

Generalmente éste astigmatismo será consecuencia de la diferencia de curvatura entre estos dos meridianos, aunque podría ser debido a cambios focales en el índice de refracción corneal (39).

El error astigmático corneal más frecuente desde el nacimiento hasta la edad de 40-45 años es el llamado a favor de la regla o directo, en el que el radio de curvatura horizontal es mayor que el vertical, mientras que el inverso o en contra de la regla es más frecuente en personas de edad avanzada. Es posible que la causa de esta modificación en las curvaturas de los meridianos principales sea debida a la acción mecánica del párpado sobre la superficie corneal.

2.3.2 MEDIDA DEL ASTIGMATISMO CORNEAL

2.3.2.1 ANALISIS DEL FRENTE DE ONDAS

Una de las principales aplicaciones de la teoría ondulatoria de la luz es el análisis del frente de ondas. Los mapas del frente de onda corneal pueden calcularse mediante un algoritmo de trazada de rayos usando rayos luminosos que llegan paralelos a través de la superficie anterior de la córnea, y a continuación descomponiendo el frente de onda en propagación mediante un análisis polinómico de Zernike, de una forma similar a la que se utiliza en los sensores oculares de frente de onda (40, 41).

Este análisis puede realizarse clínicamente por cuatro métodos: Hartmann-Shack, Tscherning, trazado de rayos sónicos de haz fino y diferencia de trayecto óptico. Cada información explica muchos de los síntomas visuales del paciente.

La técnica más popular es el sensor del frente de ondas de Hartmann-Shack, mediante el cual se enfoca un haz láser de baja potencia sobre la retina. Un punto de la retina actúa como fuente puntual, y la luz reflejada se propaga de vuelta a través de los elementos ópticos del ojo. En un ojo perfecto todos los rayos emergerían paralelos, en la realidad esto no es así, y la forma del frente de ondas se puede determinar a partir de la posición del foco de cada detector.

Las aberraciones ópticas pueden expresarse como diversas formas básicas, cuya combinación representa la aberración total del sistema, y se describen, como hemos mencionado, mediante polinomios de Zernike (42).

refracción. Simplificando aún más podemos sustituir las dos superficies de la córnea por un solo dioptrio. Si calculamos el índice de refracción más apropiado para conservar el radio anterior de la córnea de 7,7 mm para un poder refractor de 43,05 D,

$$F = \frac{n'}{f'} = \frac{n' - n}{r}$$

$$43,05 = \frac{n - 1}{0,0077}$$

$$n = 1,3315$$

Si en lugar de este valor se toma el índice del humor acuoso como 1,336 quedaría una potencia de la córnea de

$$F = \frac{1,336 - 1}{0,00777} = + 43,64 \text{ D}$$

El error es apreciable: 0,59 D. Tomando el índice de la córnea como 1,376 y aplicando la fórmula el error es de 5,78 D. Este error tiene transcendencia en el

cálculo del astigmatismo corneal, ya que, aunque sea menor del 10% del poder refractor de la córnea se traduciría en un error de hasta 0,578 D.

La suposición de que el índice $n=1,3315$ es el más apropiado para calcular el poder refractor de la córnea será cierta si se cumple que la relación entre los radios anterior y posterior de la córnea conserven el valor 7,7:6,8, y el espesor corneal sea de 0,5 mm.

Otros fabricantes de queratómetros aplican otros valores estadísticos de los parámetros oculares y toman $n=1,3375$ para tener una potencia de 45 D para un radio de curvatura anterior de 7,5 mm (44).

La córnea refleja un 4% de la luz por estar recubierta de la lágrima, por lo tanto, podemos considerar la córnea central como un espejo esférico convexo, la

imagen es virtual, derecha y menor que el objeto. Midiendo el aumento lateral se podría deducir el valor del radio. Así,

$$B' = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{z} = -\frac{r}{2z}$$

$R = -2\beta'z$, que será ecuación exacta de la queratometría.

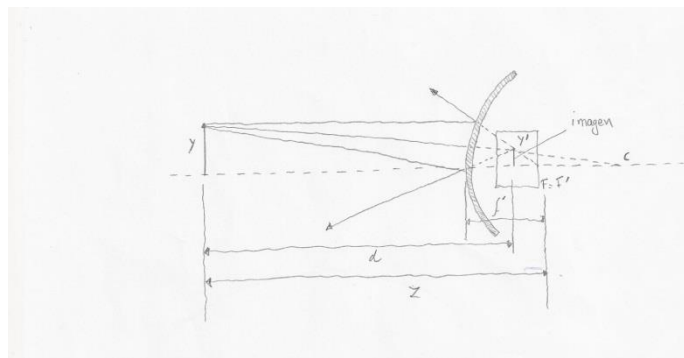


Figura 11. El radio de curvatura de la córnea se puede deducir de la medida del tamaño de la imagen reflejada (primera imagen de Purkinje).

Hay tres problemas para hacer esta medida con precisión:

- La imagen es virtual, está en el interior del ojo.
- La imagen es muy pequeña.
- La imagen se desplaza cuando el sujeto parpadea o mueve el ojo.

Para resolver el primer problema se utiliza un objetivo que recoge los rayos reflejados en la córnea y forma una segunda imagen de las miras situada fuera de la córnea. El segundo problema se resuelve utilizando un ocular para ver aumentada la segunda imagen de las miras. El tercer problema se resuelve utilizando un sistema duplicador que produzca doble imagen de cada una de las miras.

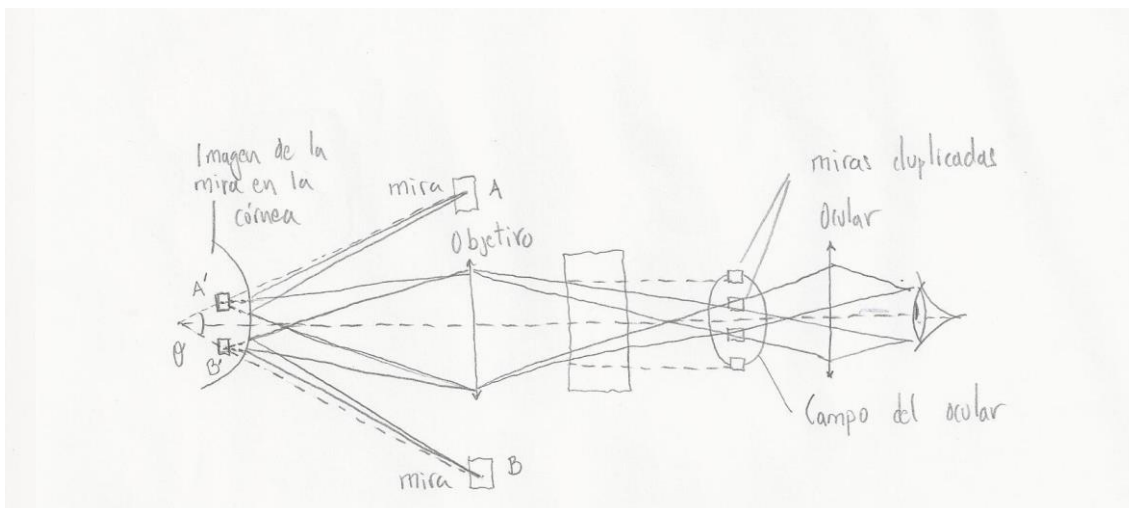


Figura 12. *Uso de microscopio para medir aumento y sistema duplicador de miras.*

De esta manera, sobre el par central de miras duplicadas se ve en el campo del ocular. La medida del tamaño se hace por coincidencia de las miras, los

movimientos oculares no impiden la medida, ya que, aunque se mueva el ojo la distancia entre las imágenes duplicadas no varía.

La distancia z' que se utiliza en la ecuación exacta de la queratometría no se conoce, ya que no se puede determinar con exactitud la posición del foco imagen de la córnea usada como espejo. Sin embargo, la distancia de las miras a la imagen es conocida, ya que la imagen de las miras está en el foco objeto del microscopio. Como ambas distancias son similares se puede tomar $d = -z'$

Entonces, la ecuación aproximada de la queratometría es:

$$r = -2\beta'd$$

La queratometría tradicional no mide más que la curvatura de los 3 mm centrales de la córnea. Este resultado no representa toda su superficie, puesto que la curvatura se va aplanando al avanzar del vértice hacia el limbo.

A. QUERATOMETROS MANUALES

Dentro de este tipo, distinguimos tres modelos diferentes:

-Queratómetros manuales de miras móviles y sistema duplicador fijo, son los Javal-Schiotz. En ellos las miras se mueven sobre un arco graduado, el sistema duplicador es un prisma birrefringente (Wollaston), y la coincidencia se logra moviendo las miras sobre el arco.

-Queratómetros manuales de miras fijas y sistema duplicador de tipo móvil, tipo Helmholtz. En estos el haz de luz se divide en 4 partes mediante un diafragma múltiple: la luz de la zona 1 atraviesa un prisma de base lateral izquierda, la luz de la zona 2 atraviesa un prisma de base superior, la luz de las zonas 3 y 4 atraviesa láminas planoparalelas y no se desvía. El área de la zona 1 es igual a la 2 y ambas iguales a la suma de 3 y 4, de esa forma, las tres imágenes producidas tienen la misma luminosidad.

-Queratómetros manuales telecéntricos: oftalmómetro Zeiss-Oberkochen. Se denominan así porque las miras están colimadas al infinito, luego la imagen se forma exactamente sobre el foco de la córnea, por lo que se cumple la ecuación exacta de la queratometría.

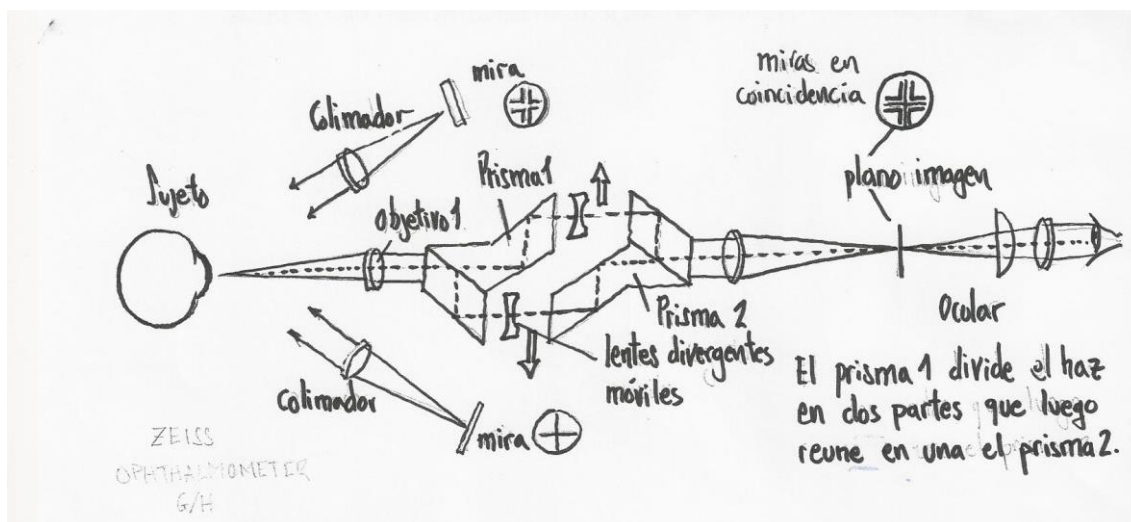


Figura 13. Queratómetro telecéntrico.

B. QUERATOMETROS AUTOMATICOS

Proporcionan de una manera automática los radios corneales del sujeto, evitando la operación de coincidencia de las miras, así el operario solamente

tiene que alinear el instrumento frente a la córnea del sujeto, y el instrumento indica cuando el alineamiento es correcto.

La medición simultánea en 3 o 6 ejes determina los radios de curvatura en cada meridiano y la dirección del eje de astigmatismo. Se representa solamente uno de los tres diodos emisores (IR LED) que envían luz a través del colimador hacia el modulador y los tres focalizan en un mismo plano.

El proyector forma una imagen del plano detrás de la córnea del paciente, de manera que parte de los haces reflejados por la córnea lleguen a los detectores.

De las tres medidas obtenidas se deduce la dirección de los meridianos principales y la potencia respectiva (45).

2.3.2.3 TOPOGRAFIA CORNEAL

La primera tecnología que se desarrolló para la medición de la forma de la superficie corneal, y que aún es la más utilizada, es la topografía placido (48, 49). La ventaja de esta tecnología es que la precisión y el rendimiento están bien documentados y sus principios son familiares para la mayoría de los clínicos. El inconveniente es que la medición se limita a la superficie corneal anterior.

La topografía corneal proporciona información muy detallada sobre la curvatura de la córnea valiéndose de imágenes capturadas a partir de los patrones de un disco de Plácido constituido por numerosos anillos concéntricos iluminados reflejados en la superficie corneal. Las series de anillos concéntricos pueden considerarse como series de múltiples miras de tamaño diferente, todas en el mismo plano. El anillo central funcionaría básicamente como la mira clásica de un queratómetro y actuaría como un blanco de referencia para los 3 mm centrales de la córnea.

Si se mantiene una serie plana de anillos iluminados a la distancia habitual de la córnea, únicamente se podrán medir con exactitud los 7 mm centrales. Para medir la curvatura más próxima al limbo los anillos han de aportar la forma de una superficie cóncava, de manera que las distancias que los separan de la córnea se mantengan parecidas en toda su extensión.

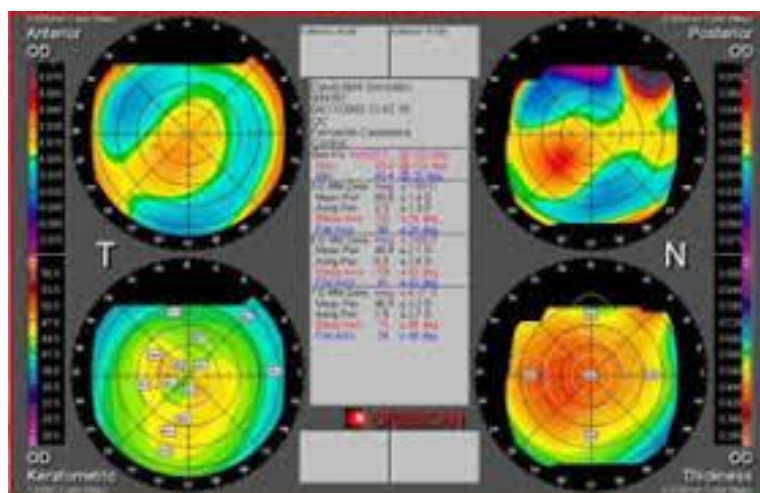


Figura 14. Imagen topografía corneal.

Pueden generarse perfiles de curvatura mediante diversas tecnologías, cada una proporciona información diferente sobre curvatura, anatomía y función biomecánica de la córnea. Además, pueden mostrar otros datos como tamaño y

localización de la pupila, índices de estimación del astigmatismo regular o irregular, o asfericidad corneal. Otros sistemas topográficos pueden integrar los datos de aberrometría del frente de ondas con los topográficos.

En la era de la cirugía refractiva guiada por el frente de onda, la relevancia que proporciona la información obtenida mediante el estudio de la topografía corneal se ha eclipsado por la emoción suscitada en torno a los sensores oculares de frente de onda y a su capacidad de medir las aberraciones ópticas del ojo. Sin embargo, ambas herramientas son necesarias para la planificación preoperatoria, el seguimiento post operatorio, y la comprensión de los síntomas visuales (46, 47).

La topografía corneal proporciona un método de valoración de la superficie corneal, y el análisis del frente de onda evalúa la formación de la imagen, la función, por parte de todo el sistema ocular. Por tanto, para mejorar la formación de la imagen en la retina es fundamental conocer cómo se integran forma y

función, sobre todo porque el total de las aberraciones inducidas se originan en la córnea.

2.3.3 ANALISIS DEL ASTIGMATISMO CORNEAL

El astigmatismo inducido en la cirugía de cataratas es un problema que ha acompañado desde sus inicios.

El análisis de la manera más precisa posible del astigmatismo corneal antes y después de la cirugía de cataratas es clave para así cuantificar el éxito alcanzado, por ello se han realizado diferentes estudios que lo analizan de manera vectorial, habida cuenta que tratamos de medir una magnitud con componente direccional.

La relativa complejidad de los datos de la refracción ha impulsado el desarrollo de diversos métodos para el procesamiento y análisis de los datos (50). Entre

estos se encuentran los descritos por Alpíns, Holladay, Long, Kaye, Nasser, entre otros (51). El método de Alpíns utiliza tres vectores principales, el método de los vectores de fuerza o “power vectors” de Thibos (52) expresa los errores refractivos esferocilíndricos como vectores de fuerza que representa como puntos en un sistema de tres dimensiones. Hasta donde sabemos, los análisis de Alpíns y Thibos no son fácilmente intercambiables entre sí, cuando se trata de sus resultados matemáticos e interpretación

El método Alpíns se basa en ecuaciones algo complejas, que precisa de programas informáticos complejos. El método Thibos requiere un diseño mucho más simple para llevar a cabo sus cálculos, sin exigir ningún software específico.

2.4 INCISIONES EN CIRUGIA DE CATARATAS CON FACOEMULSIFICACION

Partiendo de la base de que el objetivo principal de las incisiones en la cirugía de cataratas es permitir el paso del instrumental necesario para la extracción del cristalino opaco e implante de la lente intraocular escogida, las incisiones en la cirugía de cataratas han ido evolucionando a lo largo del tiempo persiguiendo también como objetivos fundamentales ser anastigmáticas y estancas.

Con este fin han ido modificando tanto su forma como la localización y su tamaño. Las características anatómicas diferentes entre córnea y esclera, así como las del limbo, que tiene características comunes a ambas estructuras, y sobre todo, la ausencia o no de vascularización, son aspectos de extrema importancia a la hora de pensar en la planificación incisional. Nos centraremos en incisiones corneales en las que no es necesaria la coagulación, circunstancia también relacionada con el astigmatismo inducido (53).

Las incisiones con facoemulsificación son las que consideramos de pequeño tamaño, y que pueden no precisar de suturas. Mientras que este concepto de incisión pequeña ha ido cambiando a lo largo de los años, lo que no ha ido cambiando es el intento de operar las cataratas con incisiones menores de 1 mm.

Las incisiones pequeñas ponen límite al instrumental, a las lentes intraoculares a implantar, y hacen más complicada su manipulación, Sin embargo, la incisión será más estable, producirá menor inflamación y menor ruptura de la barrera hemato-acuosa (54). Por esta razón, al mismo ritmo que el tamaño de la incisión se ha ido reduciendo, ha sido necesario desarrollar material específico y renovar la arquitectura incisional con el fin de evitar complicaciones.

En general, para la práctica quirúrgica se mantiene el objetivo de realizar todos los actos necesarios a través de las incisiones más pequeñas posibles, manteniendo una serie de características deseables cualquiera que sea su

tamaño, como son la facilidad y reproductibilidad de ejecución, permitir la realización de todas las maniobras de la facoemulsificación e implante de lente intraocular sin alterar la estructura de la incisión ni comprometer la visión, predecir la evolución astigmática y asegurar la pronta estabilización refractiva.

La realización de las incisiones en cornea clara se practicó con asiduidad a partir de Fine (55), aunque ya en 1968 lo había propuesto Kelman (56). No obstante, Shimizu pasará a la historia como uno de los precursores de la cirugía de cataratas con facoemulsificación abordada en córnea.

Estas incisiones presentan una clara ventaja respecto a las esclerales, dada la circunstancia de la no vascularización de la estructura corneal, no precisan ser cauterizadas puesto que no van a sangrar. Por ello, el astigmatismo que induce es más controlado y de menor cuantía (57).

Se considera maniobra obligada en la cirugía de cataratas con facoemulsificación en córnea clara la práctica de la paracentesis. Es una incisión accesoria, tunelizada autosellable, practicada normalmente en la córnea, a través de la cual se introduce viscoelástico en cámara anterior mediante una cánula (58).

Para clasificar las incisiones corneales en facoemulsificación podemos seguir dos criterios diferentes: según su localización anatómica o según sea su arquitectura. En el primer caso nos encontraríamos con tres posibles soluciones: situando la incisión externa posterior al limbo esclerocorneal, sobre la conjuntiva superpuesta al limbo, o anterior a la inserción limbar de la conjuntiva. En el segundo caso podemos dividir las incisiones con o sin precisión en el diseño externo.

Las incisiones corneales, practicadas tal y como se vienen haciendo en la actualidad según los criterios establecidos, son lo necesariamente estables para

asegurar la seguridad ocular, no obstante hay trabajos que evidencian una mayor o menor seguridad y estanqueidad en función de la arquitectura de las mismas (59).

Dentro de las incisiones en córnea están descritas tres técnicas atribuidas a Fine, Williamson (60) y Langerman (61), a los que algunos autores atribuyen la mayor contribución en el campo del diseño incisional. Fine práctica una incisión recta en un solo paso que llega hasta la cámara anterior, que resulta ser de 2,0 mm de túnel y 3,0 mm de ancho. Williamson comienza con una preincisión arcuata, y en un segundo paso realiza el túnel corneal con un recorrido de 2 mm, anchura externa 3,5 mm e interna 3,2 mm. La incisión de Langerman también llamada en bisagra se realiza con una pre incisión y tunelización posterior que comienza a medio milímetro de profundidad, lo que condiciona el efecto bisagra (62).

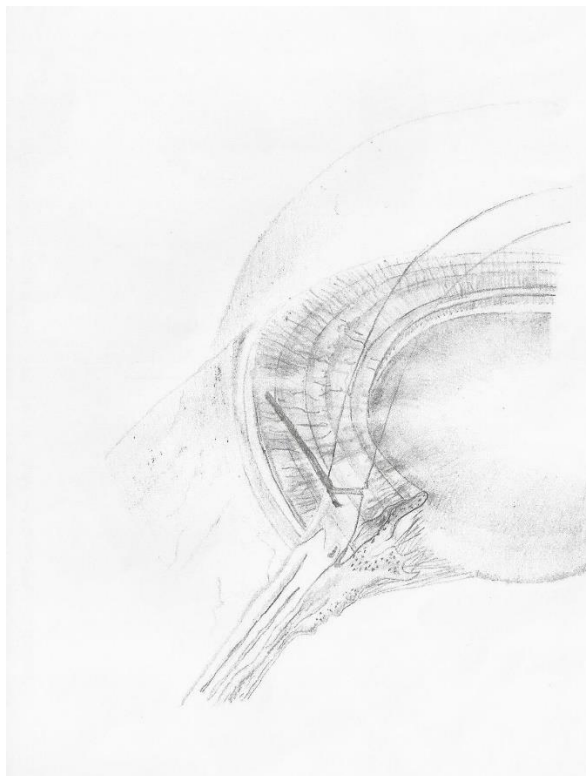


Figura 15. Incisión en bisagra, la profundidad de la incisión condicionará el efecto "bisagra".

Nos parece importante mencionar en este apartado dos reglas generales en las incisiones, la regla de la válvula y la de la bisagra (63). La primera menciona un efecto que asegura el cierre de la herida: "las incisiones a través de la pared del globo ocular producen válvulas cuyo margen de seguridad es igual a la proyección de la superficie de la incisión sobre la superficie del globo ocular". La regla de la bisagra postula: "una incisión sobre la que actúan fuerzas

perpendiculares va a mantenerse hermética si su bisagra se encuentra enteramente dentro de la superficie de la herida”

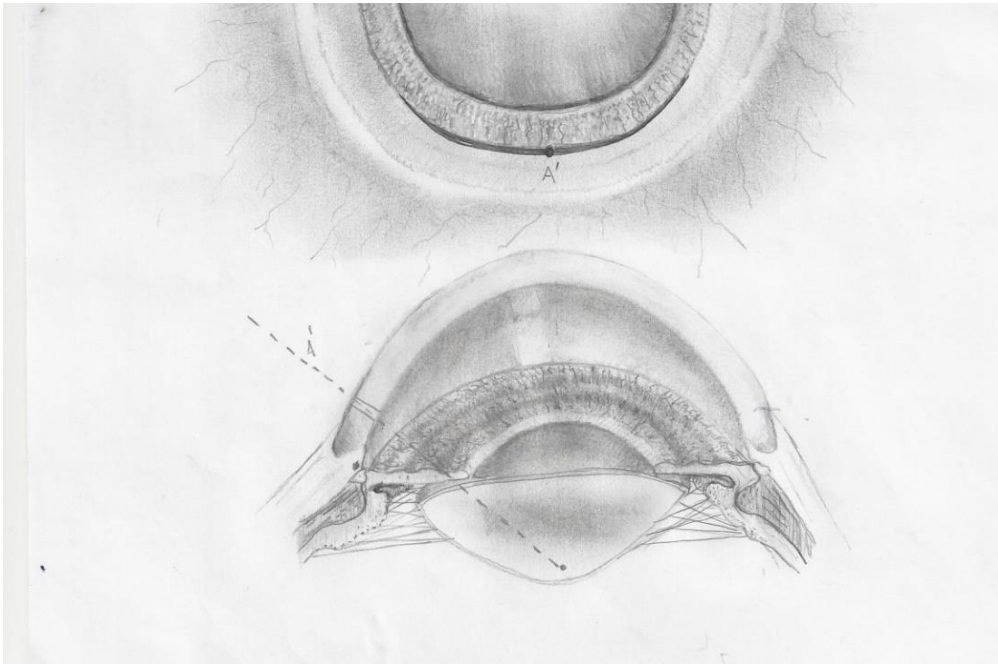


Figura 16. Regla de la válvula. El margen de seguridad de la incisión es proporcional a la proyección de la superficie de corte.

Si la incisión se realiza en un solo paso no debe ser perpendicular a la córnea, para preservar lo más posible la hermeticidad. También es posible realizar una preincisión y después penetrar a la cámara anterior con una tunelización

posterior, o hacer un tercer paso con una incisión interna que ejerce efecto de válvula (51).

2.4.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL EFECTO ASTIGMATICO DE LAS INCISIONES

La zona óptica corneal central tiene un diámetro de 4 mm, y los cambios que se produzcan en la curvatura perteneciente a esta área tendrán repercusiones refractivas. Para delimitar el área en el que las incisiones tendrán efecto sobre la zona óptica corneal central se define el anillo óptico corneal, que abarca la corona circular existente entre esclera y córnea que coincide internamente con la porción anterior de la malla trabecular (64), motivo por el cual ejerce un fenómeno de barrera.

Es un hecho conocido que los actos quirúrgicos esclerales no modifican la curvatura de la córnea y viceversa. Por esta razón entendemos que una incisión en córnea clara será astigmática, y podremos aprovecharnos de este efecto para

minimizar el astigmatismo previo eligiendo de manera adecuada la colocación de la incisión.

Todas las incisiones corneales tienen la propiedad de aplanar la córnea en el meridiano donde se practican (65). Si se practica la incisión en el meridiano más curvo, tendrá un efecto de aplanamiento sobre dicho meridiano, y además se producirá un fenómeno que conocemos como acoplamiento, que es la capacidad de incurvar el meridiano perpendicular al anteriormente mencionado. La morfología de la incisión regulará la relación entre el aplanamiento e incurvamiento, pero en general se considera que las incisiones transversas tienen un acoplamiento de 2/1, y las arcuatas de 1/1 (58).

En el caso de la paracentesis, parece sufrir una mayor deformación debido al mayor ajuste del instrumental a su paso. Están reseñados casos de pérdidas en la hermeticidad de las microincisiones en el postoperatorio (66).

Podemos decir que la arquitectura, el tamaño y la distancia al eje visual son factores condicionantes clave en el astigmatismo inducido quirúrgicamente, aunque otros factores que podríamos considerar secundarios afecten también, aunque en menor medida.

Entenderemos por arquitectura de la incisión si ésta ha sido practicada en un solo trayecto quirúrgico o en dos, diferenciados en una preincisión y una tunelización posterior que penetra directamente en cámara anterior.

Hasta un límite, a mayor longitud, mayor será el efecto astigmático (67) . Parece existir una relación lineal entre el tamaño de la incisión y el aplanamiento producido en el eje donde ha sido practicada (68).

Respecto a la profundidad de la incisión, el efecto es mayor cuanto más profunda sea ésta (69). Asimismo, el efecto astigmático será mayor cuanto más cerca del eje óptico sea practicada. El eje de la incisión influye también en el efecto

astigmático, si se practica en el meridiano vertical tiene más efecto que en el horizontal (70).

Una incisión radial produce aplanamiento en el eje donde se realiza, y un aplanamiento a 90°, por lo que al hipermetropizar al paciente es utilizada en casos de miopía. Sin embargo, las incisiones transversas, ya sean rectas o arqueadas, producen aplanamiento en el eje de la incisión e incurvamiento a 90° (71).

La edad también es un factor a tener en cuenta, con el tiempo la elasticidad corneal disminuye y el efecto astigmático de las incisiones aumenta (72).

Algún trabajo relaciona el material del cuchillete empleado Algunos autores encontraron que, pese a que a los seis meses de la cirugía no se apreciaban diferencias, en el postoperatorio inmediato sí había un menor astigmatismo en los operados con cuchillete de diamante respecto al acero. También hay

literatura que sugiere que en la inducción de aberraciones influye el tipo de bisturí utilizado en la tunelización intraestromal. Para ciertos autores, con bisturís arqueados no se produce inducción de aberraciones de alto orden, que sí aumentan con bisturís planos (73).

Por otra parte, es habitual que las incisiones en la cirugía que tratamos no precisen de sutura, por lo que, al producirse dehiscencia, las incisiones actúan como si se hubiera aumentado el tejido corneal, por consiguiente, se aplana.

2.5 ALTERNATIVAS PARA LA CORRECCION DEL ASTIGMATISMO EN CIRUGIA REFRACTIVA DEL CRISTALINO

Actualmente destacamos tres procedimientos que se realizan de manera única, combinados, o en pasos sucesivos.

2.5.1 TRATAMIENTO DEL ASTIGMATISMO CON TECNICA INCISIONAL

Ya en 1885, Schiøtz describió la realización de incisiones corneales para tratar el astigmatismo tras la extracción de cataratas. Más adelante, en 1898 Lans von Leyden estudió de forma sistemática el efecto astigmático de las incisiones en ojos de conejos describiendo muchos principios que aún se aceptan en la actualidad, y en 1981, Luis Ruiz apreció que el meridiano perpendicular a aquel en el que se realizó una incisión trasversa se vuelve más curvo mientras que el meridiano implicado se aplanaba. No obstante, el primer cirujano que a la vez que intervenía de cataratas intentó corregir el astigmatismo previo fue Osher (74), y más tarde Thornton (75) propuso una técnica que consistía en practicar seis incisiones arcuadas.

Dentro de la técnica incisional se podrá hacer la mencionada incisión en el meridiano más curvo o practicar incisiones adicionales, no necesarias para la cirugía de la catarata de manera estricta, sino para la eliminación del astigmatismo corneal prequirúrgico, que se realizarán en córnea, limbo o las

llamadas arcuatas. La técnica mediante incisiones corneales opuestas consiste en practicar una incisión en córnea clara a 180 grados de la incisión principal de la facoemulsificación y con el mismo cuchillete (76).

Mediante incisiones para eliminar el astigmatismo corneal también se encuentra el método de realizar al final de la cirugía incisiones corneales relajantes. Se realizan a nivel del limbo y causan menor irregularidad corneal que las localizadas más cerca del eje visual. Su principal inconveniente parece ser la hipercorrección (77 - 79). Con esta técnica se recomienda tratar astigmatismos por debajo de las 3,0 D.

Al igual que las anteriores existen diversos nomogramas que indican localización, longitud y profundidad según el astigmatismo que queramos corregir. Cada uno utiliza diferentes variables.

No parece haber resultados concluyentes a cerca de la técnica más eficaz dentro de las incisiones relajantes para la eliminación del astigmatismo corneal preexistente (80), pero se puede planear la cirugía considerando que el astigmatismo no se verá modificado en un periodo de al menos 10 años (81).

Similar a ésta, existe también para astigmatismos de baja potencia la técnica de practicar incisiones opuestas en cornea clara (82), sobre la que también se han hecho estudios comparativos (83). El objetivo de estas incisiones idénticas y opuestas es aplanar el meridiano corneal de mayor curvatura, una de ellas es utilizada para realizar la facoemulsificación y la otra no se utiliza.

La queratotomía astigmática consiste en incisiones arcuatas que se practican en media periferia corneal con el objetivo de eliminar astigmatismos moderados o altos, efecto que consigue por realizarse más cerca del ojo óptico. Esta técnica es más predecible en pacientes jóvenes. Al estar más cercanas del eje visual es más probable que el paciente sufra deslumbramientos tras la cirugía. La

utilización de zonas ópticas de 7 mm minimiza este efecto. Para todas estas técnicas habrá mayor efecto astigmático cuanto más larga sea la incisión y cuanto más cercana este del centro corneal (84 - 86).

Dentro de la técnica incisional en córnea clara para la corrección del astigmatismo, hay numerosos estudios que valoran el efecto en función de diferentes circunstancias.

Dando por sentado que la elección del eje más curvo es la adecuada, el grosor corneal y su relación con el eje más curvo parece significativo. En ojos con un grosor corneal superior a 714,5 μm y un astigmatismo corneal contra la regla mayor de 0,35 D, la incisión puede causar un efecto de torsión significativo y un cambio en el meridiano más plano, lo que contribuye a un incremento del astigmatismo residual postoperatorio después de la cirugía de cataratas (87).

También parece concluyente que la incisión efectuada en córnea clara temporal es menos astigmática que la incisión corneal superior (88), y podría ser diferente el aplanamiento si es ojo derecho o izquierdo (89).

Si se comparan las diferentes técnicas incisionales, no parece ser definitiva la elección entre las limbares o corneales, pero todas ellas parecen ser adecuadas para la corrección astigmática (80, 90, 91, 92).

La contraincisión en la cirugía de la facoemulsificación es una técnica sencilla, con buenos resultados, económica, relativamente predecible y con escasa regresión. Se la considera útil para astigmatismos moderados (93, 94)

2.6.5.2 TRATAMIENTO DEL ASTIGMATISMO CON LENTES TORICAS

2.5.2.1 HISTORIA

En 1992 y de manera paralela se desarrollaron lentes tóricas para la compensación del astigmatismo tanto en EEUU como en Japón, que presentaban diferentes características. Shimizu presentó una lente ovalada de tres piezas fabricada en PMMA de 6,5 x 5,5 mm con dos agujeros para su posicionamiento (95) en cuyo eje menor se posicionaba el cilindro.

Dos años más tarde a la presentación pública, están referidos los primeros resultados con la implantación de esta lente. En ellos se destaca el efecto de la rotación de la lente sobre el astigmatismo, siendo 35 los grados a partir de los cuales el efecto de la corrección es negativo. Se resalta también la circunstancia del sentido de la rotación, que siempre se produce en el sentido contrario al de las agujas del reloj, así como que la corrección es mayor con lentes de +3 D comparadas con las de +2 D (96).

Para realizar el implante de estas lentes era necesario ampliar la incisión. Este hecho, sumado al ya mencionado de la rotación hizo fracasar el diseño, sin embargo, se pudo comprobar que eran eficaces prestando la adecuada importancia a la rotación de la lente dentro del saco.

En 1995 se presentan los primeros resultados de un diseño de lente intraocular tórica fabricada por la casa STAAR que consiste en una lente plegable monobloque con superficie tórica en la cara anterior y un cilindro de +2,0 D orientado en el eje longitudinal. Los agujeros de posicionamiento estaban situados en los hápticos de plato (97).

En 1998 la FDA aprobó el diseño de esta lente con algunas modificaciones: aumento del diámetro de los agujeros de posicionamiento y del tamaño de la lente, con el fin de conseguir mayor estabilidad dentro del saco (98).

2.5.2.2 CONSIDERACIONES ACERCA DE LAS LENTES TORICAS

Las lentes intraoculares tóricas tienen la ventaja de corregir el astigmatismo en la misma cirugía de la catarata, sin necesidad de cambiar la técnica quirúrgica.

En principio el resultado es más predecible a corto y largo plazo que actuando sobre los meridianos (99), y en caso necesario se podía rotar o cambiar la lente en una cirugía posterior. Actualmente parece una buena opción su implantación con alineación automática (100).

Una gran ventaja de la lente tórica es la predictibilidad, que no hay que relacionar con un nomograma, cuya reproducibilidad es más variable. Además, permite corregir astigmatismo de alta graduación mediante lentes personalizadas.

Dentro de los inconvenientes debemos citar la necesidad de que el saco capsular se encuentre íntegro, la limitación en potencia que nos podríamos encontrar en función de la casa comercial, y como principal inconveniente la posibilidad de la

rotación de la lente. Así, por cada grado que rote el cilindro que tenemos pensado inducir la potencia varía un 3,3 % (101 - 103).

Diferentes estudios que comparan la efectividad de la técnica incisional con el implante de lentes tóricas no llegan a una conclusión definitiva de la bondad de uno respecto a otro (104 - 106).

A. ROTACION

Los primeros estudios sobre las lentes tóricas sirvieron para ser aprobadas por la FDA las lentes de la casa STAAR, en ellos se estudia la incidencia y magnitud de la rotación de lentes intraoculares tóricas, y difieren ligeramente de los que publicó Grabow (107).

Los resultados de la rotación de las lentes intraoculares se corresponden con los que publicó Guyton cuando se corrige el astigmatismo con una lente cilíndrica

en lente oftálmica (108). La lente deja de ser efectiva según te alejas del eje adecuado. En el caso de una intraocular por cada 10° de desviación se pierde $1/3$ del efecto, a partir de 30° se aumenta el astigmatismo previo del paciente.

Desde la aparición de las lentes intraoculares tóricas se han presentado numerosos estudios con diferentes lentes que describen la incidencia de la rotación y recalcan el hecho de los que no necesitan corrección óptica en lejos tras la cirugía de cataratas con el implante de estas lentes (109).

2.6.3 LASER DE FEMTOSEGUNDO

Esta técnica se puede plantear antes o tras la cirugía de cataratas, para así compensar también el defecto refractivo residual post operatorio. Existen numerosas plataformas para la realización de esta técnica (110).

CAPITULO 3

OBJETIVOS E HIPOTESIS DE TRABAJO

CAPITULO 3

OBJETIVOS E HIPOTESIS DE TRABAJO

3.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Los objetivos de este trabajo prospectivo observacional son:

Analizar los cambios refractivos y topográficos tras una cirugía de cataratas con incisión pequeña e incisión accesoria.

Investigar, sabido el astigmatismo corneal pre y post quirúrgico, los ejes donde se han practicado tanto la incisión principal como la paracentesis, si ésta última ha podido inducir astigmatismo.

3.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

Como objetivos secundarios se valorarán:

Analizar si la paracentesis en cirugía de cataratas con incisión pequeña por sí misma es astigmática.

Analizar si la paracentesis puede ser o no astigmática según el ángulo que tenga respecto a la incisión principal.

Analizar si la paracentesis es astigmáticamente diferente en función de la cuantía del astigmatismo corneal existente antes de la cirugía.

Analizar si la paracentesis es astigmáticamente diferente en función de la localización del meridiano más curvo antes de la cirugía.

Analizar la eficacia de la elección del eje adecuado en la realización de la paracentesis como técnica refractiva.

3.3 HIPOTESIS CONCEPTUAL

Para córneas similares astigmáticamente, y practicada en cada una de ellas la incisión principal en el mismo eje, pero realizando en cada una la paracentesis accesoria en diferentes posiciones, valoramos las diferencias de astigmatismo corneal después de sendas cirugías.

En el caso de que la paracentesis no interfiera en el resultado astigmático final, el valor de éste debería no diferir significativamente cualquiera que sea la posición donde se realice la paracentesis, habiendo sido practicada la incisión principal en el mismo eje en córneas muy similares.

3.4 HIPOTESIS ALTERNATIVA

El lugar donde se realice la paracentesis, bien por sí mismo, bien por su relación con la incisión principal, afecta en el estado astigmático tras la cirugía de cataratas con facoemulsificación siguiendo un patrón similar.

3.5 HIPOTESIS NULA

El lugar donde se realice la paracentesis, bien por sí mismo, bien por su relación con la incisión principal, afecta en el estado astigmático final tras la cirugía de cataratas con facoemulsificación, no siguiendo ningún patrón que nos permita sacar conclusiones.

CAPITULO 4

MATERIAL Y
METODO

CAPITULO 4

MATERIAL Y METODO

4.1 DISEÑO

Se seleccionarán pacientes mayores de 18 años, afectos de cataratas, que presenten un astigmatismo corneal previo a la cirugía de cataratas inferior a 2,0 D y que no hayan tenido intervenciones quirúrgicas anteriores que hubieran podido afectar a la córnea. Posteriormente serán excluidos aquellos que presenten complicaciones intraoperatorias o que precisen suturas.

Se realizará una exploración preoperatoria a cada paciente, que incluirá la anamnesis y un examen funcional, donde se medirán las agudezas visuales en visión lejana y cercana con su mejor corrección y se le realizarán las siguientes pruebas:

Tonometría, biometría, biomicroscopía, retinografía, queratometría, aberrometría y topografía corneal.

Los pacientes se dividirán de la siguiente manera:

En primer lugar, se formarán tres grupos en función de la cuantía del astigmatismo corneal que presenten previo a la cirugía. Cada grupo de éstos será a su vez dividido según si dicho astigmatismo previo es a favor de la regla, en contra de la regla u oblicuo.

Así, tenemos 9 grupos:

1. Astigmatismo corneal previo entre 0,5 y 1,0 D a favor de la regla.
2. Astigmatismo corneal previo entre 0,5 y 1,0 D en contra de la regla.
3. Astigmatismo corneal previo entre 0,5 y 1,0 D oblicuo.
4. Astigmatismo corneal previo entre 1,0 y 1,5 D a favor de la regla.
5. Astigmatismo corneal previo entre 1,0 y 1,5 D en contra de la regla.
6. Astigmatismo corneal previo entre 1,0 y 1,5 D oblicuo.

7. Astigmatismo corneal previo entre 1,5 y 2,0 D a favor de la regla.
8. Astigmatismo corneal previo entre 1,5 y 2,0 D en contra de la regla.
9. Astigmatismo corneal previo entre 1,5 y 2,0 D oblicuo.

A cada uno de estos nueve grupos se les practicará la cirugía de cataratas realizando la incisión en el meridiano más curvo, y en cada grupo habrá pacientes a los que la paracentesis se les realice en el meridiano perpendicular al de la incisión principal, y pacientes a los que se les realice enfrentada a la principal.

Un mismo cirujano practicará la cirugía de cataratas siempre con la misma técnica de facoemulsificación, implantando una lente intraocular esférica en cámara anterior llena de viscoelástico bajo anestesia tópica, utilizando el mismo cuchillete y practicando la incisión principal en el meridiano más curvo. El eje se comprobará con queratómetro y topógrafo. La incisión principal se realiza en córnea clara con cuchillete de 2,2 mm y la paracentesis con cuchillete de 1,5 mm

Se precederá a un control postoperatorio al día siguiente de la cirugía, una semana después de cirugía, quince días después, un mes después y 6 meses después. En cada uno de los controles se repetirán las mismas pruebas que se realizaron en el preoperatorio.

4.1.1 CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA

El universo de nuestro estudio lo constituyen pacientes diagnosticados de catarata que han sido tratados quirúrgicamente por un mismo cirujano en la clínica Mompía, en un periodo comprendido entre 2013 y 2017.

4.1.2 Criterios de inclusión

- Seguimiento postoperatorio mayor de 6 meses.
- Disponer de todas las pruebas prequirúrgicas realizadas con el mismo material.

4.1.3 Criterios de exclusión.

Se excluyeron de este estudio aquellos pacientes que presentaron:

- Enfermedades generales.
- Enfermedades de los párpados.
- Trastornos o distrofias corneales.
- Astigmatismo irregular.
- Glaucoma.
- Degeneraciones retinianas y maculares,
- Finalmente, el estudio contó con una muestra que incluyó 117 ojos de pacientes operados con la misma técnica de facoemulsificación, los mismos cuchilletes, mismo material, y que cumplían los criterios de inclusión y exclusión expuestos.

4.2 MATERIAL

4.2.1 INSTRUMENTOS DE EXPLORACION

- Lámpara de hendidura TOPCON.

- Tonómetro Goldmann.
- Retinógrafo TOPCON TRC-NW8.
- Aberrómetro Hartmann Shack.



Figura 17. Aberrómetro Hartmann Shack.

- Analizador corneal Topcon CA 800. Estudio del relieve de la córnea y diferentes curvaturas de cada meridiano.



Figura 18. Topógrafo corneal.

- Autorrefractómetro Queratómetro Topcon TRK 1P. Radios de curvatura en los 3 mm centrales de la córnea.
- Biómetro Zeiss IOL Máster. Dispositivo óptico que permite el cálculo de la longitud axial del globo ocular mediante interferometría de coherencia parcial. Para la determinación de la potencia dióptrica de la lente intraocular que será implantada se utilizará la fórmula SRK/T.

4.2.2 INSTRUMENTAL QUIRURGICO

El instrumental quirúrgico incluye:

- Pinza Ultrata Capsulorhexis (Titanio).
- Gancho Rotador de Núcleo (Titanio).
- Phacochoopper (Titanio).
- Pieza de Mano Bimanual de Aspiración (Titanio).
- Pieza de Mano Bimanual de Irrigación (Titanio).
- Blefarostato Lieberman (Titanio).
- Anillo de Fijación (Titanio).
- Cuchilletos:

Cuchillete incisión principal MANI Ophthalmic Knife. Ref. MSL 22 Slit Anged 2.2mm Faco angulado. k1700485002022-02.



Figura 19. Cuchillete 2.2.

Cuchillete paracentesis MANI Ophthalmic Knife. Ref. MST 15° straight recta. K170136000 2022-05.



Figura 20. Cuchillete paracentesis.

- Pinza colibrí.

- Instrumental faco:

Microscopio quirúrgico con pedal para manejar el sistema de enfoque.

Aparato de facoemulsificador.

Mango de faco con sus puntas.

Mango de irrigación / aspiración.

- Lentes intraoculares:

Medicontur. Lente monobloque asférica precargada en un inyector.

Biconvexa acrílico hidrofóbico. Diámetro de la lente 13.0. Angulación 0°

diseño asimétrico con bóveda posterior. Constante A 118.9.

4.3 METODO

4.3.1 RECOGIDA DE DATOS Y CONTROL PREOPERATORIO

A. Exámenes Preoperatorios

- Queratometría. Para determinar la curvatura corneal en sus principales meridianos.

- Mejor agudeza visual con corrección y sin ella, Se determinó la visión del paciente y se cuantificó el déficit visual.

-Biometría. Para determinar el eje anteroposterior del globo ocular, el grosor del cristalino y profundidad de la cámara anterior.

- Topografía corneal. Para el análisis topográfico de la córnea.

- Aberrometría. Para el análisis de aberraciones corneales del frente de onda generadas por la superficie frontal de la córnea.

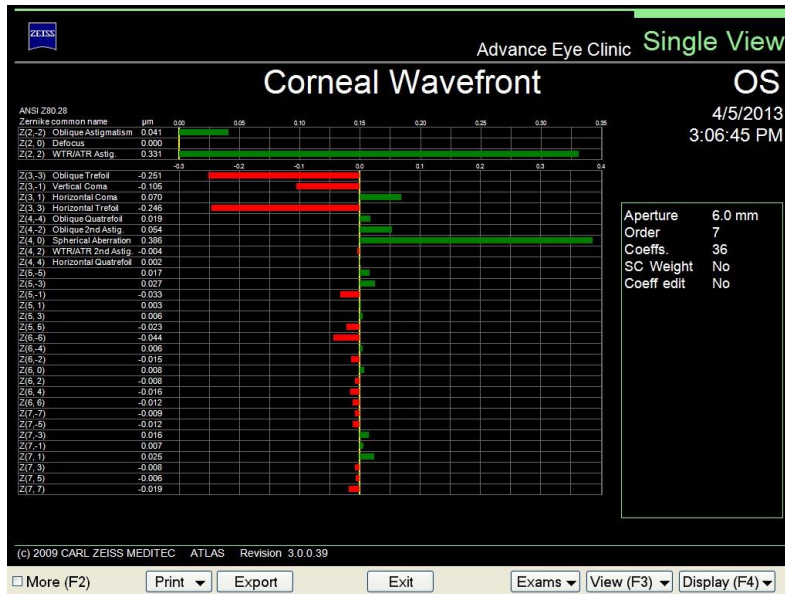


Figura 21. Mapa aberraciones oculares.

-Pupilometría dinámica. Grabación de de una secuencia de imágenes de la pupila según la variación de luz.

-Tonometría de aplanación de Goldmann. Para evaluar los valores de la presión intraocular.

-Biomicroscopía. Se realizó para observar las características del cristalino y el segmento anterior.

-Retinografía. Para evaluación de fondo de ojo.

-Tomografía de coherencia óptica. Para estudio de polo posterior.

B. Exámenes postoperatorios

Se realizan, con los mismos aparatos de exploración que los usados en los exámenes previos, a las 24 horas, siete días, 15 días, al mes, a los tres meses y a los 6 meses de la cirugía, para observar el estado del segmento anterior y la evolución del paciente. Incluyen:

-Biomicroscopía.

- Mejor agudeza visual corregida y sin corregir.

- Queratometría.

-Topografía corneal.

- Análisis de aberraciones corneales.

-Tonometría de aplanación de Goldmann.

4.3.2 TECNICA QUIRURGICA



Figura 22. Preparación del paciente

El primer paso de la cirugía es la anestesia tópica y midriasis, que se consiguen tras aplicación de Lidocaína al 2%, Tropicamida y Fenilefrina al 10%.

Con cuchillete de 1.5 mm de acero y punta trapezoidal se realiza la incisión de apoyo o paracentesis, fijando el globo ocular con pinza colibrí. El ángulo de ataque incisional será de 45 grados. La longitud será equivalente a la anchura del cuchillete y se realiza en un solo plano sin preincisión superficial. El cuchillete

penetra sobre el epitelio corneal justo por delante de la arcada vascular limbar y avanza hacia cámara anterior una longitud de 2.1mm. El borde externo de la inserción es anterior a la inserción limbar conjuntival.

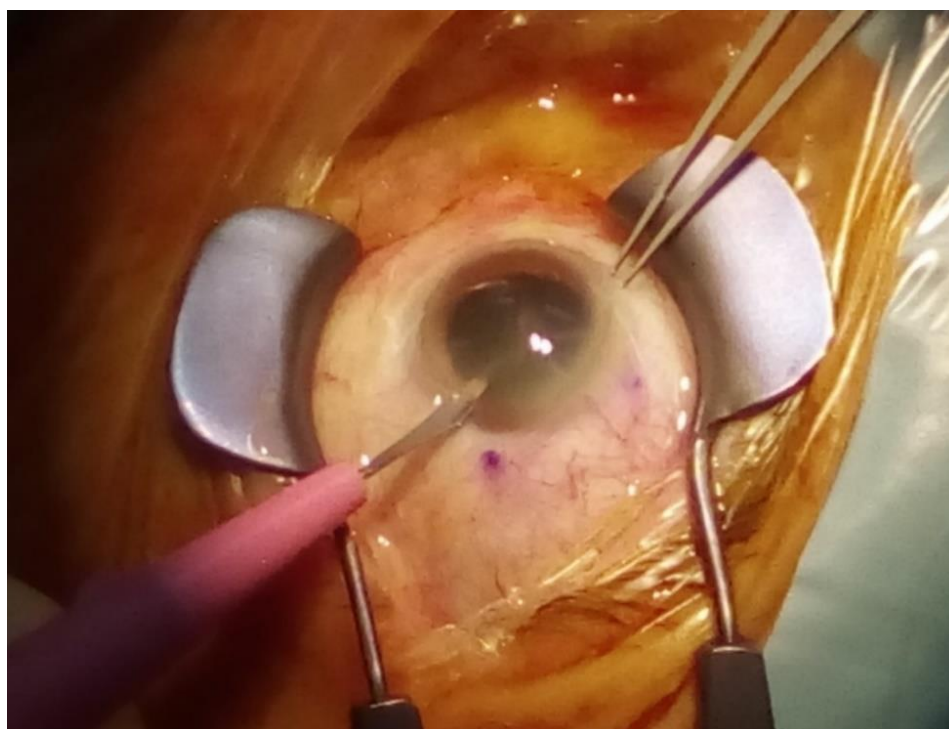


Figura 23. Incisión paracentesis.

Para mantener constante la profundidad de la cámara anterior, y evitar el desplazamiento antero o posterior del cristalino se rellena la cámara anterior de

viscoelástico cohesivo marca Provisc. Es introducido por la paracentesis mediante cánula de 27G.

La inyección de viscoelástico de baja y media densidad permite que el endotelio permanezca a distancia aceptable del tipo de facoemulsificación, además de aumentar la profundidad de la cámara anterior.

A continuación, se procede a la realización de la incisión principal en dos planos, que se inicia en un primer paso con el marcado de una incisión arqueada de 300 μm de profundidad que discurre paralela al limbo delante de la arcada vascular limbar. El cuchillete de 2,2 mm, avanza paralelo al plano del iris hasta que los ángulos del cuchillete alcanzan la incisión externa.

En ese momento la punta ha avanzado 1,75 mm en estroma corneal. Se penetra en cámara anterior y se avanza hasta que los ángulos del cuchillete alcanzan apertura interna.

El túnel incisional tendrá una apertura interna de 2,2 mm, una externa de 2,6 mm y una longitud intraestromal de 1,75 mm.

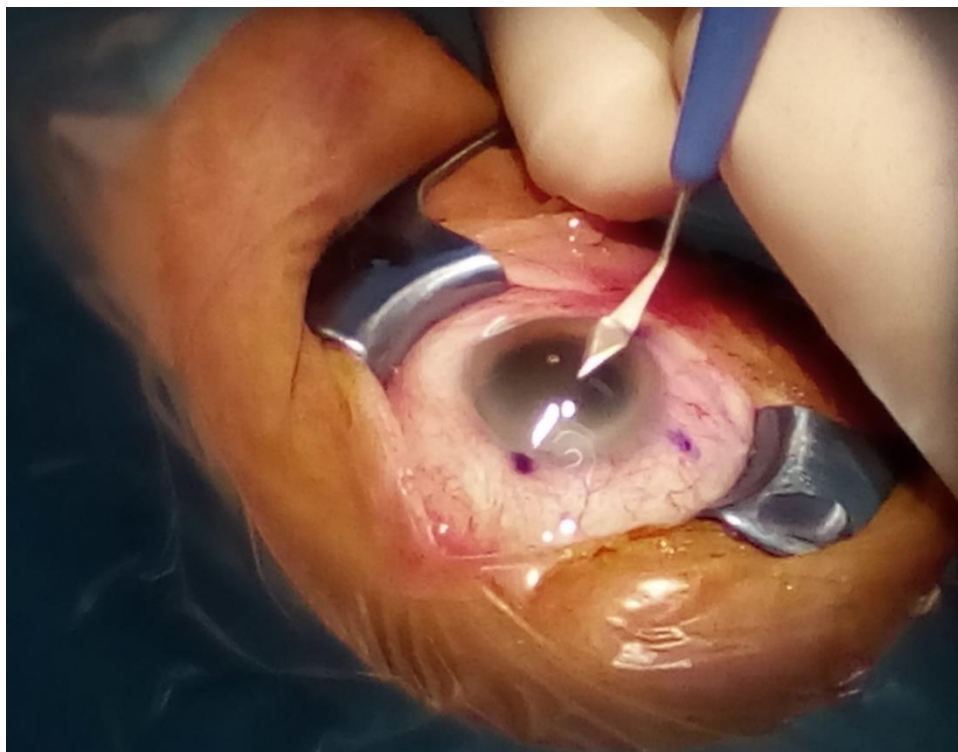


Figura 24. Incisión principal.

Las dos incisiones dispondrán sendas heridas en 2 planos radiales a la córnea.

Cada incisión tendrá 2 anchuras de paso diferentes, siendo la interna, endotelial, la de menor anchura.

La capsulorrexis, que se realiza a continuación se inicia con cistitomo para seguir con pinzas de Utrata o de capsulorrexis. El acabado de estas es de dos puntas triangulares que permiten el rasgado de la cápsula a partir de un desgarro capsular desde el centro hacia la periferia, se avanza plegando el colgajo sobre sí mismo.

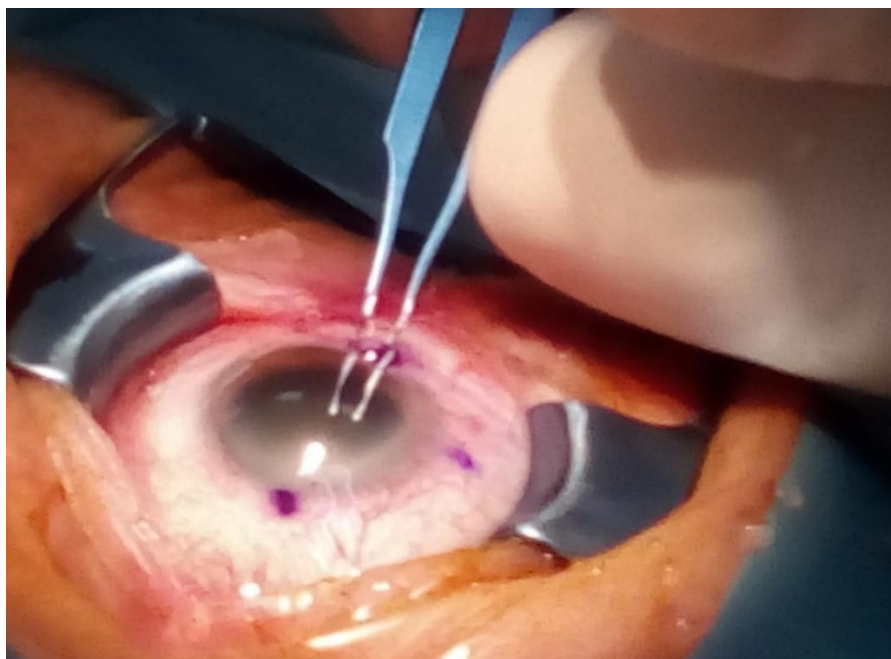


Figura 25. Capsulorrexis.

Seguidamente se separa el córtex de la cápsula cristaliniiana, para lo que se introduce por la paracentesis una cánula de 27G que inyecta suero bajo la cápsula anterior, procediéndose en este momento a la disección hídrica.

De nuevo se inyecta solución salina balanceada en el cuerpo del cristalino con el fin de liberar el núcleo del epinúcleo. Una vez el núcleo rota suavemente en el interior del saco, es posible fragmentarlo.

La facoemulsificación comienza en el núcleo central realizando surcos y rotando con chopper, espátula o el propio terminal del foco.

A continuación, se procede a la maniobra de volteo del epinúcleo con los mismos instrumentos. El material debe pasar a través de una cánula de luz de 0,9 mm de diámetro una vez ha sido fragmentado mediante sonda transductora de ultrasonidos. Previamente han sido ajustados los parámetros facodinámicos con bomba peristáltica de 400 mmHg y flujo de 20 a 30 ml/min.

Una vez aspirado el núcleo y buena parte de la corteza, pasamos a aspirar los restos de la misma con la bomba de irrigación aspiración con límite de vacío 500

mmHg y flujo de 29 ml/min. Si fuera preciso con la misma bomba y vacío de 10 mmHg y flujo de 6 ml/min se termina la limpieza con el pulido capsular.

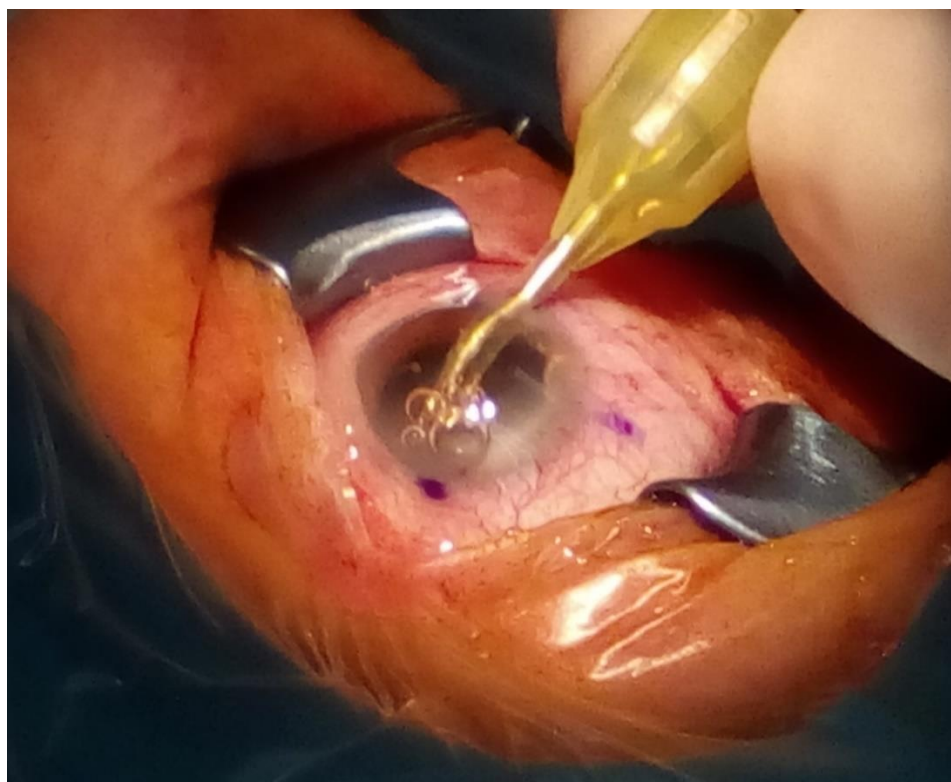


Figura 26. Aspiración.

Después de un nuevo aporte de viscoelástico a través de paracentesis, se procede al implante de la lente intraocular seleccionada mediante inyector de 1,80 x 1,35 mm, introducido por la incisión principal. El material viscoelástico inyectado será retirado comprobada la estabilidad de la lente, su posición

centrada y la estabilidad zonular. Esta retirada se realiza con las cánulas de irrigación aspiración con vacío de 450 mmHg y flujo de 39 ml/min.

Finalmente se inyecta con cánula de 27G y por la paracentesis Cefuroxima intracamerular diluida.

No será necesaria ninguna sutura y bastará para la hermeticidad de las incisiones, la aplicación de solución salina equilibrada en la paracentesis accesoria. Si se considera necesario se hidratará también la incisión principal (111).

4.3.3 VARIABLES ESTUDIADAS

4.3.3.1 Análisis estadístico

Se diseñó una base de datos con el programa Excel segmentada temporalmente en un periodo de 4 años. En ella que se fue recogiendo la información de cada paciente.

4.3.3.2 Estudio descriptivo de los datos

Las variables cualitativas se presentan con su distribución de frecuencias. Las variables cuantitativas se resumen con su media y desviación estándar (DE). Las variables cuantitativas que muestran una distribución asimétrica se resumen con la mediana y el rango intercuartílico (RIQ).

4.3.3.3 Análisis de las variables

Se realiza una comparación de las variables de interés entre los grupos de estudio. Para la definición de los grupos primero se dividió en A1, A2 y A3 en función del astigmatismo corneal previo. Tras esta primera división, cada grupo se subdivide según si el astigmatismo es a favor, en contra de la regla u oblicuo.

Se han hecho por tanto nueve grupos, en cada uno de los cuales se ha practicado la paracentesis enfrentada o perpendicular a la principal. Se evalúa la asociación entre variables cualitativas con el test de Ji-cuadrado χ^2 o prueba

exacta de Fisher, en el caso de que más de un 25% de los esperados fueran menores de 5. Para las variables cuantitativas se comparan las medias mediante el test de la t de Student, el análisis de la variancia (ANOVA) o bien el test de la U de Mann-Whitney o el test de Kruskal Wallis en caso de que las variables cuantitativas no se ajusten a una distribución normal.

Para todas las pruebas se aceptará un valor de significación del 5%.

El procesamiento y análisis de los datos se realizará mediante el paquete estadístico SPSS 22.0.

CAPITULO 5

RESULTADOS

CAPITULO 5

RESULTADOS

5.1 DESCRIPCION DE LA MUESTRA

Una vez se han excluido los casos que no considerábamos aptos para el estudio, la muestra total contenía un total de 117 intervenciones correspondientes a 94 pacientes. Los resultados presentados corresponden al número total de intervenciones y no de pacientes.

Se establecieron tanto análisis globales como parciales, en función de los diferentes grupos:

5.2 Análisis descriptivo

La primera división se establece según el astigmatismo corneal prequirúrgico.

Hemos llamado A1 el astigmatismo comprendido entre 0,5 y 1,0 D; A2 el astigmatismo comprendido entre 1,0 y 1,5 y A3 el astigmatismo comprendido entre 1,5 y 2,0 D.

Grupo Ai

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	A1	63	53,8	53,8	53,8
	A2	38	32,5	32,5	86,3
	A3	16	13,7	13,7	100,0
	Total	117	100,0	100,0	

Tabla 1. Análisis descriptivo del total de pacientes según la cuantía del astigmatismo corneal previo.

De los 117 ojos operados lo porcentajes resultantes de dividirlos según el tipo de astigmatismo quedaría de la siguiente manera.

CLASIFICACION

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	A favor	31	26,5	26,5	26,5
	En contra	48	41,0	41,0	67,5
	Oblicua	38	32,5	32,5	100,0
	Total	117	100,0	100,0	

Tabla 2. Análisis descriptivo del total de pacientes según el tipo del astigmatismo corneal previo.

De todos los ojos operados el porcentaje resultante de dividirlos según la localización de la paracentesis respecto a la incision principal sería:

PARACENTESIS

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Enfrentada	52	44,4	45,2	45,2
	Perpendicular	63	53,8	54,8	100,0
	Total	115	98,3	100,0	
Perdidos	Sistema	2	1,7		
Total		117	100,0		

Tabla 3. Análisis descriptivo del total de pacientes según la localización de las incisiones.

La estadística de la variación astigmática sufrida tras la cirugía del total de los ojos operados queda representada en la siguiente tabla:

Estadísticos

		Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
N	Válido	114	109	109
	Perdidos	3	8	8
Media		-,8731	-,7347	,1340
Desviación estándar		,53415	,57894	,58284
Mínimo		-2,52	-2,50	-1,34
Máximo		-,11	1,75	2,89
Percentiles	25	-1,1625	-1,0000	-,2000
	50	-,7150	-,7500	,0600
	75	-,4600	-,5000	,4350

Tabla 4. Estadística de la variación del astigmatismo tras la cirugía.

Los datos estadísticos de la variación astigmática tras la cirugía, en función de la localización de la paracentesis respecto a la incisión principal se ven reflejados en la siguiente tabla:

Estadísticos

PARACENTESIS			Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
.	N	Válido	1	0	0
		Perdidos	1	2	2
	Media		-,6900		
	Mínimo		-,69		
	Máximo		-,69		
	Percentiles	25	-,6900		
		50	-,6900		
75		-,6900			
Enfrentada	N	Válido	50	47	47
		Perdidos	2	5	5
	Media		-1,1080	-,6121	,4843
	Mínimo		-2,52	-2,00	-,12
	Máximo		-,29	,25	1,75
	Percentiles	25	-1,4075	-,7500	,2000
		50	-1,0700	-,5000	,4000
75		-,6325	-,2500	,6400	
Desviación estándar		,59588	,47448	,39040	
Perpendicular	N	Válido	63	62	62
		Perdidos	0	1	1
	Media		-,6895	-,8276	-,1315
	Mínimo		-2,04	-2,50	-1,34
	Máximo		-,11	1,75	2,89
	Percentiles	25	-,9400	-1,0000	-,4100
		50	-,5800	-,7500	-,1300
75		-,3800	-,5000	,0000	
Desviación estándar		,40013	,63507	,56601	

Tabla 5. Estadística de la variación del astigmatismo tras la cirugía según la localización de la incisión.

Se han comparado las medias de las variables cuantitativas:

Prueba de Mann-Whitney

Estadísticos de prueba

	Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
U de Mann-Whitney	899,000	988,000	265,000
W de Wilcoxon	2174,000	2941,000	2218,000
Z	-3,908	-2,910	-7,295
Sig. asintótica (bilateral)	,000	,004	,000

a. Variable de agrupación: PARACENTESIS

Tabla 6. Prueba de Mann-Whitney para tabla 5.

A partir de los datos recogidos, que quedan reflejados en las tablas del anexo, se ha realizado un estudio comparativo cruzando las variables estudiadas para poder analizar los diferentes resultados. Mostramos gráficas que resumen dichas tablas. Hemos de tener en cuenta que el astigmatismo se ha manejado como diferencia de potencia o de radios principales. Así, la variación astigmática tendrá un valor positivo si éste ha disminuido tras la cirugía.

TODOS LOS PACIENTES

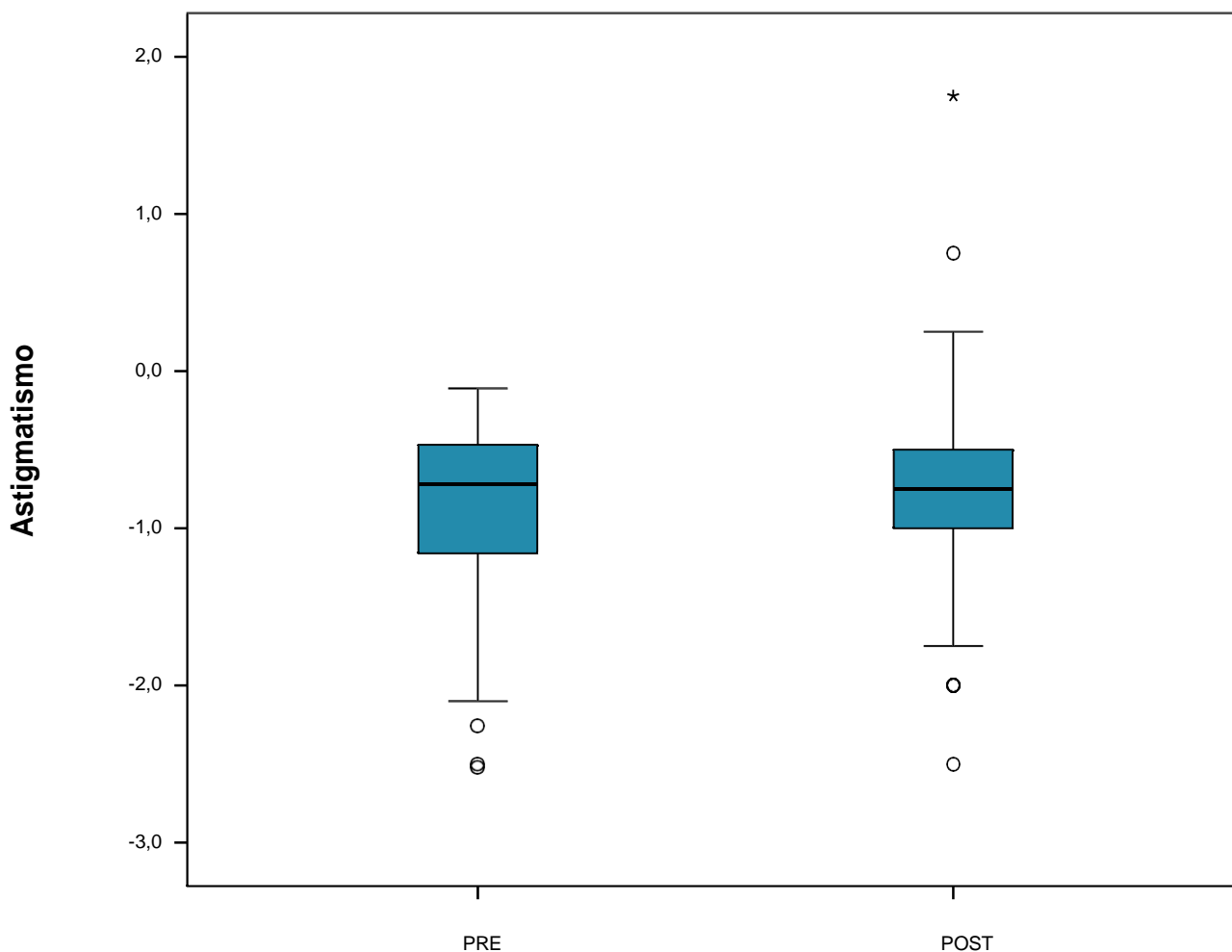


Tabla 7. Gráfica comparativa que representa la media del astigmatismo corneal de todos los ojos antes y después de la cirugía.

La media del astigmatismo que presentaban la totalidad de los ojos operados antes de la cirugía no sufre una gran variación después de la misma, pasando de un valor de 0,71 D a 0,75 D.

Grupo Ai = A1, PARACENTESIS = Enfrentada

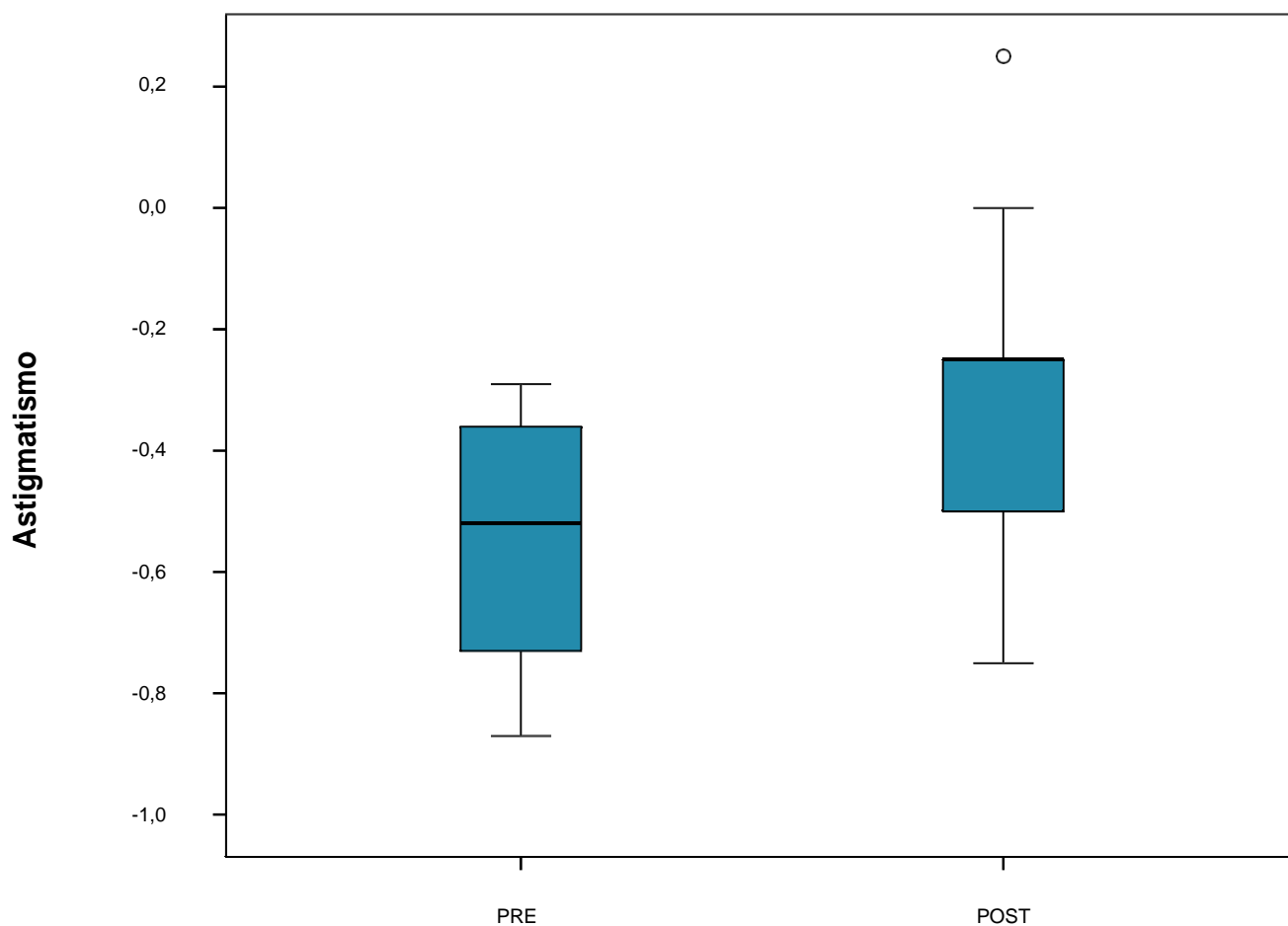


Tabla 9. Media del astigmatismo antes y después de la cirugía en pacientes A1 a los que se les realizaron las incisiones enfrentadas.

Los ojos que presentaban un astigmatismo corneal previo a la cirugía de entre 0,5 y 1,0 D, a los que se les realizó la incisión principal en el meridiano más curvo y la paracentesis enfrentada a ésta, tenían un astigmatismo medio de 0,51 D. Tras la intervención, la media del astigmatismo de estos pacientes ha sido de 0,25 D.

Grupo Ai = A1, PARACENTESIS = Perpendicular

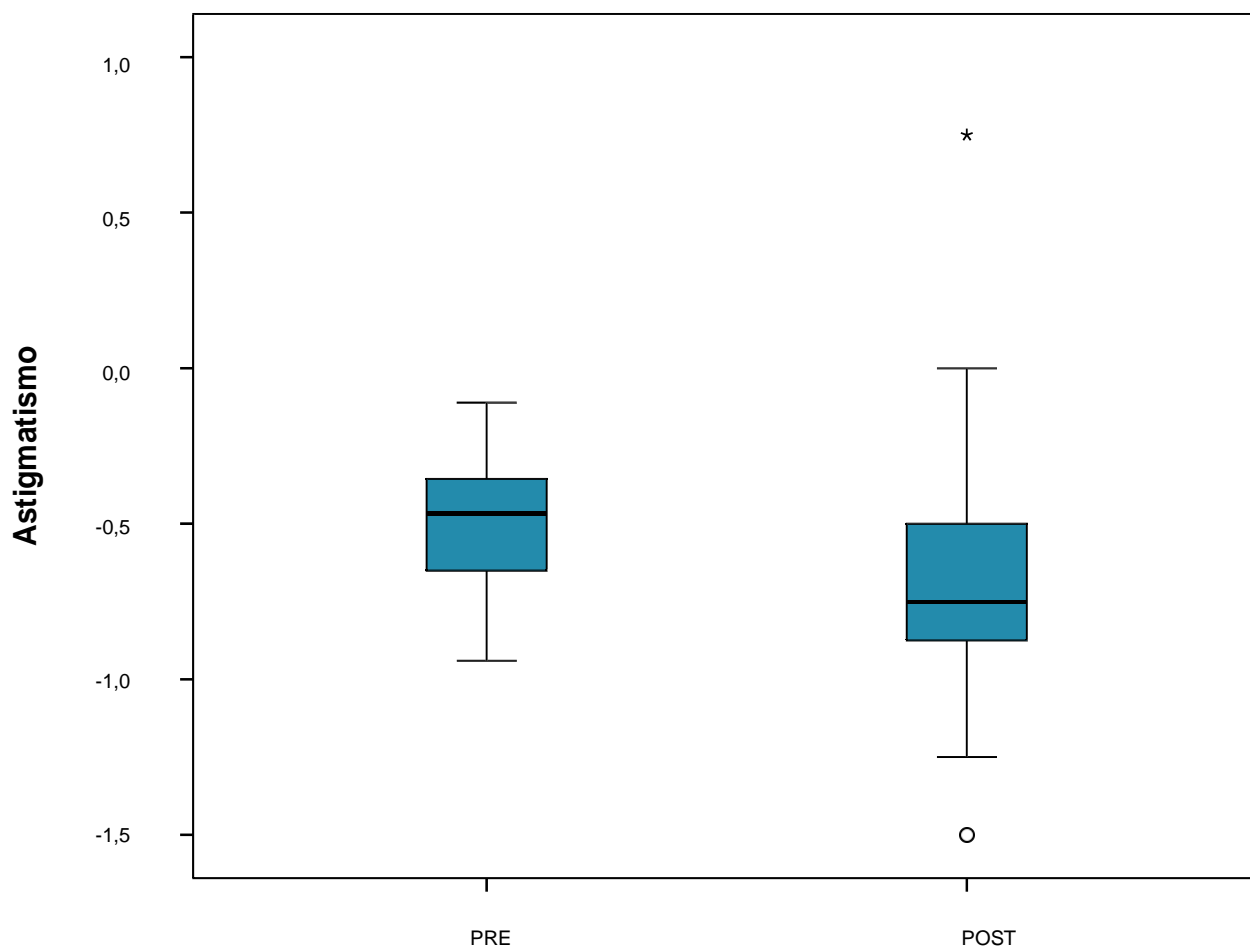


Tabla 9. Media del astigmatismo antes y después de la cirugía en pacientes A1 a los que se les realizaron las incisiones perpendiculares.

Los ojos que presentaban un astigmatismo corneal previo a la cirugía de entre 0,5 y 1,0 D, a los que se les realizó la incisión principal en el meridiano más curvo y la paracentesis perpendicular a ésta, tenían un astigmatismo medio de 0,46 D.

Tras la intervención, la media del astigmatismo de estos pacientes ha sido de 0,75 D.

Grupo Ai = A2, PARACENTESIS = Enfrentada

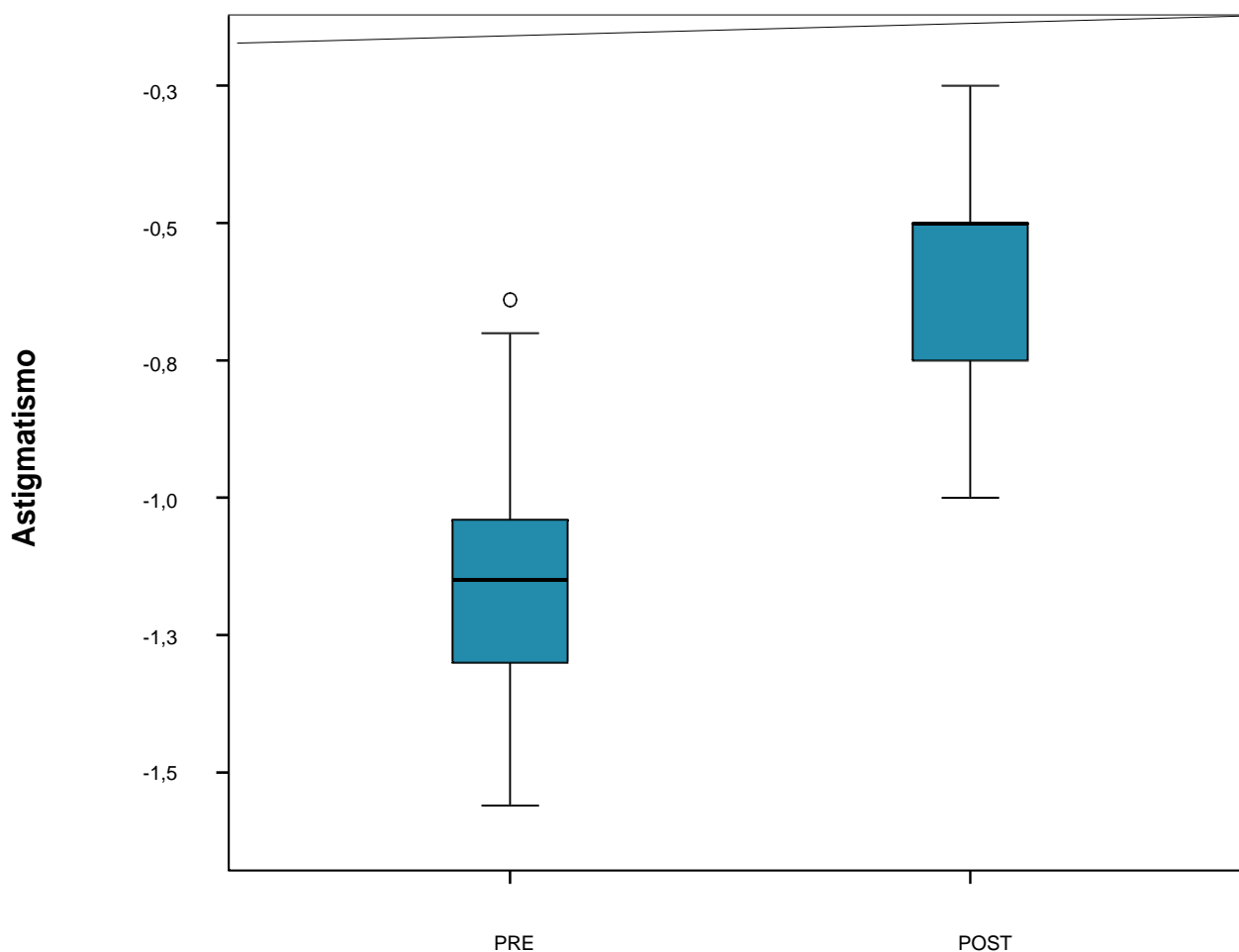


Tabla 10. Media del astigmatismo antes y después de la cirugía en pacientes A2 a los que se les realizaron las incisiones enfrentadas.

Los ojos que presentaban un astigmatismo corneal previo a la cirugía de entre 1,0 y 1,5 D, a los que se les realizó la incisión principal en el meridiano más curvo y la paracentesis enfrentada a ésta, tenían un astigmatismo medio de 1,15 D. Tras la intervención, la media del astigmatismo de estos pacientes ha sido de 0,50 D.

Grupo Ai = A2, PARACENTESIS = Perpendicular

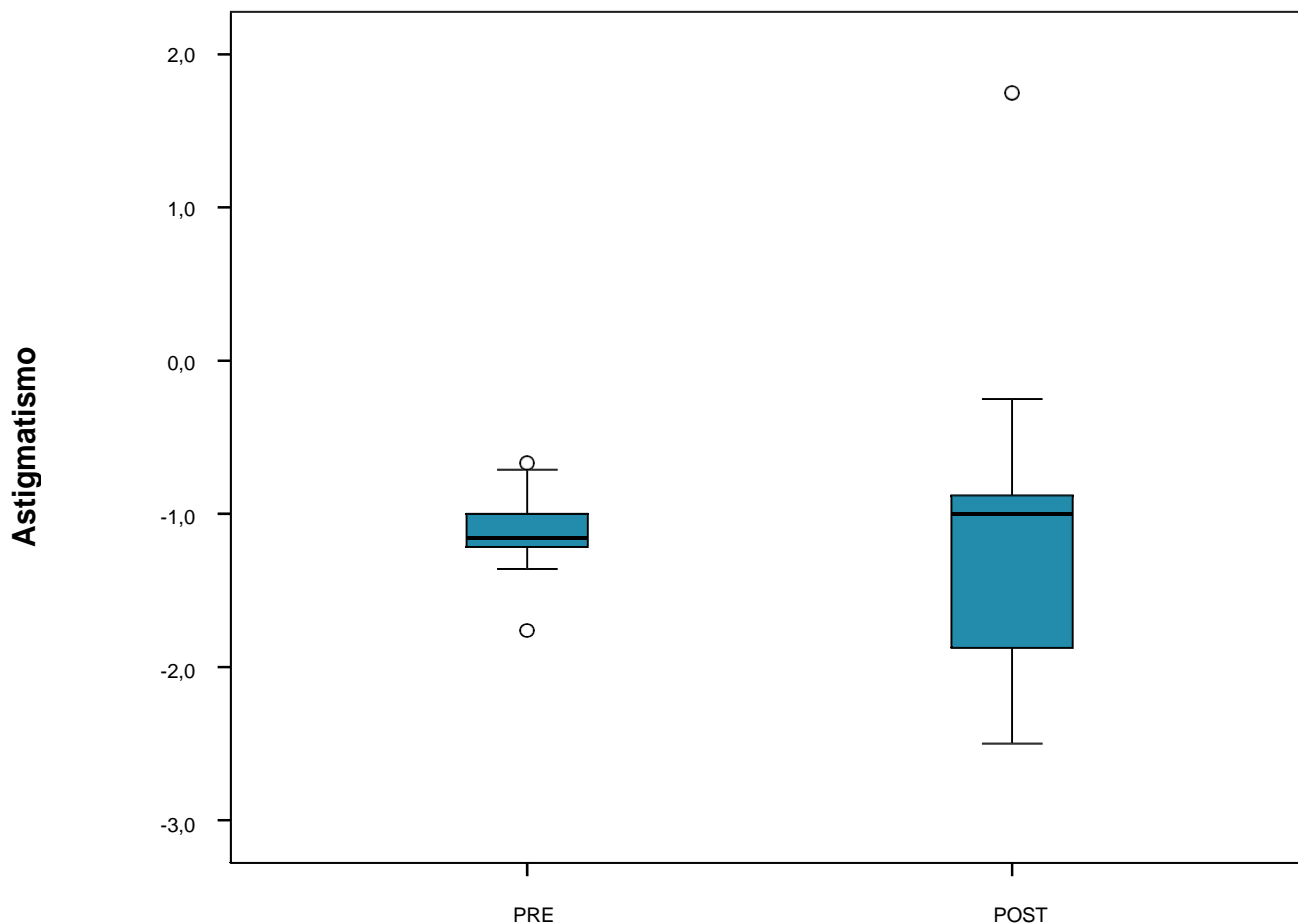


Tabla 11. Media del astigmatismo antes y después de la cirugía en pacientes A2 a los que se les realizaron las incisiones perpendiculares

Los ojos que presentaban un astigmatismo corneal previo a la cirugía de entre 1,0 y 1,5 D, a los que se les realizó la incisión principal en el meridiano más curvo y la paracentesis perpendicular a ésta, tenían un astigmatismo medio de 1,15 D. Tras la intervención, la media del astigmatismo de estos pacientes ha sido de 1,0 D.

Grupo Ai: A3, PARACENTESIS: Enfrentada

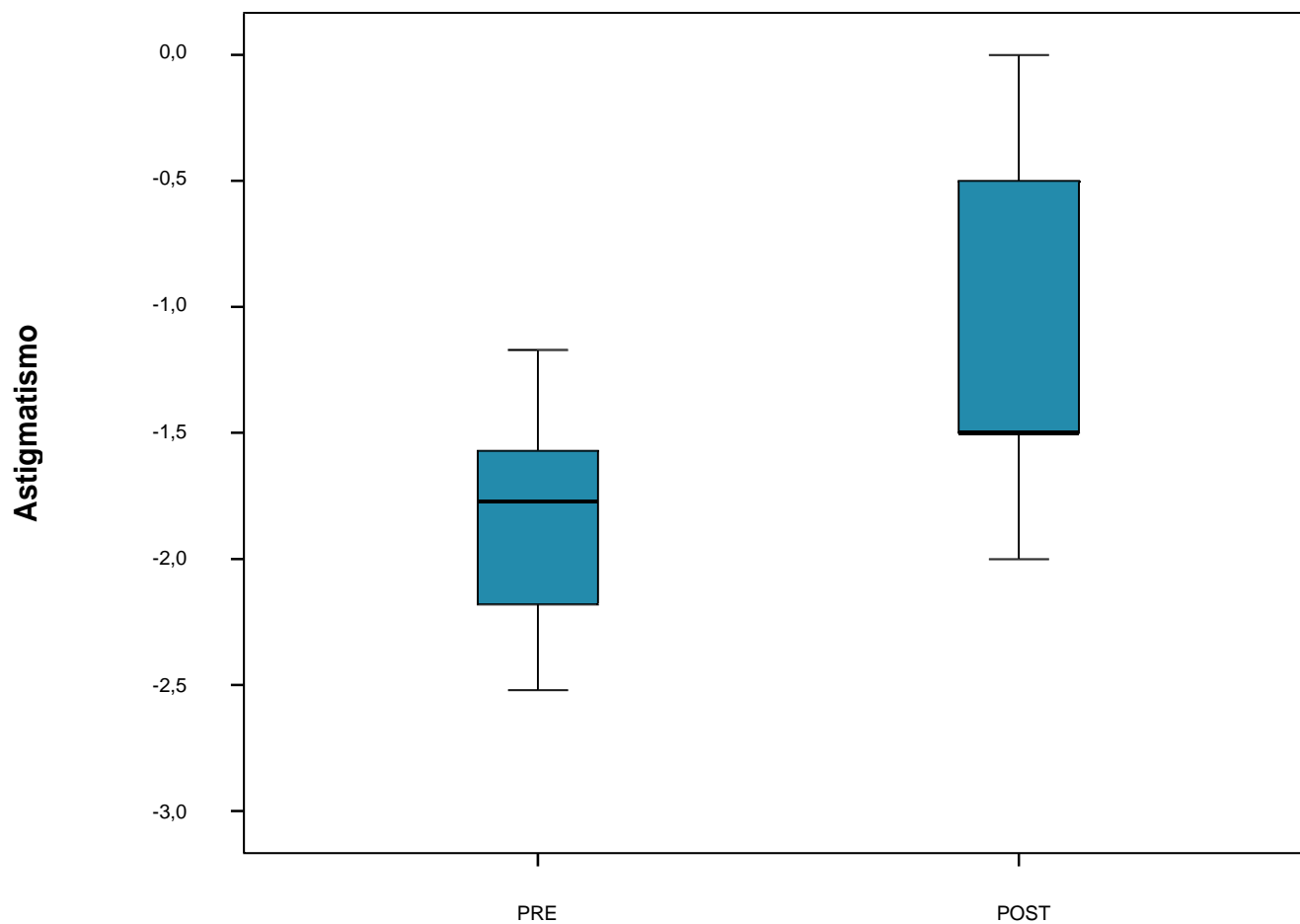


Tabla 12. Media del astigmatismo antes y después de la cirugía en pacientes A3 con incisiones enfrentadas.

Los ojos que presentaban un astigmatismo corneal previo a la cirugía de entre 1,5 y 2,0 D, a los que se les realizó la incisión principal en el meridiano más curvo y la paracentesis enfrentada a ésta, tenían un astigmatismo medio de 1,88 D. Tras la intervención, la media del astigmatismo de estos pacientes ha sido de 1,50 D.

Grupo Ai: A3, PARACENTESIS: Perpendicular

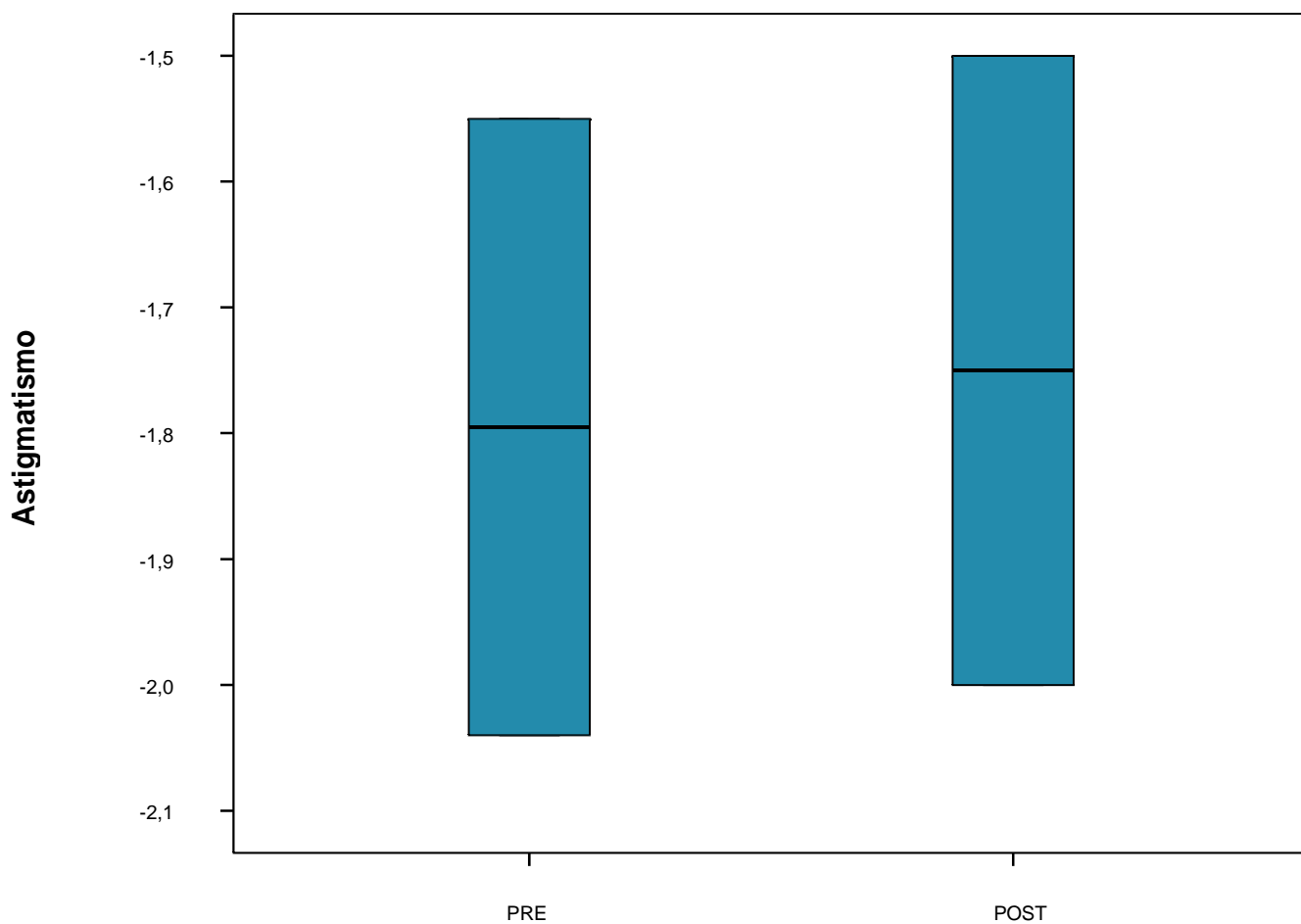


Tabla 13. Media del astigmatismo antes y después de la cirugía en pacientes A3 con incisiones perpendiculares.

Los ojos que presentaban un astigmatismo corneal previo a la cirugía de entre 1,5 y 2,0 D, a los que se les realizó la incisión principal en el meridiano más curvo y la paracentesis perpendicular a ésta, tenían un astigmatismo medio de 1,79 D. Tras la intervención, la media del astigmatismo de estos pacientes ha sido de 1,75 D.

Grupo Ai: A1, CLASIFICACION: A favor

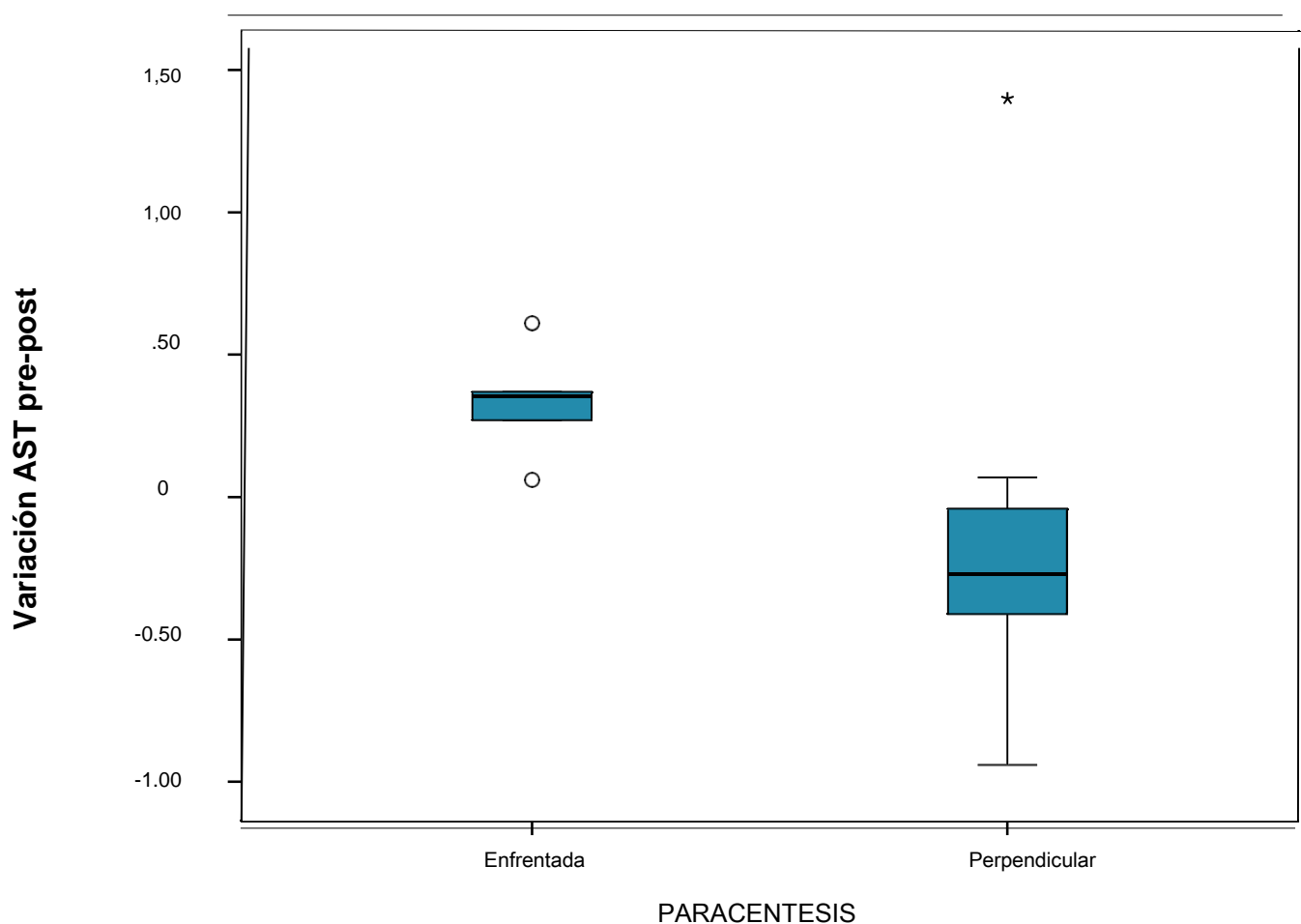


Tabla 14. *Medía en la variación astigmática en función de localización incisiones para A1 con astigmatismo prequirúrgico a favor de la regla.*

Para los pacientes que hemos llamado A1, podemos apreciar que, aquellos a los que la incisión principal se les practicó en el eje más curvo y la paracentesis enfrentada, disminuyeron de media su astigmatismo en 0,35 D, mientras que cuando las incisiones fueron practicadas perpendicularmente entre sí, aumentaban su astigmatismo, de media, en 0,27 D.

Grupo Ai: A1, CLASIFICACION: En contra

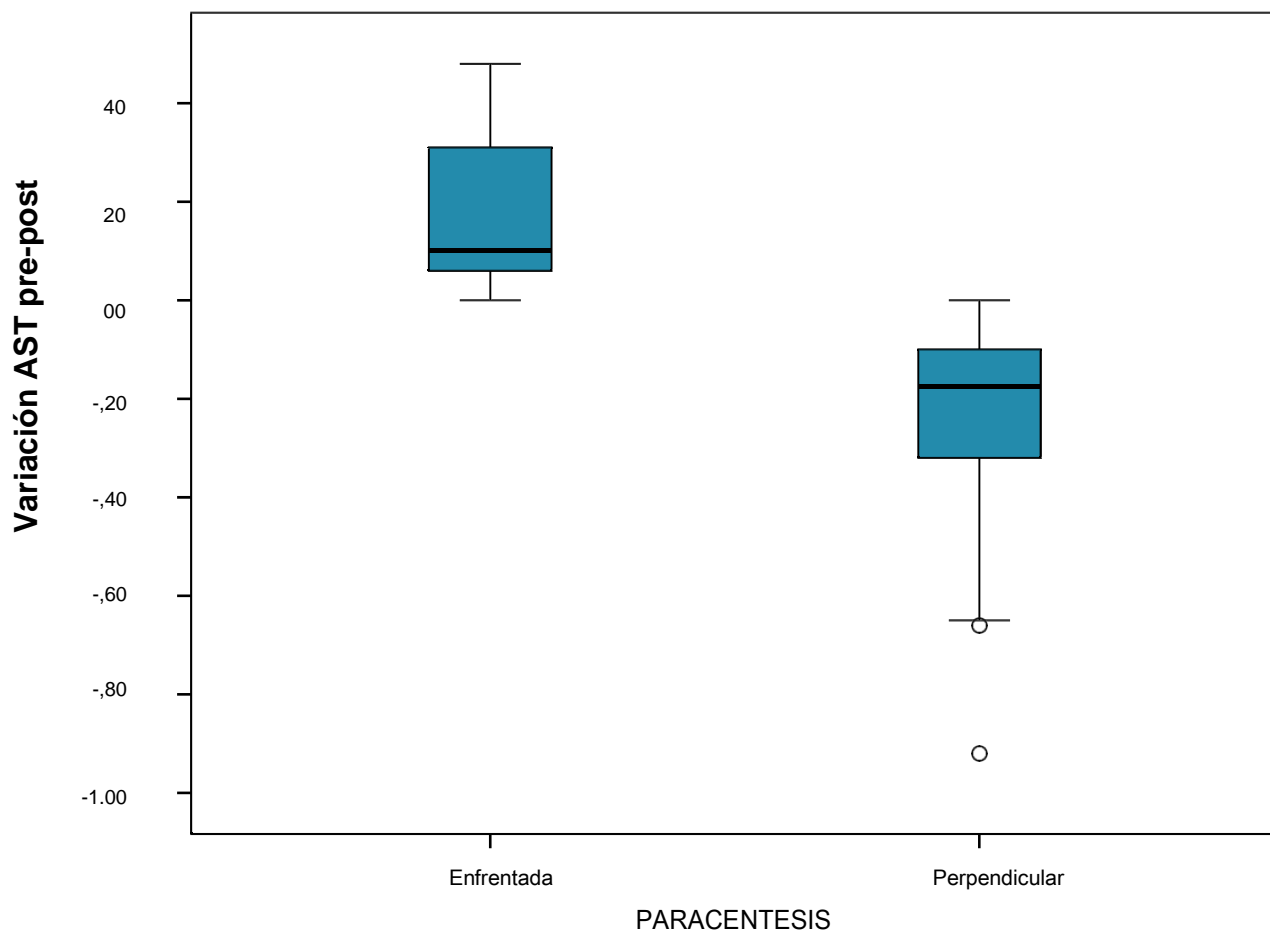


Tabla 15. Media en la variación astigmática en función de la localización de incisiones para A1 con astigmatismo prequirúrgico en contra de la regla.

Con el mismo criterio de entre 0,5 y 1,0 D, pero siendo el astigmatismo corneal previo en contra de la regla, aquellos con las incisiones enfrentadas disminuyeron su astigmatismo corneal previo en 0,10 D, mientras que a los que se les realizó a 90 grados una de la otra, aumentaron su astigmatismo medio en 0,17 D.

Grupo Ai: A1, CLASIFICACION: Oblicua

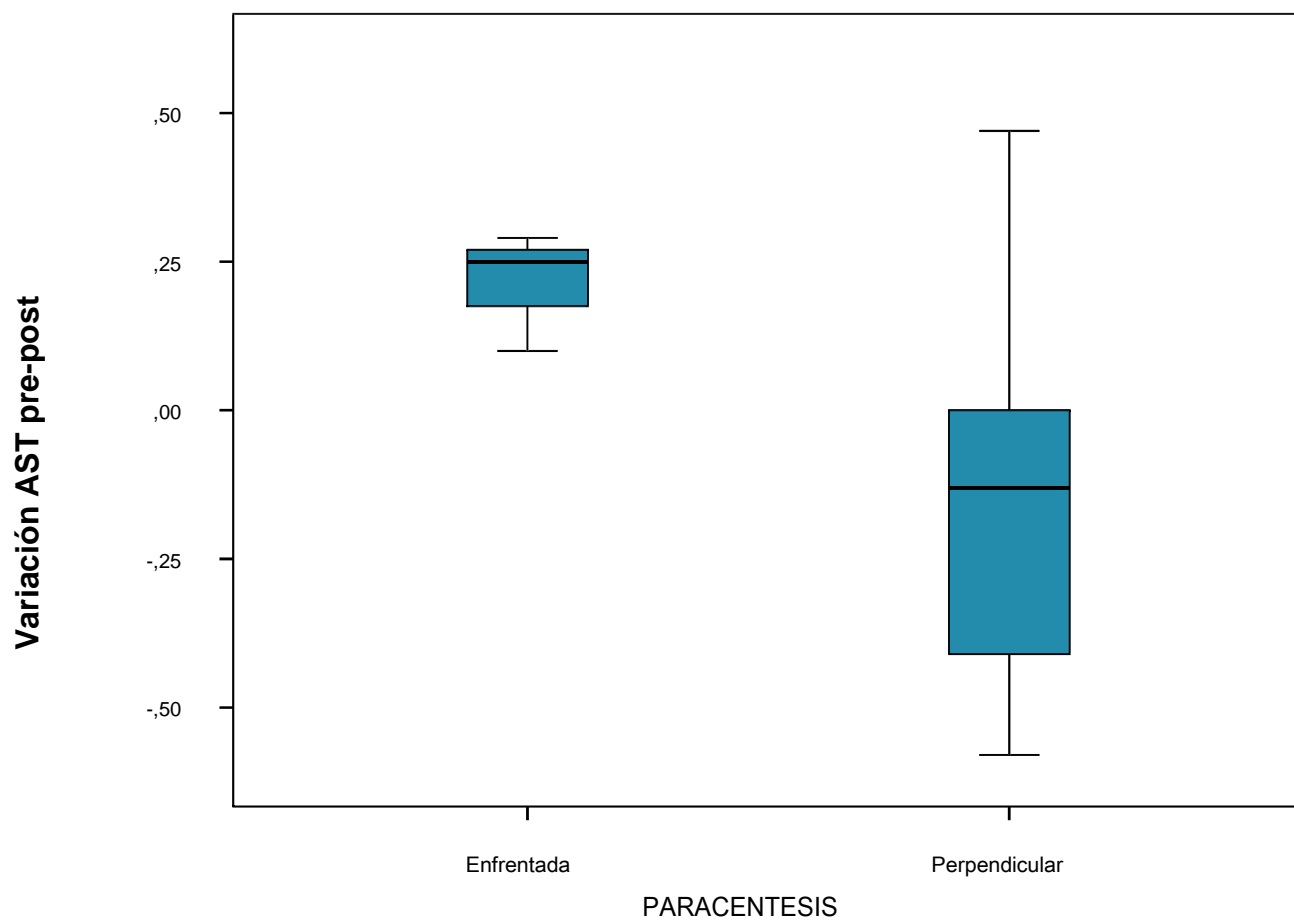


Tabla 16. Media en la variación astigmática en pacientes A1 con astigmatismo prequirúrgico oblicuo.

Si el astigmatismo era oblicuo entre 0,5 y 1,0 D, los ojos operados con incisiones enfrentadas disminuyen su astigmatismo en 0,25 D de media y con incisiones practicadas perpendicularmente lo aumentan de media en 0,13 D.

Grupo Ai: A2, CLASIFICACION: A favor

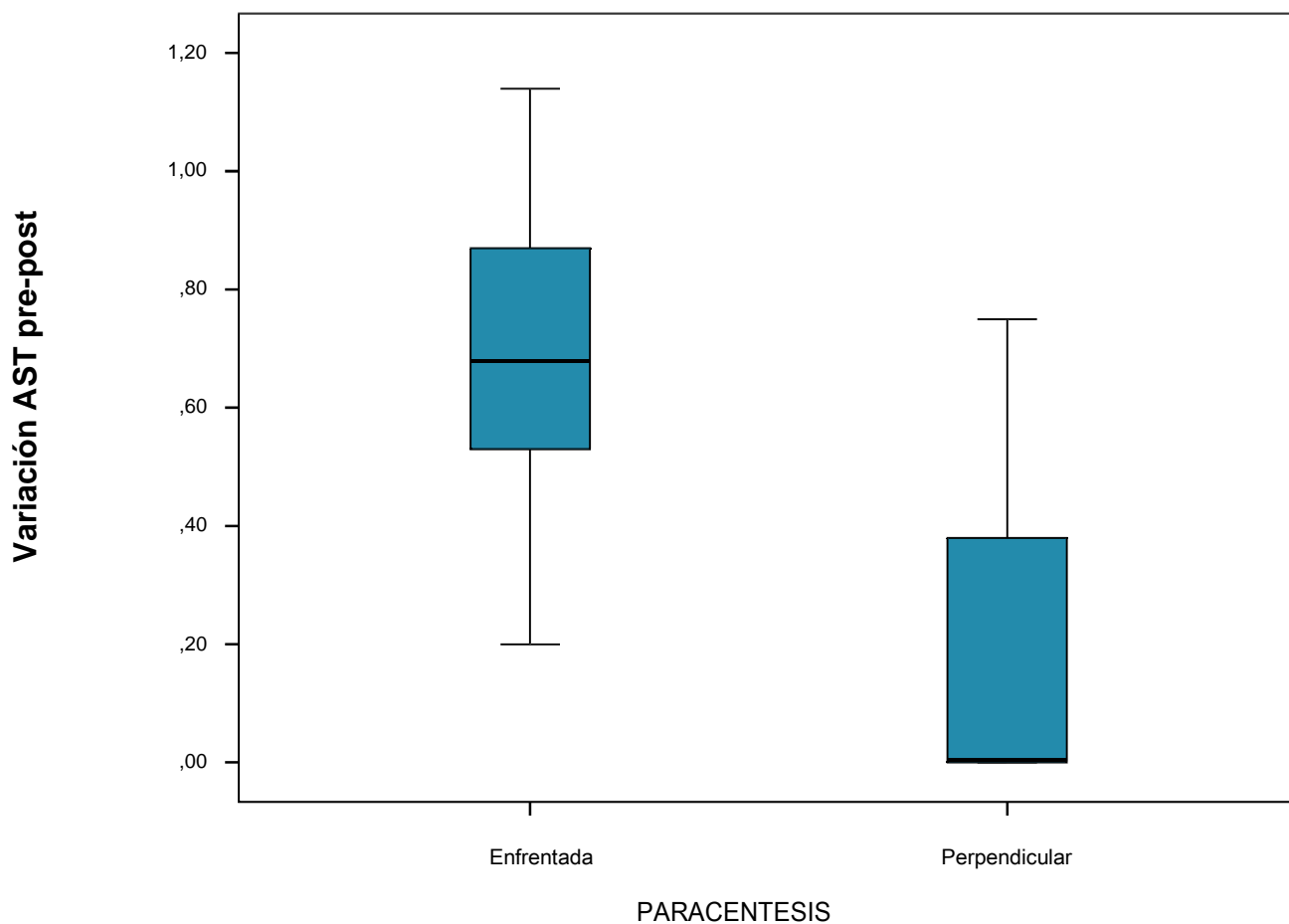


Tabla 17. Media en la variación astigmática en pacientes A2 con astigmatismo prequirúrgico a favor de la regla.

En el caso de los pacientes cuyo astigmatismo corneal previo estaba entre 1,0 y 1,5 D a favor de la regla, la media del astigmatismo corneal disminuyó, tanto si las incisiones fueron practicadas enfrentadas o perpendicularmente, pero no en la misma magnitud. En el primer caso en 0,68 D de media, y en el segundo en 0,01 D.

Grupo Ai: A2, CLASIFICACION: En contra

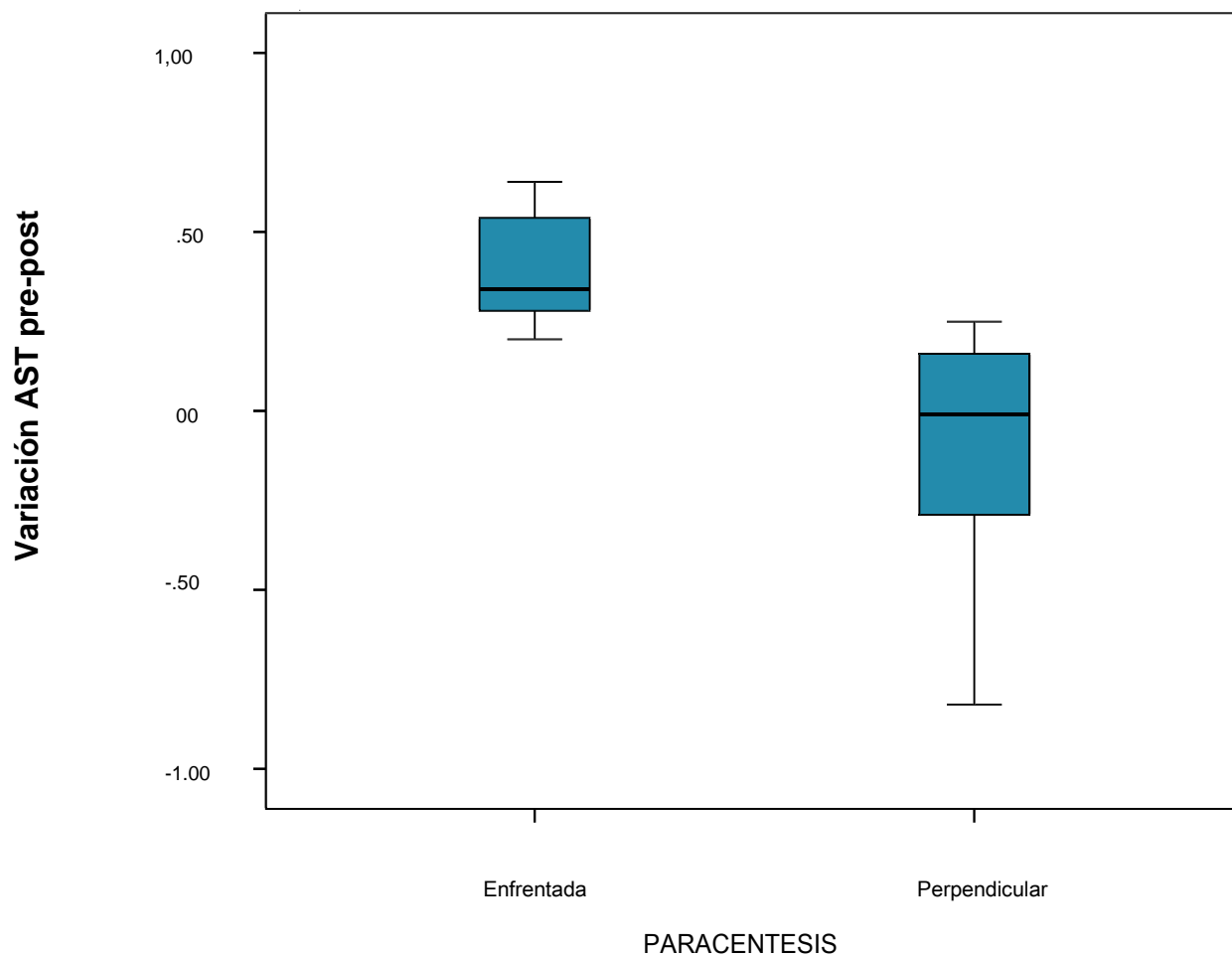


Tabla 18. Media en la variación astigmática en pacientes A2 con astigmatismo prequirúrgico en contra de la regla.

Para astigmatismos corneales entre 1,0 y 1,5 D en contra de la regla, y con incisiones enfrentadas en el eje más curvo, el astigmatismo disminuye en 0,34 D de media, y si son realizadas perpendicularmente aumenta en 0,01 D de media.

Grupo Ai: A2, CLASIFICACION: Oblicua

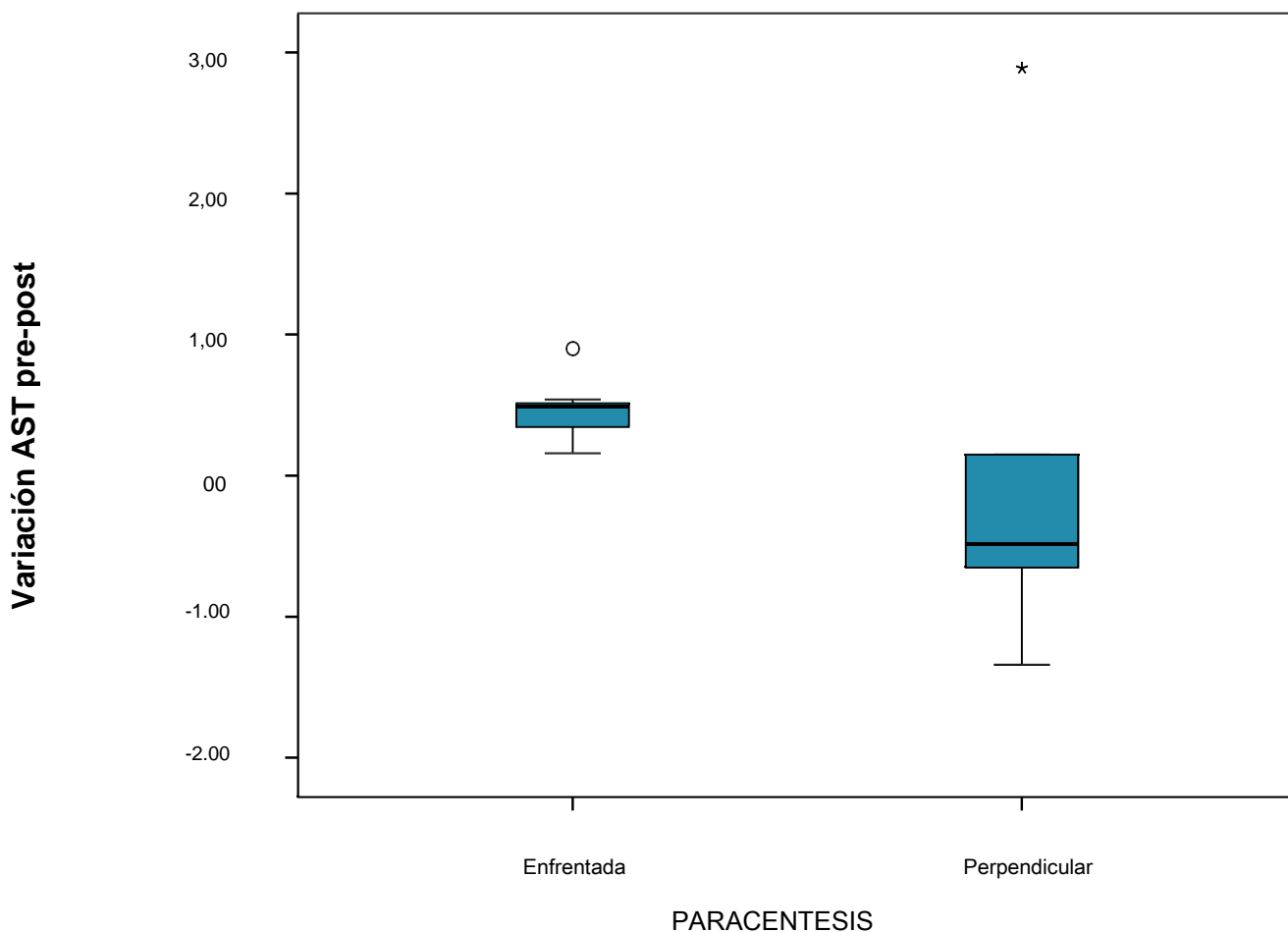


Tabla 19. Media en la variación astigmática en pacientes A2 con astigmatismo prequirúrgico oblicuo.

Para astigmatismos corneales oblicuos, entre 1,0 y 1,5 D, si las incisiones se realizan enfrentada o perpendicularmente, siendo la principal en el eje más curvo, el astigmatismo corneal resultante disminuye o aumenta de manera similar, en el primer caso pierde de media 0,49 D y en el segundo gana de media 0,48 D.

Grupo Ai: A3, CLASIFICACION: En contra

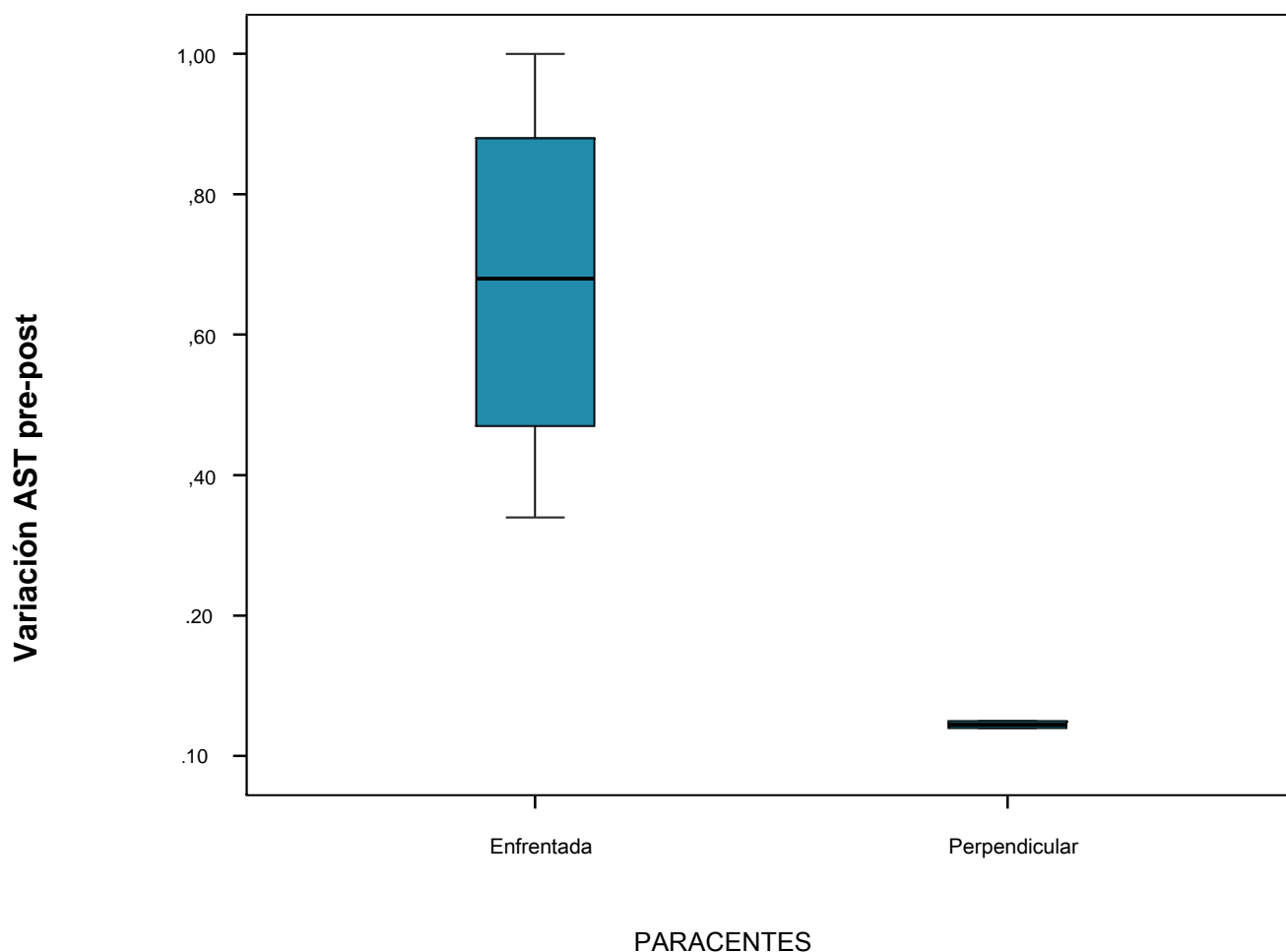


Tabla 20. Media en la variación astigmática en pacientes A3 con astigmatismo prequirúrgico en contra de la regla.

Los ojos estudiados que presentaban un astigmatismo corneal previo a la cirugía de entre 1,5 y 2,0 D oblicuos o a favor de la regla, no mostraron incrementos estadísticamente significativos. Los que lo tenían en contra de la regla disminuyeron su astigmatismo en los dos supuestos, no obstante, en el caso de las incisiones enfrentadas en el eje más curvo fue de media en 0,68 D, mientras

que los que tenían la principal en el eje más curvo y la paracentesis en el más plano en 0,04.

CAPITULO 6

DISCUSION

CAPITULO 6

DISCUSION

No cabe duda de que la baja visión implica un detrimento en la calidad de vida de los individuos, y que la catarata, que en la mayoría de los casos está relacionada con el envejecimiento, produce un deterioro no sólo de la agudeza visual, sino de la calidad de la visión de quien la padece.

El proceso de envejecimiento que sufren tanto los países desarrollados como los que están en vías de desarrollo pronostica que el número de personas que padecerán catarata senil aumentará, y, por tanto, la importancia de esta cirugía también lo hará. En la actualidad es la cirugía más practicada en el mundo, y todo parece prever que en un futuro tendrá, si cabe, una mayor repercusión (112).

Los defectos refractivos constituyen la principal causa de pérdida de agudeza visual, y las aberraciones el límite óptico de la visión. Es por ello que, en la actualidad, la cirugía de cataratas es ya también refractiva, y pretende lograr la emetropía además de una calidad visual óptima que permita un determinado nivel de confort en la visión.

Avances técnicos y científicos permiten comprobar los parámetros que más deterioran la visión de cada individuo en particular e incluso abordar la cirugía guiada por topografía corneal. El desarrollo de nuevos instrumentos para medir las aberraciones ópticas del ser humano y el perfeccionamiento en las técnicas quirúrgicas, instrumentos ópticos, láseres e instrumental quirúrgico han abierto una nueva era en la corrección de la visión.

Aun así, factores como el tamaño, la longitud, la profundidad, la forma, la distancia al eje óptico y el número de incisiones que se realizan en córnea

provocan cambios en la curvatura del eje corneal donde se realizan y en los perpendiculares a éste, configurando cambios refractivos tras la cirugía.

Respecto al efecto astigmático de la paracentesis no hemos encontrado estudios que lo consideren, pero sí que valoren la eficacia del tratamiento incisional como técnica refractiva. En este caso, sobreentendiendo como parece establecido que incisiones corneales son astigmáticas, las incisiones relajantes limbares nos parece un buen ejemplo a considerar, pues incisiones en principio más alejadas del eje óptico, se ve demostrado ejercen efecto sobre el astigmatismo corneal (94, 113, 114, 115).

Es importante mencionar ciertas limitaciones a considerar en este trabajo. La paracentesis, objeto de nuestro estudio, hemos comprobado tiene un efecto astigmático sobre el estado final de la córnea, pero limitado a un cirujano y a un instrumental particular. No sabemos si con la variación de estos parámetros obtendríamos los mismos resultados, pero deja abierta la cuestión y abre otros

nuevos interrogantes, como son la inducción o no de otro tipo de aberraciones presentes en el ojo del ser humano, que podrían disminuir, no ya la agudeza visual, sino el rendimiento visual, término que parece más apropiado en la búsqueda de la excelencia en el acto quirúrgico.

Otra de las limitaciones de nuestro trabajo es acerca de la variación del astigmatismo medida. En este estudio se ha cuantificado exclusivamente la magnitud de este, sin tener en cuenta un aspecto importante del componente de esta magnitud vectorial, su dirección.

Consideraríamos de importancia valorar el cambio en la orientación del eje más plano, pues para la planificación quirúrgica, y dando por supuesto que buscamos un resultado refractivo nulo, es un factor clave conocer si, aun quedando un pequeño resto astigmático, el eje del mismo, ya que la calidad o rendimiento visual no será la misma según sea esta orientación.

Desde luego es innegable la presencia de avances tecnológicos cada vez más sofisticados que posibilitan una cada vez mayor exactitud en todo el proceso quirúrgico. No obstante, requieren una curva de aprendizaje y mayor cantidad de estudios que validen y avalen los resultados que en estos momentos no ofrecen mejora significativa (116-121).

Del mismo modo avanza el conocimiento y el estudio sobre la percepción visual del paciente, la importancia de considerar más magnitudes para valorar la calidad visual, como es el rendimiento visual, y el mayor conocimiento de los factores que lo disminuyen, como son las aberraciones. Aunque hasta ahora no podamos valorar la mejora (122, 123), sí podemos ver como las nuevas tecnologías son eficaces en este sentido (124).

El rendimiento visual es un término amplio que puede definirse por la idoneidad con la que puede realizarse una tarea visual de interés por una persona concreta o por un grupo de personas (125). El conocimiento de la aberración ondulatoria

de un ojo es requisito fundamental para evaluar el rendimiento óptico del paciente. Las mediciones adecuadas derivadas de la aberración ondulatoria deberían permitir que el clínico escogiera la mejor estrategia quirúrgica para mejorar la visión de cada paciente.

En un campo sometido a continua evolución, hoy en día es un gran reto abordar aspectos tan sobradamente estudiados como son las técnicas incisionales o su efecto astigmático, pero sin lugar a duda, el empeño en el logro de la excelencia y el rápido avance en la cirugía facorefractiva, hace probable que próximamente tengamos que hablar de tratamientos genéticos y nanotecnológicos que mejoren la visión.

Como todos los sistemas ópticos, la resolución del sistema visual humano cae dramáticamente al alejarnos del eje. Un ojo que tenga 0 D de astigmatismo refractivo y corneal tendrá 6 D de astigmatismo a 40 grados. Sería entonces razonable pensar que es más interesante el implante de una lente esférica a una

tórica si podemos eliminar con otros métodos el astigmatismo corneal. Aun así, en el uso de lentes intraoculares tóricas es evidente que el principal problema es la estabilidad rotacional, que puede ocasionar la pérdida del efecto cilíndrico de la lente dependiendo de los grados de rotación de esta.

Lo que es innegable es la presencia de un astigmatismo corneal previo a la cirugía en la casi totalidad de los casos, y que la práctica quirúrgica precisa de una incisión principal y una paracentesis accesoria para su realización. Con esta consideración, parece lógico pensar en la posibilidad de cuantificar la inducción astigmática de la combinación de estas dos incisiones y tratar de compensar así el astigmatismo preexistente.

Pese a ser considerada desde siempre la paracentesis como una incisión astigmáticamente neutra, se sospecha que la sufre una mayor deformación debido al mayor ajuste de los instrumentos en su paso por la incisión. De

hecho, hay reseñas de, entre otras complicaciones casos de pérdida de hermeticidad de las micro incisiones en el preoperatorio (81).

Puesto que no parece fundado que la reducción del tamaño de la incisión en la cirugía corneal implique una mayor seguridad a corto y largo plazo (127), ni se asocia con menos astigmatismo inducido o menos aberraciones (128-132), y parece posible que ésta genere cambios en la topografía corneal, podríamos incluso plantearnos la práctica de la misma con el mismo cuchillete que la incisión principal para los casos en los que la seguridad quirúrgica lo permita. Podemos valorar si la paracentesis de manera independiente o en combinación con la incisión principal nos ayudan en la consecución de una córnea astigmáticamente neutra.

Si conocemos el astigmatismo que van a inducir las incisiones, será posible optimizar al máximo la cirugía, aunque vayamos a utilizar otras técnicas

adicionales como el implante de lente tórica para compensar el astigmatismo (133).

Sea cual sea la incisión y sea cual sea su tamaño, esto parece lógico, pero después de todo lo mencionado nos cabe la pregunta de si deberíamos conocer algo más que el astigmatismo que va a inducir cada incisión. Algo que quizá incluso afecte más al rendimiento visual post quirúrgico. Es posible, que debamos hablar de aberraciones inducidas por las incisiones en cirugía de cataratas.

Lo que se ha valorado en este trabajo es la cuantía absoluta astigmática ganada o perdida, considerando que el astigmatismo sea una diferencia de valor: la diferencia entre el poder dióptrico de los meridianos de mayor y menor potencia. Esta nomenclatura no es la habitual en la práctica clínica, pues lo que se menciona con frecuencia es el eje, es decir, un astigmatismo a favor de la regla

presenta la curvatura de mayor poder en el meridiano vertical, y es frecuente decir que el astigmatismo es a 180° , que correspondería con el eje del cilindro corrector.

El método de análisis del astigmatismo es un factor clave, puesto la precisión con la que se calcula permitirá conocer con mayor exactitud el astigmatismo que induce cada una de las incisiones de cada cirujano en particular. Sobre todo desde los trabajos de Jaffe y Clayman, esta medida ha sido objeto de numerosos estudios, pues la cuantificación de la ganancia o pérdida astigmática desde que la cirugía de cataratas es considerada facorefractiva ha sido decisiva en la planificación quirúrgica.

Entonces, el análisis de la manera más precisa posible del astigmatismo corneal antes y después de la cirugía de cataratas es clave para así cuantificar el éxito alcanzado, por ello se han realizado diferentes estudios que lo analizan de

manera vectorial, habida cuenta que tratamos de medir una magnitud con componente direccional. En este sentido queremos hacer algunas reflexiones.

Hemos de tener en cuenta que los componentes de la refracción esfera, cilindro y el eje no son linealmente independientes en lenguaje matemático, además de que el ciclo trigonométrico es de 360 grados mientras que el refractivo sólo de 180 grados, lo que en cálculos con vectores de tres dimensiones podría inducir a error en los cálculos, por ejemplo, un cambio del astigmatismo preoperatorio de 5 grados a uno postoperatorio de 175 grados matemáticamente sería de 170 grados, y en realidad son 10 grados de cambio.

Estas consideraciones nos han llevado a pensar en el uso de una ecuación matricial que represente la superficie corneal de una manera más precisa teniendo en cuenta la dependencia lineal de los valores refractivos y suprima el conflicto de signos en el astigmatismo o en su traslado a componentes polares.

Una matriz representa un concepto que no se puede representar con un único número, y sus elementos están relacionados entre sí. El concepto que representan es una magnitud con carácter direccional, por tanto, sus elementos dependerán del sistema de coordenadas.

Desde un punto de vista matemático, una superficie se puede definir a través de las funciones que la representan y su vector normal, si la superficie esta curvada cambia de orientación según nos movemos por la superficie. Al estudiar sistemas en aproximación paraxial consideraremos las superficies tangentes al plano XY en el origen de coordenadas.

Si aproximamos mediante series de Taylor una superficie dada por su forma explícita en el origen de coordenadas, resultaría que cualquier superficie se puede aproximar a un paraboloides que sólo depende de las segundas derivadas de la superficie calculadas en el origen. Llamamos hessiano H a la matriz

simétrica de dimensión 2 formada por las derivadas segundas de la función que define la superficie.

Para una superficie astigmática como es la córnea, la curvatura en el origen depende de la dirección y el hessiano de la superficie no es diagonal, y definimos las curvaturas máxima y mínima de la superficie:

$$K_1 = H - (H^2 - K)^{1/2}$$

$$K_2 = H + (H^2 - K)^{1/2}$$

Las direcciones principales son perpendiculares entre si y sus curvaturas son las principales: la máxima y la mínima. El hessiano de esta superficie sería:

$$\begin{pmatrix} k_1 \cos^2 \alpha_1 + k_2 \sin^2 \alpha_1 & -(k_2 - k_1) \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 \\ -(k_2 - k_1) \cos \alpha_1 \sin \alpha_1 & k_2 \cos^2 \alpha_1 + k_1 \sin^2 \alpha_1 \end{pmatrix}$$

Donde α es el ángulo correspondiente a la dirección principal.

Si definimos las matrices para la superficie corneal antes de la cirugía, después de la cirugía, y conocidos los ángulos en los que se practica la incisión principal y la paracentesis, podríamos conocer el astigmatismo inducido por cada una de esas incisiones mediante un sistema de ecuaciones.

Actualmente disponemos de una herramienta de software matemático con lenguaje de programación propio que permite la manipulación de matrices.

Dejamos para un estudio posterior el tratamiento matricial de la superficie corneal con MATLAB, que creemos permitiría a cada cirujano disponer de su algoritmo particular y conocer con más exactitud el efecto astigmático de sus incisiones.

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

1. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 0,5 y ,01 dioptrías, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo disminuyeron el astigmatismo previo a la cirugía, mientras que, en este mismo grupo, a los que se les realizó de manera perpendicular a la principal, aumentaron el astigmatismo previo a la cirugía.

2. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 1,0 y 1,5 dioptrías, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo disminuyeron el astigmatismo previo a la cirugía, mientras que, en este mismo grupo, a los

que se les realizó de manera perpendicular a la principal, el astigmatismo previo a la cirugía no se ve modificado.

3. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 1,0 y 1,5 dioptrías, en todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis perpendicular a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo el astigmatismo previo a la cirugía no varía significativamente, mientras que en este mismo grupo, a los que se les realizó de manera perpendicular a la principal, el astigmatismo previo a la cirugía no varía significativamente.

4. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 1,5 y 2,0 dioptrías, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo disminuyeron el astigmatismo previo a la cirugía de manera no significativa, mientras que, en este mismo grupo, a los que se les practicó la paracentesis

perpendicular a la incisión principal, el astigmatismo no se ve modificado significativamente.

5. Para astigmatismos prequirúrgicos a favor de la regla, en contra de la regla y oblicuos, más de la mitad de los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis perpendicular a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo, el astigmatismo previo aumenta tras la intervención.

6. Para astigmatismos prequirúrgicos a favor de la regla, en contra de la regla, y oblicuos, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo disminuyeron el astigmatismo previo a la cirugía.

7. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 0,5 y 1,0 dioptrías, tanto a favor de la regla como en contra de la regla como oblicuos, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo disminuyeron el astigmatismo previo a la cirugía.

8. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 0,5 y 1,0 dioptrías, tanto a favor de la regla como en contra de la regla y oblicuos, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis perpendicular a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo, aumentaron el astigmatismo previo a la cirugía.

9. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 1,0 y 1,5 dioptrías, tanto a favor de la regla, como en contra de la regla y oblicuos, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la

incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo disminuyeron el astigmatismo previo a la cirugía, aunque los a favor de la regla de manera no estadísticamente significativa.

10. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 1,0 y 1,5 dioptrías, a favor de la regla, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis perpendicular a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo, disminuye el astigmatismo previo a la cirugía de manera no estadísticamente significativa.

11. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 1,0 y 1,5 dioptrías en contra de la regla y oblicuos, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis perpendicular a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo, aumentaron el astigmatismo previo a la cirugía.

12. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 1,5 y 2,0 dioptrías, a favor de la regla, en contra de la regla y oblicuos, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis enfrentada a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo, disminuyeron el astigmatismo previo a la cirugía

13. Para astigmatismos prequirúrgicos entre 1,5 y 2,0 dioptrías en contra de la regla, todos los ojos intervenidos a los que se les practicó la paracentesis perpendicular a la incisión principal, habiendo sido ésta en el eje más curvo, disminuyeron el astigmatismo previo a la cirugía.

BIBLIOGRAFIA



BIBLIOGRAFIA

1. SaludSistemaSanitario_100_Tablas1.pdf [Internet]. [cited 2017 Nov 5]. Available from: https://www.msssi.gob.es/estadEstudios/estadisticas/sisInfSanSNS/tablasEstadisticas/SaludSistemaSanitario_100_Tablas1.pdf
2. Acosta R, Hoffmeister L, Román R, Comas M, Castilla M, Castells X. [Systematic review of population-based studies of the prevalence of cataracts]. *Arch Soc Espanola Oftalmol*. 2006 Sep;81(9):509–16.
3. Inf_Anuar_SNS_2015.1.pdf [Internet]. [cited 2017 Nov 5]. Available from: http://www.msssi.gob.es/estadEstudios/estadisticas/sisInfSanSNS/tablasEstadisticas/Inf_Anuar_SNS_2015.1.pdf
4. Castells X, Alonso J, Ribo C, Nara D, Teixido A, Castilla M. Factors associated with second eye cataract surgery. *Br J Ophthalmol*. 2000 Jan;84(1):9–12.
5. Hecht E. *Optics*. 4th ed. Reading, Mass: Addison-Wesley; 2002. 698 p.
6. El vacío es materia [Internet]. [cited 2018 Feb 2]. Available from: <http://studylib.es/doc/7473123/el-vac%C3%ADo-es-materia>
7. Hecht E. *Óptica*. Edición: 5. Madrid etc.: PEARSON; 2016. 724 p.
8. Artal P, Guirao A, Berrio E, Williams DR. Compensation of corneal aberrations by the internal optics in the human eye. *J Vis*. 2001;1(1):1–8.
9. Applegate RA, Marsack JD, Thibos LN. Metrics of retinal image quality predict visual performance in eyes with 20/17 or better visual acuity. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom*. 2006 Sep;83(9):635–40.
10. Alhazen, 1572, *Opticæ thesaurus*. Title page with vignette. :: Emblematic Science [Internet]. [cited 2017 Apr 1]. Available from: <http://lhdigital.lindahall.org/cdm/ref/collection/emblematic/id/1404>
11. Levin LA, Nilsson SFE, Ver Hoeve J, Wu S, Kaufman PL, Alm A. *Adler's Physiology of the Eye: Expert Consult*. London: Elsevier Health Sciences; 2011.
12. Helmholtz H von. *Handbuch der physiologischen Optik* [Internet]. Leipzig : Leopold Voss; 1867 [cited 2018 Jan 27]. 926 p. Available from: <http://archive.org/details/handbuchderphysi00helm>
13. Artal P, Benito A, Tabernero J. The human eye is an example of robust optical design. *J Vis*. 2006 Jan 10;6(1):1–7.
14. 178-381-1-SM.pdf [Internet]. Scribd. [cited 2018 Jan 27]. Available from: <https://es.scribd.com/document/241668326/178-381-1-SM-pdf>
15. Porter J, Williams DR, Guirao A. A compact description of the eye's aberrations in a large population. In: *Vision Science and its Applications (2000)*, paper PD4 [Internet]. Optical Society of America; 2000 [cited 2017 Nov 12]. p. PD4. Available from: <https://www.osapublishing.org/abstract.cfm?uri=VSIA-2000-PD4>

16. Olarte RV. Entendiendo e interpretando las aberraciones ópticas. *Cienc Tecnol Para Salud Vis Ocul.* 2011;9(2):105–122.
17. Estudio aberraciones polinomio de zernicke [Internet]. Issuu. [cited 2018 Jan 27]. Available from: https://issuu.com/japhsion/docs/__studio_aberraciones_polinomio_de_/10
18. Liang J, Grimm B, Goelz S, Bille JF. Objective measurement of wave aberrations of the human eye with the use of a Hartmann-Shack wave-front sensor. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 1994 Jul;11(7):1949–57.
19. Guirao A, Porter J, Williams DR, Cox IG. Calculated impact of higher-order monochromatic aberrations on retinal image quality in a population of human eyes. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 2002 Jan;19(1):1–9.
20. Gustafsson J, Terenius E, Buchheister J, Unsbo P. Peripheral astigmatism in emmetropic eyes. *Ophthalmic Physiol Opt J Br Coll Ophthalmic Opt Optom.* 2001 Sep;21(5):393–400.
21. Navarro R, Moreno E, Dorronsoro C. Monochromatic aberrations and point-spread functions of the human eye across the visual field. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis.* 1998 Sep;15(9):2522–9.
22. Atchison DA, Smith G. *Optics of the Human Eye.* Butterworth-Heinemann; 2000. 269 p.
23. DR LJ and W. Aberrations and retinal image quality of the normal human eye. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2017 Apr 2]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9379245>
24. Kohnen T, Bühren J, Kühne C, Mirshahi A. Wavefront-guided LASIK with the Zyoptix 3.1 system for the correction of myopia and compound myopic astigmatism with 1-year follow-up: clinical outcome and change in higher order aberrations. *Ophthalmology.* 2004 Dec;111(12):2175–85.
25. Barbero S, Marcos S, Jiménez-Alfaro I. Optical aberrations of intraocular lenses measured in vivo and in vitro. *JOSA A.* 2003 Oct 1;20(10):1841–51.
26. Kanski JJ, Bowling B. *Synopsis of clinical ophthalmology* [Internet]. St. Louis, MO: Elsevier Saunders; 2013 [cited 2018 Jan 27]. Available from: <http://site.ebrary.com/id/10643982>
27. Salado Marín F. *Astigmatismo: ponencia oficial de la Sociedad Española de Contactología, Madrid, 1987.* Cádiz: Universidad, Servicio de Publicaciones; 1988.
28. Infant astigmatism: Its disappearance with age - ScienceDirect [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/004269898090070X>
29. Grosvenor T. Etiology of astigmatism. *Am J Optom Physiol Opt.* 1978 Mar;55(3):214–8.
30. Biometry of 7,500 cataractous eyes. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7425052>
31. L-2390. LECCIONES DE OFTALMOLOGIA CLINICA. DR. MANUEL MARQUEZ. MADRID. 1926-27. [Internet]. todocoleccion.net. [cited 2018 Feb 3]. Available from: <https://www.todocoleccion.net/libros-antiguos-medicina/l-2390-lecciones-oftalmologia-clinica-dr-manuel-marquez-madrid-1926-27~x72006847>
32. A review of astigmatism and its possible genesis. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 3]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17177660>

33. Effect of axis orientation on visual performance in astigmatic eyes. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 3]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22727988>
34. Goodman JW. Introduction to Fourier optics. 3rd ed. Englewood, Colo: Roberts & Co; 2005. 491 p.
35. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19101427>
36. Effect of uncorrected astigmatism on vision. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21333869>
37. 1 ANATOMOFISIOLOGÍA DE LA CÓRNEA [Internet]. [cited 2017 Nov 5]. Available from: <http://www.oftalmo.com/publicaciones/lentes/cap1.htm>
38. Freegard TJ. The physical basis of transparency of the normal cornea. *Eye Lond Engl*. 1997;11 (Pt 4):465–71.
39. 02-capitulo 2 - Portada | Sociedad Española de Oftalmología [Internet]. [cited 2018 Jan 27]. Available from: <http://studylib.es/doc/8387241/02-capitulo-2---portada---sociedad-esp%C3%B1ola-de-oftalmolog%C3%ADa>
40. Wang L, Dai E, Koch DD, Nathoo A. Optical aberrations of the human anterior cornea. *J Cataract Refract Surg*. 2003 Aug;29(8):1514–21.
41. Buzzonetti L, Iarossi G, Valente P, Volpi M, Petrocelli G, Scullica L. Comparison of wavefront aberration changes in the anterior corneal surface after laser-assisted subepithelial keratectomy and laser in situ keratomileusis: preliminary study. *J Cataract Refract Surg*. 2004 Sep;30(9):1929–33.
42. Goodman JW. Introduction to Fourier Optics. Roberts and Company Publishers; 2005. 520 p.
43. ปรีอธิม ปอหฺยี่. L15 chapter 13 keratometry and keratoscopy 2 2007 2008 [Internet]. Empresariales presented at; 04:57:10 UTC [cited 2018 Jan 27]. Available from: <https://es.slideshare.net/jsonyee/l15-chapter-13-keratometry-and-keratoscopy-2-2007-2008>
44. ULIB - The keratometer index problem (by W.Haigis) [Internet]. [cited 2017 Dec 2]. Available from: <http://ocusoft.de/ulib/czm/texte/kprobl/kprobl.htm>
45. Furlan W, Monreal JG, Escrivá LM. Fundamentos de optometría: refracción ocular. Universitat de València; 2000. 268 p.
46. Future Challenges to Aberration-free Ablative Procedures [Internet]. [cited 2018 Feb 3]. Available from: <https://www.healio.com/ophthalmology/journals/jrs/2000-9-16-5/%7Bbe17cc24-e1bb-42bf-82ba-8fed23158963%7D/future-challenges-to-aberration-free-ablative-procedures>
47. Biomechanics of the cornea and wavefront-guided laser refractive surgery. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 3]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12361163>
48. Rowsey JJ, Reynolds AE, Brown R. Corneal topography. *Corneoscope*. *Arch Ophthalmol Chic Ill* 1960. 1981 Jun;99(6):1093–100.

49. Practical aspects of a corneal topography system. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 3]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1424061>
50. Standards for reporting the optical aberrations of eyes. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2017 Dec 2]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12361175>
51. Alpíns NA, Goggin M. Practical astigmatism analysis for refractive outcomes in cataract and refractive surgery. *Surv Ophthalmol*. 2004 Feb;49(1):109–22.
52. Thibos LN, Horner D. Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2001 Jan;27(1):80–5.
53. Past and present of corneal refractive surgery - Vestergaard - 2014 - *Acta Ophthalmologica* - Wiley Online Library [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/aos.12385/full>
54. Curso de Ciencias Básicas y Clínicas en Oftalmología, 2008-2009, Estuche 4 Secciones + Complemento [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <http://www.axon.es/Axon/LibroFicha.asp?Libro=71336>
55. Ophthalmic Surgery, Lasers & Imaging [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1941648/>
56. Effects of steep meridian incision on corneal astigmatism in phacoemulsification cataract surgery. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22440437>
57. Diagnóstico y control del astigmatismo en la cirugía del cristalino [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21762015000200007
58. American Academy of Ophthalmology. Curso de ciencias básicas y clínicas. Sección 3, Sección 3,. Barcelona [etc.: Elsevier; 2008.
59. Ernest PH, Neuhann T. Posterior limbal incision. *J Cataract Amp Refract Surg*. 22(1):78–84.
60. Buratto L. Phacoemulsification: Principles and Techniques. SLACK Incorporated; 2003. 776 p.
61. Henderson BA, Pineda (II.) R. Essentials of Cataract Surgery. SLACK Incorporated; 2007. 332 p.
62. Architectural design of a self-sealing corneal tunnel, single-hinge incision. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8133489>
63. Partes y Funcionamiento del Ojo - Clínica Dr. Soler | Innova [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <http://drsoler.com/problema-de-vision/el-ojo-humano>
64. The anatomy of the limbus. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Jan 28]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2695343>
65. Barraquer R, P. Álvarez J, Álvarez Fischer M, Martínez Grau G. Prevención y tratamiento del astigmatismo en queratoplastia penetrante. Vol. 10. 2002.
66. Berdahl JP, DeStafeno JJ, Kim T. Corneal wound architecture and integrity after phacoemulsification: Evaluation of coaxial, microincision coaxial, and microincision bimanual techniques. *J Cataract Refract Surg*. 2007 Mar 1;33(3):510–5.

67. Pisella P-J. Gestion de l'astigmatisme résiduel après chirurgie de la cataracte. /data/revues/01815512/v35i3/S0181551211004025/ [Internet]. 2012 Mar 18 [cited 2018 Jan 28]; Available from: <http://www.em-consulte.com/en/article/700469>
68. Samuelson SW, Koch DD, Kuglen CC. Determination of maximal incision length for true small-incision surgery. *Ophthalmic Surg.* 1991 Apr;22(4):204–7.
69. Article Catalogues [Internet]. [cited 2018 Jan 28]. Available from: http://serials.unibo.it/cgi-ser/start/en/spogli/df-s.tcl?prog_art=8581915&language=ENGLISH&view=articoli
70. Muftuoglu IK, Aydin Akova Y, Aksoy S, Unsal E. Comparison of astigmatism correction using either peripheral corneal relaxing incisions or toric intraocular lenses. *Eur J Ophthalmol.* 2016 Jun;26(3):236–41.
71. Ramos Pereira Y, Perdomo M, Carlos J, Silva H, Raúl J, Rodríguez Suárez B, et al. Diagnóstico y control del astigmatismo en la cirugía del cristalino. *Rev Cuba Oftalmol.* 2015 Jun;28(2):205–19.
72. I HF, Packer M, Hoffman R. *Refractive Lens Surgery.* Springer Science & Business Media; 2005. 240 p.
73. MORLET N, MINASSIAN D, DART J. Astigmatism and the analysis of its surgical correction. *Br J Ophthalmol.* 2001 Sep;85(9):1127–38.
74. Osher RH. Paired transverse relaxing keratotomy: A combined technique for reducing astigmatism. *J Cataract Refract Surg.* 1989 Jan 1;15(1):32–7.
75. Thornton SP. Astigmatic keratotomy with corneal relaxing incisions. *Int Ophthalmol Clin.* 1994;34(4):79–86.
76. Astigmatismo inducido en la incisión en meridiano más curvo vs. incisión temporal [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: http://bvs.sld.cu/revistas/act/vol18_1_17/act04117.htm
77. Saragoussi J-J. [Preexisting astigmatism correction combined with cataract surgery: corneal relaxing incisions or toric intraocular lenses?]. *J Fr Ophtalmol.* 2012 Sep;35(7):539–45.
78. Monaco G, Scialdone A. Long-term outcomes of limbal relaxing incisions during cataract surgery: aberrometric analysis. *Clin Ophthalmol Auckl NZ.* 2015 Aug 31;9:1581–7.
79. Kim DH, Wee WR, Lee JH, Kim MK. The Short Term Effects of a Single Limbal Relaxing Incision Combined with Clear Corneal Incision. *Korean J Ophthalmol KJO.* 2010 Apr;24(2):78–82.
80. Mohammad-Rabei H, Mohammad-Rabei E, Espandar G, Javadi MA, Jafarinasab MR, Hashemian SJ, et al. Three Methods for Correction of Astigmatism during Phacoemulsification. *J Ophthalmic Vis Res.* 2016;11(2):162–7.
81. Kim H, Whang W-J, Joo C-K. Corneal Astigmatism in Patients After Cataract Surgery: A 10-Year Follow-up Study. *J Refract Surg Thorofare NJ* 1995. 2016 Jun 1;32(6):404–9.
82. Lever J, Dahan E. Opposite clear corneal incisions to correct pre-existing astigmatism in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2000 Jun;26(6):803–5.
83. Khokhar S, Lohiya P, Murugiesan V, Panda A. Corneal astigmatism correction with opposite clear corneal incisions or single clear corneal incision: Comparative analysis. *J Cataract Refract Surg.* 2006 Sep 1;32(9):1432–7.

84. Duffey RJ. Paired Arcuate Keratotomy: A Surgical Approach to Mixed and Myopic Astigmatism. *Arch Ophthalmol*. 1988 Aug 1;106(8):1130.
85. Buzard KA, Laranjeira E, Fundingsland BR. Clinical results of arcuate incisions to correct astigmatism. *J Cataract Refract Surg*. 1996 Oct 1;22(8):1062–9.
86. A simple technique for corneal marking before toric intraocular lens implantation - *Journal of Cataract & Refractive Surgery* [Internet]. [cited 2018 Feb 3]. Available from: [http://www.jcrsjournal.org/article/S0886-3350\(13\)00418-5/abstract](http://www.jcrsjournal.org/article/S0886-3350(13)00418-5/abstract)
87. Park Y, Kim HS. Torsional and flattening effect on corneal astigmatism after cataract surgery: a retrospective analysis. *BMC Ophthalmol*. 2017 Feb 8;17(1):10.
88. Nikose AS, Saha D, Laddha PM, Patil M. Surgically induced astigmatism after phacoemulsification by temporal clear corneal and superior clear corneal approach: a comparison. *Clin Ophthalmol Auckl NZ*. 2018;12:65–70.
89. Alpíns N, Ong JKY, Stamatelatos G. Asymmetric Corneal Flattening Effect After Small Incision Cataract Surgery. *J Refract Surg Thorofare NJ* 1995. 2016 Aug 1;32(9):598–603.
90. Eliwa TF, Abdellatif MK, Hamza II. Effect of Limbal Relaxing Incisions on Corneal Aberrations. *J Refract Surg Thorofare NJ* 1995. 2016 Mar;32(3):156–62.
91. Hashemi H, Khabazkhoob M, Soroush S, Shariati R, Miraftab M, Yekta A. The location of incision in cataract surgery and its impact on induced astigmatism. *Curr Opin Ophthalmol*. 2016 Jan;27(1):58–64.
92. Chiam PJ. Effect of Paired Opposite Clear Corneal Incisions on With-the-Rule Versus Against-the-Rule Astigmatism. *Cornea*. 2015 Aug;34(8):901–5.
93. Sato T. Posterior half-incision of cornea for astigmatism; operative procedures and results of the improved tangent method. *Am J Ophthalmol*. 1953 Apr;36(4):462–6.
94. [Limbal relaxing incisions and cataract surgery: our experience]. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 5]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17846945>
95. Shimizu K, Misawa A, Suzuki Y. Toric intraocular lenses: correcting astigmatism while controlling axis shift. *J Cataract Refract Surg*. 1994 Sep;20(5):523–6.
96. Mendicute J, Irigoyen C, Ruiz M, Illarramendi I, Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R. Toric intraocular lens versus opposite clear corneal incisions to correct astigmatism in eyes having cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2009 Mar 1;35(3):451–8.
97. Lentes tóricas [Internet]. [cited 2018 Feb 3]. Available from: <http://studylib.es/doc/6274712/lentes-t%C3%B3ricas>
98. Chang DF. Early rotational stability of the longer Staar toric intraocular lens: fifty consecutive cases. *J Cataract Refract Surg*. 2003 May;29(5):935–40.
99. Astigmatism correction with a foldable toric intraocular lens in cataract patients. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 6]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10946194>

100. Raucau M, El Chehab H, Agard E, Lagenaitte C, Dot C. Toric lens implantation in cataract surgery: Automated versus manual horizontal axis marking, analysis of 50 cases. *J Fr Ophthalmol*. 2018 Jan;41(1):e1–9.
101. Novis C. Astigmatism and toric intraocular lenses. *Curr Opin Ophthalmol*. 2000 Feb;11(1):47–50.
102. Postoperative intraocular lens rotation: a randomized comparison of plate and loop haptic implants. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 3]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10571358>
103. Effect of large positioning holes on capsule fixation of plate-haptic intraocular lenses. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 3]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11134880>
104. Mendicutte J, Irigoyen C, Ruiz M, Illarramendi I, Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R. Toric intraocular lens versus opposite clear corneal incisions to correct astigmatism in eyes having cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*. 2009 Mar 1;35(3):451–8.
105. Nanavaty MA, Bedi KK, Ali S, Holmes M, Rajak S. Toric Intraocular Lenses Versus Peripheral Corneal Relaxing Incisions for Astigmatism Between 0.75 and 2.5 Diopters During Cataract Surgery. *Am J Ophthalmol*. 2017 Aug;180:165–77.
106. Muftuoglu IK, Aydin Akova Y, Aksoy S, Unsal E. Comparison of astigmatism correction using either peripheral corneal relaxing incisions or toric intraocular lenses. *Eur J Ophthalmol*. 2016 Jun;26(3):236–41.
107. The STAAR Toric IOL [Internet]. CRSToday. [cited 2018 Feb 3]. Available from: https://crstoday.com/articles/2006-may/crst0506_14-html/
108. Guyton DL. Prescribing cylinders: the problem of distortion. *Surv Ophthalmol*. 1977 Dec;22(3):177–88.
109. Kersey JP, O'Donnell A, Illingworth CD. Cataract surgery with toric intraocular lenses can optimize uncorrected postoperative visual acuity in patients with marked corneal astigmatism. *Cornea*. 2007 Feb;26(2):133–5.
110. Blum M, Kunert KS, Voßmerbäumer U, Sekundo W. Femtosecond lenticule extraction (ReLEx) for correction of hyperopia - first results. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol*. 2013 Jan;251(1):349–55.
111. Fine IH. The chip and flip phacoemulsification technique. *J Cataract Refract Surg*. 1991 May;17(3):366–71.
112. International Agency for the Prevention of Blindness. In: Wikipedia [Internet]. 2018 [cited 2018 Feb 4]. Available from: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=International_Agency_for_the_Prevention_of_Blindness&oldid=818119459
113. Morlet N, Minassian D, Dart J. Astigmatism and the analysis of its surgical correction. *Br J Ophthalmol*. 2002 Dec;86(12):1458–9.
114. Shen Y, Tong J-P, Li Y-M. Corneal relaxing incision combined with phacoemulsification and IOL implantation. *J Zhejiang Univ Sci*. 2004 Aug;5(8):985–8.

115. Mendicute J, Irigoyen C, Ruiz M, Illarramendi I, Ferrer-Blasco T, Montés-Micó R. Toric intraocular lens versus opposite clear corneal incisions to correct astigmatism in eyes having cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2009 Mar;35(3):451–8.
116. Zhu S, Qu N, Wang W, Zhu Y, Shentu X, Chen P, et al. Morphologic features and surgically induced astigmatism of femtosecond laser versus manual clear corneal incisions. *J Cataract Refract Surg.* 2017 Nov;43(11):1430–5.
117. Baharozian CJ, Song C, Hatch KM, Talamo JH. A novel nomogram for the treatment of astigmatism with femtosecond-laser arcuate incisions at the time of cataract surgery. *Clin Ophthalmol Auckl NZ.* 2017;11:1841–8.
118. Cavallini GM, Verdina T, De Maria M, Fornasari E, Volpini E, Campi L. Femtosecond laser-assisted cataract surgery with bimanual technique: learning curve for an experienced cataract surgeon. *Int Ophthalmol.* 2017 Nov 29;
119. Diakonis VF, Yesilirmak N, Cabot F, Kankariya VP, Kounis GA, Warren D, et al. Comparison of surgically induced astigmatism between femtosecond laser and manual clear corneal incisions for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2015 Oct;41(10):2075–80.
120. Nagy ZZ, Dunai A, Kránitz K, Takács AI, Sándor GL, Hécz R, et al. Evaluation of femtosecond laser-assisted and manual clear corneal incisions and their effect on surgically induced astigmatism and higher-order aberrations. *J Refract Surg Thorofare NJ 1995.* 2014 Aug;30(8):522–5.
121. Wang L, Zhang S, Zhang Z, Koch DD, Jia Y, Cao W, et al. Femtosecond laser penetrating corneal relaxing incisions combined with cataract surgery. *J Cataract Refract Surg.* 2016 Jul;42(7):995–1002.
122. Ye H, Zhang K, Yang J, Lu Y. Changes of corneal higher-order aberrations after cataract surgery. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom.* 2014 Oct;91(10):1244–50.
123. Razmjoo H, Koosha N, Vaezi MH, Rahimi B, Peyman A. Corneal astigmatism change and wavefront aberration evaluation after cataract surgery: “Single” versus “paired opposite” clear corneal incisions. *Adv Biomed Res.* 2014;3:163.
124. Durán JA, Gutiérrez E, Atienza R, Piñero DP. Vector analysis of astigmatic changes and optical quality outcomes after wavefront-guided laser in situ keratomileusis using a high-resolution aberrometer. *J Cataract Refract Surg.* 2017 Dec;43(12):1515–22.
125. Accuracy and precision of objective refraction from wavefront aberrations. - PubMed - NCBI [Internet]. [cited 2018 Feb 4]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15134480>
126. Highlights of ASCRS 2005 [Internet]. Medscape. [cited 2017 May 20]. Available from: <http://www.medscape.com/viewarticle/504554>
127. Wang L, Xiao X, Zhao L, Zhang Y, Wang J, Zhou A, et al. Comparison of efficacy between coaxial microincision and standard-incision phacoemulsification in patients with age-related cataracts: a meta-analysis. *BMC Ophthalmol.* 2017 Dec 29;17(1):267.
128. Jin C, Chen X, Law A, Kang Y, Wang X, Xu W, et al. Different-sized incisions for phacoemulsification in age-related cataract. *Cochrane Database Syst Rev.* 2017 20;9:CD010510.

129. Yang J, Wang X, Zhang H, Pang Y, Wei R-H. Clinical evaluation of surgery-induced astigmatism in cataract surgery using 2.2 mm or 1.8 mm clear corneal micro-incisions. *Int J Ophthalmol*. 2017;10(1):68–71.
130. Sethi HS, Saluja K, Naik MP. Comparative analysis of coaxial phacoemulsification with 2.2- and 2.8-mm clear corneal incisions. *Int Ophthalmol*. 2017 Jan 31.
131. Febbraro J-L, Wang L, Borasio E, Richiardi L, Khan HN, Saad A, et al. Astigmatic equivalence of 2.2-mm and 1.8-mm superior clear corneal cataract incision. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol Albrecht Von Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol*. 2015 Feb;253(2):261–5.
132. Jain VK, Khokhar S, Agarwal A, Vanathi M, Kaushik J, Ram J. Microincision versus Standard Corneal Incision Phacoemulsification: Visual Outcome. *Optom Vis Sci Off Publ Am Acad Optom*. 2015 Jul;92(7):796–803.
133. He W, Zhu X, Du Y, Yang J, Lu Y. Clinical efficacy of implantation of toric intraocular lenses with different incision positions: a comparative study of steep-axis incision and non-steep-axis incision. *BMC Ophthalmol* [Internet]. 2017 Jul 27 [cited 2018 Feb 7];17. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5531017/>
134. Thibos LN, Applegate RA, Schwiegerling JT, Webb R, VSIA Standards Taskforce Members. Vision science and its applications. Standards for reporting the optical aberrations of eyes. *J Refract Surg Thorofare NJ* 1995. 2002 Oct;18(5):S652-660.

ANEXO

TABLAS

ESTADISTICOS

Grupo Ai	PARACENTESIS			Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
A1	Enfrentada	N	Válido	18	17	17
			Perdidos	0	1	1
		Media		-,5444	-,3176	,2400
		Desviación estándar		,20420	,26454	,18076
		Mínimo		-,87	-,75	,00
		Máximo		-,29	,25	,61
		Percentiles	25	-,7350	-,5000	,0850
			50	-,5100	-,2500	,2500
			75	-,3200	-,2000	,3650
	Perpendicular	N	Válido	45	44	44
			Perdidos	0	1	1
		Media		-,4893	-,6841	-,1900
		Desviación estándar		,18944	,39308	,38887
		Mínimo		-,94	-1,50	-,94
		Máximo		-,11	,75	1,40
Percentiles		25	-,6500	-,9375	-,4100	
		50	-,4600	-,7500	-,1750	
		75	-,3450	-,5000	-,0400	
A2		N	Válido	1	0	0
			Perdidos	1	2	2
		Media		-,6900		
		Mínimo		-,69		
		Máximo		-,69		
		Percentiles	25	-,6900		
			50	-,6900		
			75	-,6900		
		Enfrentada	N	Válido	20	19
	Perdidos			0	1	1
	Media			-1,1355	-,5984	,5311
	Desviación estándar			,24528	,21446	,27335
	Mínimo			-1,56	-1,00	,16
	Máximo			-,64	-,25	1,14
	Percentiles		25	-1,3325	-,7500	,3000
	50		-1,1550	-,5000	,4900	
	75		-1,0400	-,5000	,6800	
Perpendicular	N	Válido	16	16	16	
		Perdidos	0	0	0	
	Media		-1,1144	-1,1069	,0075	
	Desviación estándar		,26976	,96531	,91352	
	Mínimo		-1,76	-2,50	-1,34	
	Máximo		-,67	1,75	2,89	
	Percentiles	25	-1,2325	-1,9375	-,5625	
		50	-1,1550	-1,0000	,0000	
		75	-1,0000	-,8200	,1575	

ESTADISTICOS

Grupo Ai	PARACENTESIS			Ast pre-ig	Ast post-ig	Variación AST pre-post
A3	Enfrentada	N	Válido	12	11	11
			Perdidos	2	3	3
		Media		-1,9075	-1,0909	,7809
		Desviación estándar		,44155	,66401	,55851
		Mínimo		-2,52	-2,00	-,12
		Máximo		-1,17	,00	1,75
		Percentiles	25	-2,2900	-1,5000	,4200
		50	-1,8850	-1,5000	,6000	
		75	-1,5600	-,2500	1,3000	
	Perpendicular	N	Válido	2	2	2
			Perdidos	0	0	0
		Media		-1,7950	-1,7500	,0450
		Desviación estándar		,34648	,35355	,00707
		Mínimo		-2,04	-2,00	,04
Máximo			-1,55	-1,50	,05	
Percentiles		25	-2,0400	-2,0000	,0400	
	50	-1,7950	-1,7500	,0450		
	75	.	.	.		

Tabla A1

Estadística de la variación del astigmatismo tras la cirugía según la localización de la paracentesis respecto a la incisión principal. La tabla se divide en tres en función de la cuantía del astigmatismo corneal prequirúrgico.

Prueba de Mann-Whitney

Estadísticos de prueba^a

Grupo Ai		Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
A1	U de Mann-Whitney	356,500	142,000	67,500
	W de Wilcoxon	527,500	1132,000	1057,500
	Z	-,738	-3,819	-4,932
	Sig. asintótica (bilateral)	,460	,000	,000
A2	U de Mann-Whitney	146,000	46,500	37,500
	W de Wilcoxon	356,000	182,500	173,500
	Z	-,446	-3,541	-3,794
	Sig. asintótica (bilateral)	,655	,000	,000
	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,671 ^b	,000 ^b	,000 ^b
A3	U de Mann-Whitney	9,500	4,000	2,000
	W de Wilcoxon	87,500	7,000	5,000
	Z	-,457	-1,458	-1,776
	Sig. asintótica (bilateral)	,648	,145	,076
	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,659 ^b	,231 ^b	,103 ^b

a. Variable de agrupación: PARACENTESIS

b. No corregido para empates.

Tabla A2

Prueba de Mann Whitney para la tabla anterior.

AST por paracentesis dependiendo de la clasificación

c. Estadísticos

CLASIFICACION	PARACENTESIS			Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post	
A favor		N	Válido	1	0	0	
			Perdidos	0	1	1	
		Media		-,6900			
		Mínimo		-,69			
		Máximo		-,69			
		Percentiles	25	-,6900			
			50	-,6900			
			75	-,6900			
		Enfrentada	N	Válido	16	16	16
				Perdidos	0	0	0
	Media			-1,0612	-,4938	,5675	
	Mínimo			-2,52	-2,00	,06	
	Máximo			-,31	,25	1,30	
	Percentiles		25	-1,4200	-,7500	,3525	
		50	-1,1550	-,3750	,4700		
75		-,5425	-,2500	,7775			
Desviación estándar		,57376	,48713	,34060			
Perpendicular	N	Válido	14	13	13		
		Perdidos	0	1	1		
	Media		-,6614	-,7308	-,0400		
	Mínimo		-1,76	-1,75	-,94		
	Máximo		-,11	,75	1,40		
	Percentiles	25	-1,0000	-1,2500	-,3600		
		50	-,5100	-,7500	-,0400		
		75	-,3100	-,3750	,0400		
	Desviación estándar		,46884	,64921	,58866		
	En contra	Enfrentada	N	Válido	20	17	17
Perdidos				2	5	5	
Media				-1,0870	-,6912	,3600	
Mínimo				-2,50	-1,50	,00	
Máximo				-,30	,00	1,00	
Percentiles			25	-1,5050	-1,0000	,1000	
			50	-,9400	-,5000	,3400	
			75	-,5250	-,3750	,5700	
Desviación estándar				,70477	,47211	,28428	
Perpendicular			N	Válido	26	26	26
		Perdidos		0	0	0	
		Media		-,7581	-,9638	-,2058	
		Mínimo		-2,04	-2,00	-,92	
		Máximo		-,34	-,50	,25	

ESTADISTICOS

CLASIFICACION	PARACENTESIS		Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
	Percentiles	25	-,8875	-1,0500	-,2975
		50	-,7150	-,8800	-,1250
		75	-,4525	-,7500	-,0150
	Desviación estándar		,40044	,41103	,29017
Oblicua	.	N	Válido	0	0
			Perdidos	1	1
Enfrentada	N	Válido	14	14	14
		Perdidos	0	0	0
	Media		-1,1914	-,6514	,5400
	Mínimo		-2,00	-1,50	-,12
	Máximo		-,29	,00	1,75
	Percentiles	25	-1,4875	-,9025	,2275
		50	-1,2000	-,6250	,4400
		75	-,8250	-,2500	,6300
	Desviación estándar		,47087	,47055	,52338
Perpendicular	N	Válido	23	23	23
			Perdidos	0	0
	Media		-,6291	-,7283	-,0991
	Mínimo		-1,36	-2,50	-1,34
	Máximo		-,17	1,75	2,89
	Percentiles	25	-,7000	-1,0000	-,4500
		50	-,5000	-,7500	-,3300
		75	-,3700	-,5000	,1300
	Desviación estándar		,35947	,81154	,76879

Tabla A3

Estadística de la variación de astigmatismo en función de la localización del meridiano más curvo antes de la cirugía cruzado con la localización de las incisiones.

Prueba de Mann-Whitney

Estadísticos de prueba^a

CLASIFICACION		Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
A favor	U de Mann-Whitney	61,500	68,500	29,000
	W de Wilcoxon	197,500	159,500	120,000
	Z	-2,100	-1,587	-3,289
	Sig. asintótica (bilateral)	,036	,112	,001
	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,034 ^b	,121 ^b	,001 ^b
En contra	U de Mann-Whitney	200,500	128,000	16,500
	W de Wilcoxon	410,500	479,000	367,500
	Z	-1,319	-2,347	-5,082
	Sig. asintótica (bilateral)	,187	,019	,000
Oblicua	U de Mann-Whitney	55,000	145,000	42,000
	W de Wilcoxon	160,000	421,000	318,000
	Z	-3,321	-,508	-3,729
	Sig. asintótica (bilateral)	,001	,611	,000
	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,001 ^b	,632 ^b	,000 ^b

a. Variable de agrupación: PARACENTESIS

b. No corregido para empates.

Tabla A4

Prueba de Mann Whitney para la tabla anterior.

AST por paracentesis dependiendo del grupo y clasificación.

Grupo Ai	CLASIFICACION	PARACENTESIS			Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
A1	A favor	Enfrentada	N	Válido	6	6	6
				Perdidos	0	0	0
			Media	-5283	-1917	3367	
			Desviación estándar	20014	24580	17750	
			Mínimo	-87	-50	06	
			Máximo	-31	25	61	
		Percentiles	25	-6750	-3125	2175	
			50	-5100	-2500	3550	
			75	-3475	-0500	4300	
		Perpendicular	N	Válido	10	9	9
				Perdidos	0	1	1
			Media	-4250	-5833	-1422	
	Desviación estándar		23946	63738	65521		
	Mínimo		-94	-1,50	-94		
	Máximo		-11	75	1,40		
	Percentiles	25	-5825	-1,0000	-5250		
		50	-3500	-5000	-2700		
		75	-2675	-3750	0150		
	En contra	Enfrentada	N	Válido	9	8	8
				Perdidos	0	1	1
			Media	-5267	-3750	1775	
			Desviación estándar	19487	23146	19114	
			Mínimo	-85	-75	00	
			Máximo	-30	00	48	
Percentiles		25	-6850	-5000	0550		
		50	-5000	-3750	1000		
		75	-3200	-2500	3950		
Perpendicular		N	Válido	18	18	18	
			Perdidos	0	0	0	
		Media	-5628	-8250	-2622		
	Desviación estándar	16687	27613	25657			
	Mínimo	-85	-1,50	-92			
	Máximo	-34	-50	00			
Percentiles	25	-7350	-1,0000	-3650			
	50	-5500	-7500	-1750			
	75	-4025	-5750	-0975			
Oblicua	Enfrentada	N	Válido	3	3	3	
			Perdidos	0	0	0	
		Media	-6300	-4167	2133		
		Desviación estándar	29866	38188	10017		
		Mínimo	-85	-75	10		
		Máximo	-29	00	29		
	Percentiles	25	-8500	-7500	1000		
		50	-7500	-5000	2500		
		75	.	.	.		
	Perpendicular	N	Válido	17	17	17	
			Perdidos	0	0	0	
		Media	-4494	-5882	-1388		
Desviación estándar		16281	30543	33448			
Mínimo	-70	-1,25	-58				

ESTADISTICOS

Grupo Ai	CLASIFICACION	PARACENTESIS		Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
			Máximo	-,17	,00	,47
			Percentiles 25	-,6050	-,7500	-,4150
			50	-,4200	-,5000	-,1300
			75	-,3350	-,3750	,0650
A2	A favor	.	N	Válido 1	0	0
				Perdidos 0	1	1
			Media	-,6900		
			Mínimo	-,69		
			Máximo	-,69		
			Percentiles 25	-,6900		
			50	-,6900		
			75	-,6900		
	Enfrentada		N	Válido 7	7	7
				Perdidos 0	0	0
			Media	-1,2243	-,5357	,6886
			Desviación estándar	,27957	,22493	,31614
			Mínimo	-1,56	-,75	,20
			Máximo	-,70	-,25	1,14
			Percentiles 25	-1,4300	-,7500	,4000
			50	-1,1800	-,5000	,6800
			75	-1,1500	-,2500	,9300
	Perpendicular		N	Válido 4	4	4
				Perdidos 0	0	0
			Media	-1,2525	-1,0625	,1900
			Desviación estándar	,35827	,62500	,37336
			Mínimo	-1,76	-1,75	,00
			Máximo	-1,00	-,25	,75
			Percentiles 25	-1,6325	-1,6250	,0000
			50	-1,1250	-1,1250	,0050
			75	-1,0000	-,4375	,5650
	En contra	Enfrentada	N	Válido 6	5	5
				Perdidos 0	1	1
			Media	-1,0417	-,6000	,4000
			Desviación estándar	,18563	,13693	,18385
			Mínimo	-1,25	-,75	,20
			Máximo	-,70	-,50	,64
			Percentiles 25	-1,1675	-,7500	,2400
			50	-1,0650	-,5000	,3400
			75	-,9475	-,5000	,5900
	Perpendicular		N	Válido 6	6	6
				Perdidos 0	0	0
			Media	-,9983	-1,1183	-,1200
			Desviación estándar	,21545	,46391	,38951
			Mínimo	-1,18	-2,00	-,82
			Máximo	-,71	-,75	,25
			Percentiles 25	-1,1800	-1,4000	-,4225
			50	-1,0800	-1,0000	-,0100
			75	-,7475	-,7575	,1825
	Oblicua	.	N	Válido 0	0	0
				Perdidos 1	1	1

ESTADISTICOS

Grupo Ai	CLASIFICACION	PARACENTESIS			Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
	Enfrentada	N	Válido	7	7	7	
			Perdidos	0	0	0	
		Media		-1,1271	-,6600	,4671	
		Desviación estándar		,25604	,25665	,23164	
		Mínimo		-1,40	-1,00	,16	
		Máximo		-,64	-,25	,90	
		Percentiles	25	-1,3600	-,8700	,3000	
			50	-1,1600	-,7500	,4900	
			75	-1,0400	-,5000	,5400	
	Perpendicular	N	Válido	6	6	6	
			Perdidos	0	0	0	
		Media		-1,1383	-1,1250	,0133	
		Desviación estándar		,25055	1,53093	1,49065	
		Mínimo		-1,36	-2,50	-1,34	
		Máximo		-,67	1,75	2,89	
		Percentiles	25	-1,3525	-2,1250	-,8225	
			50	-1,1550	-1,5000	-,4850	
			75	-1,0225	-,3125	,8350	
A3	A favor	Enfrentada	N	Válido	3	3	3
				Perdidos	0	0	0
		Media		-1,7467	-1,0000	,7467	
		Desviación estándar		,69616	,90139	,48180	
		Mínimo		-2,52	-2,00	,42	
		Máximo		-1,17	-,25	1,30	
		Percentiles	25	-2,5200	-2,0000	,4200	
			50	-1,5500	-,7500	,5200	
			75	.	.	.	
	En contra	Enfrentada	N	Válido	5	4	4
				Perdidos	2	3	3
		Media		-2,1500	-1,4375	,6750	
		Desviación estándar		,34395	,12500	,27731	
		Mínimo		-2,50	-1,50	,34	
		Máximo		-1,59	-1,25	1,00	
		Percentiles	25	-2,4000	-1,5000	,4050	
			50	-2,2600	-1,5000	,6800	
			75	-1,8450	-1,3125	,9400	
Perpendicular	N	Válido	2	2	2		
		Perdidos	0	0	0		
	Media		-1,7950	-1,7500	,0450		
	Desviación estándar		,34648	,35355	,00707		
	Mínimo		-2,04	-2,00	,04		
	Máximo		-1,55	-1,50	,05		
	Percentiles	25	-2,0400	-2,0000	,0400		
		50	-1,7950	-1,7500	,0450		
		75	.	.	.		
Oblicua	Enfrentada	N	Válido	4	4	4	
			Perdidos	0	0	0	
	Media		-1,7250	-,8125	,9125		
	Desviación estándar		,25645	,80039	,87686		
	Mínimo		-2,00	-1,50	-,12		

ESTADISTICOS

Grupo Ai	CLASIFICACION	PARACENTESIS	Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
		Máximo	-1,38	,00	1,75
		Percentiles			
		25	-1,9425	-1,5000	,0350
		50	-1,7600	-,8750	1,0100
		75	-1,4725	-,0625	1,6925

Tabla A5

Estadística de la variación astigmática relacionando la cuantía del astigmatismo corneal prequirúrgico, la localización del meridiano más curvo y el ángulo entre incisión principal y paracentesis.

Prueba de Mann-Whitney

Estadísticos de prueba^a

Grupo Ai	CLASIFICACION		Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
A1	A favor	U de Mann-Whitney	20,500	10,000	7,000
		W de Wilcoxon	41,500	55,000	52,000
		Z	-1,031	-2,042	-2,357
		Sig. asintótica (bilateral)	,302	,041	,018
		Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,313 ^b	,050 ^b	,018 ^b
	En contra	U de Mann-Whitney	67,500	14,000	,500
		W de Wilcoxon	238,500	185,000	171,500
		Z	-,695	-3,300	-3,976
		Sig. asintótica (bilateral)	,487	,001	,000
		Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,495 ^b	,001 ^b	,000 ^b
	Oblicua	U de Mann-Whitney	15,000	19,000	10,000
		W de Wilcoxon	21,000	172,000	163,000
		Z	-1,114	-,714	-1,643
		Sig. asintótica (bilateral)	,265	,475	,100
		Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,305 ^b	,546 ^b	,118 ^b
A2	A favor	U de Mann-Whitney	13,000	6,000	4,000
		W de Wilcoxon	41,000	16,000	14,000
		Z	-,189	-1,544	-1,894
		Sig. asintótica (bilateral)	,850	,123	,058
		Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,927 ^b	,164 ^b	,073 ^b
	En contra	U de Mann-Whitney	18,000	1,000	1,000
		W de Wilcoxon	39,000	22,000	22,000
		Z	,000	-2,610	-2,556
		Sig. asintótica (bilateral)	1,000	,009	,011
		Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	1,000 ^b	,009 ^b	,009 ^b
	Oblicua	U de Mann-Whitney	21,000	8,000	7,000
		W de Wilcoxon	42,000	29,000	28,000

Estadísticos de prueba^a

Grupo Ai	CLASIFICACION	Ast pre-iq	Ast post-iq	Variación AST pre-post
	Z	,000	-1,875	-2,003
	Sig. asintótica (bilateral)	1,000	,061	,045
	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	1,000 ^b	,073 ^b	,051 ^b
A3	En contra			
	U de Mann-Whitney	1,000	1,500	,000
	W de Wilcoxon	16,000	4,500	3,000
	Z	-1,549	-1,369	-1,852
	Sig. asintótica (bilateral)	,121	,171	,064
	Significación exacta [2*(sig. unilateral)]	,190 ^b	,267 ^b	,133 ^b

a. Variable de agrupación: PARACENTESIS

b. No corregido para empates.

Tabla A6

Prueba de Mann Whitney para la tabla anterior.