



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Comparación de las medidas del ángulo kappa realizadas mediante pupilometría y topografía corneal.

Presentado por Mario Marcos Pérez

Tutelado por: Miguel José Maldonado López
Elena Martínez Plaza

Tipo de TFG: Investigación

En Valladolid a fecha 25/V/2016

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. El ojo como instrumento óptico | 1 |
| 1.2. Ejes en el ojo | 1 |
| 1.2.1. Eje óptico | 1 |
| 1.2.2. Eje visual | 2 |
| 1.2.3. Línea de mirada | 2 |
| 1.2.4. Eje pupilar | 2 |
| 1.3. Ángulos entre ejes | 2 |
| 1.3.1. Ángulo alfa | 2 |
| 1.3.2. Ángulo kappa | 3 |
| 1.3.3. Ángulo lambda | 3 |
| 1.4. Valores normales de kappa | 3 |
| 1.5. Medición de kappa en la clínica | 4 |
| 1.6. Influencia de kappa en el descentramiento de la zona de ablación en cirugía refractiva | 5 |
| 1.6.1. El centro pupilar | 5 |
| 1.6.2. El reflejo de luz corneal visto coaxialmente | 5 |
| 1.6.3. El vértice corneal | 5 |
| 1.6.4. Punto entre los ejes pupilar y visual | 5 |
| 2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO E HIPÓTESIS | 6 |
| 3 MATERIAL Y MÉTODO | 6 |
| 3.1. Pacientes | 6 |
| 3.2. Criterios de inclusión y exclusión | 6 |
| 3.3. Examen optométrico | 6 |
| 3.4. Análisis estadístico | 8 |
| 4 RESULTADOS | 8 |
| 4.1. Intercambiabilidad de kappa entre Galilei G4 y Topolyzer | 9 |
| 4.2. Comparación del ángulo kappa en el sistema Topolyzer | 13 |
| 5 DISCUSIÓN | 15 |
| 5.1. Correlación entre kappa y longitud axial | 16 |
| 5.2. Aplicación de kappa en cirugía refractiva hipermetrópica | 16 |
| 5.3. Aplicación de kappa en cirugía refractiva miópica | 17 |
| 6. CONCLUSIONES | 18 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 18 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1.- El ojo como instrumento óptico

El ojo como instrumento óptico está formado por hasta ocho cambios de medio; dos de esos cambios se producen en la córnea, y los otros seis cambios en el cristalino.¹ De estos cambios destacan las tres superficies que mayor potencia otorgan al ojo: la superficie anterior de la córnea, y la superficie anterior y posterior del cristalino.

Tabla 1: Datos pertenecientes al modelo de ojo teórico de LeGrand.

| Superficie | Potencia en dioptrías |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Superficie anterior de la córnea | 48.35 D |
| Superficie anterior cristalino | 8.10 D |
| Superficie posterior del cristalino | 14 D |

Para admitir que el ojo es un sistema óptico centrado, estas tres superficies tendrían que ser de revolución alrededor de un eje, pero no se da en ninguna de ellas. Un ejemplo claro de esta circunstancia es la córnea, cuya curvatura y por consiguiente potencia, es distinta en cada uno de los meridianos, teniendo en cuenta los 4 mm centrales; este fenómeno es conocido como astigmatismo corneal.¹

Aun omitiendo que estas superficies no son de revolución, otro requisito indispensable para considerar el ojo como un sistema óptico centrado es admitir que existe un eje que atraviesa los centros de curvatura de estas tres superficies, en cuyo caso, las imágenes de Purkinje estarían superpuestas. Normalmente esta coincidencia no se da, y según Helmholtz y Tschering¹ el centro de curvatura de la córnea está habitualmente desplazado hacia el lado temporal frente al eje del cristalino.¹ Este desplazamiento supone una imprecisión de 1 ó 2° en la definición de eje óptico.

Otro hecho importante que señaló Senff, y demostró posteriormente Helmholtz, es que la fovea no se encuentra dentro del eje óptico del ojo; se encuentra en una posición temporal y ligeramente hacia abajo respecto al eje óptico.¹ Se podría decir que el eje óptico corta la retina entre la papila y la fovea, pero más próxima a ésta. Este hecho obliga a definir otros puntos y ejes de referencia en el ojo, aunque algunos de ellos son conceptos teóricos y no pueden ser aplicables clínicamente.

1.2.- Ejes en el ojo

- **1.2.1.- Eje óptico:** Se define como la línea que atraviesa el centro de todos los elementos ópticos.² Como ya se mencionó anteriormente, el ojo no es un sistema óptico centrado, con lo que el eje óptico del ojo se define teóricamente como la línea que une

las cuatro imágenes de Purkinje. Sin embargo, otros autores apoyan que la definición correcta es la línea de mejor ajuste que pasa por el centro de curvatura del mejor ajuste esférico de cada superficie.³ Otra definición alternativa lo precisa como la línea que conecta el centro geométrico de la córnea con el del cristalino.⁴

- **1.2.2.- Eje visual:** Este otro concepto es puramente teórico. Clásicamente ha sido definido como una semirrecta que se inicia cuando el sujeto está fijando. El punto de partida es el punto de fijación, desde donde parte el eje visual, llegando al primer punto nodal, y saliendo del segundo con el mismo ángulo, llegando finalmente a fovea. Este término se ha definido de muchas maneras ya que los puntos de referencia no se corresponden con ninguna estructura anatómica.² Cabe recordar que los puntos nodales son puntos de referencia matemáticos que se corresponden con un modelo teórico. Ante los constantes intentos de definición de un eje visual, y la imposibilidad de localizarlo anatómicamente, resulta imposible aplicarlo en la clínica.
- **1.2.3.- Línea de mirada:** Esta línea se define anatómicamente, y en términos de óptica geométrica, como la línea que parte del punto de fijación, pasa por el centro de la pupila de entrada (punto fácilmente localizable) y finalmente llega a fovea.² Otros autores no especifican la zona retiniana donde intersecta esta línea. La gran ventaja frente al eje visual es que esta línea tiene una definición anatómica. No obstante, surgen problemas, ya que clínicamente, si la pupila no está perfectamente centrada, la línea nunca llegara a fovea. Además, la pupila está sometida a constantes cambios, no es estática.
- **1.2.4.- Eje pupilar:** El eje pupilar tiene origen anatómico, y se define como la línea normal a la córnea que pasa por el centro de la pupila de entrada.¹ En este caso, al igual que con la línea de mirada, el eje pupilar es variable, ya que la pupila se encuentra en constante movimiento, ya sea por tamaño o por corectopia.

1.3.- Ángulos entre ejes:

Existe una gran controversia y discusión acerca de cómo denominar los ángulos que forman los distintos ejes del ojo. A lo largo de este trabajo se utilizará la terminología de LeGrand y El Hege¹ y Tabernero y colaboradores.⁵

- **1.3.1.- Ángulo alfa:** Es el ángulo formado por el eje óptico y el eje visual. Como ya se mencionó, el eje óptico no pasa por la fovea, y el eje visual sí. Normalmente este ángulo se denota como positivo; el eje visual atraviesa la córnea nasalmente al eje óptico, aunque en ocasiones este ángulo puede resultar negativo en miopes. En general, toma un valor de 4 ó 5°.¹

- **1.3.2.- Ángulo kappa:** Este ángulo lo forman el eje pupilar y la línea de mirada. El centro de la pupila de entrada queda ligeramente hacia nasal respecto al eje óptico del ojo, por lo que el valor de kappa es inferior al ángulo alfa, aunque la diferencia es despreciable. Kappa suele ser positivo, es decir, el centro de la pupila de entrada queda temporal respecto a la línea de mirada; por lo tanto no es raro encontrarse falsos estrabismos (pseudoezotropía) en sujetos con kappa grande. Estos casos suelen darse en población caracterizada por tener pequeños valores de longitud axial ocular, como pueden ser los niños o pacientes hipermetropes. Para percibir este falso estrabismo basta con pedirle al paciente que fije su mirada en una luz, y el observador podrá ver que el reflejo de la primera imagen de Purkinje queda desplazado nasal, respecto al centro de la pupila.¹
- **1.3.3.- Ángulo lambda:** Muchos autores definen kappa como el ángulo formado por el eje pupilar y el eje visual. Pero como ya se mencionó, el eje visual tiene una connotación teórica, y es prácticamente igual a la línea de mirada cuando se está fijando un objeto no demasiado próximo¹, por lo que clínicamente, se va a medir el ángulo entre el eje pupilar y la línea de mirada, es decir, en la nomenclatura de este trabajo, ángulo kappa. Por lo tanto, el ángulo lambda es el formado por el eje pupilar y el eje visual.

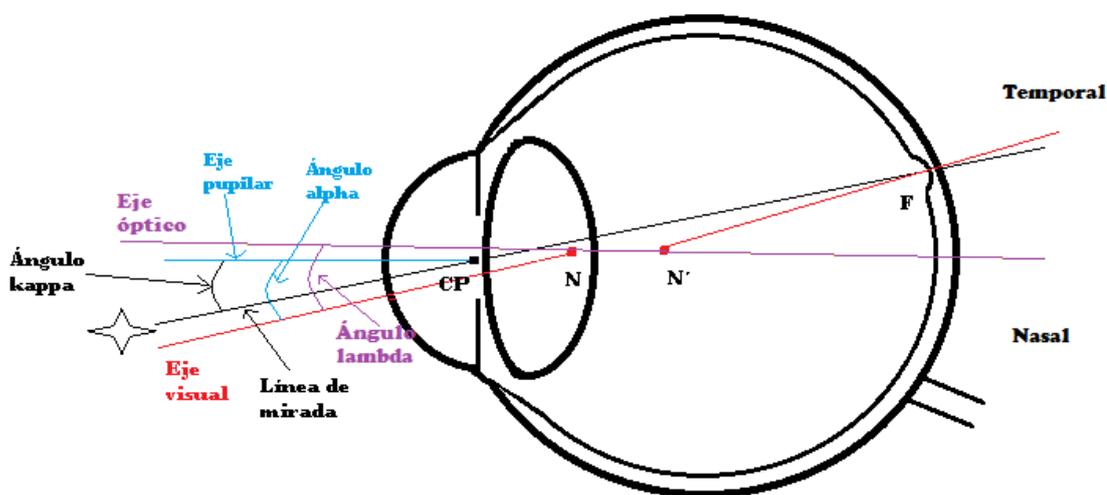


Figura 1: Representación gráfica de los ejes y ángulos visuales.

1.4.- Valores normales de kappa

Para justificar la relación de la longitud axial ocular con el valor del ángulo kappa, se muestra en la figura 1 una demostración geométrica.

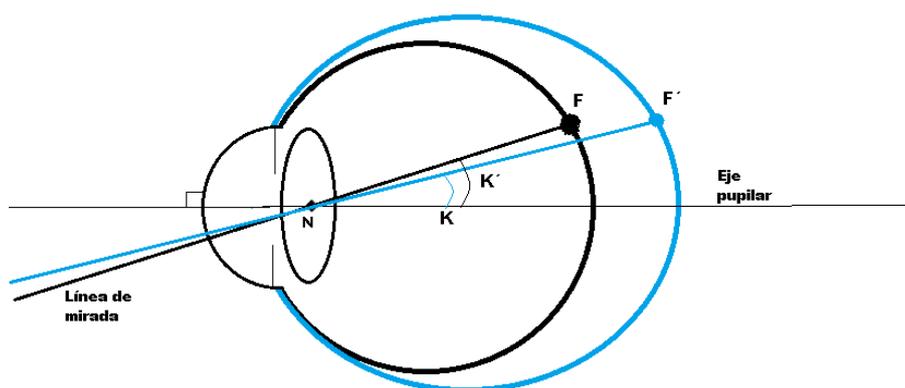


Figura 2: Representación de dos ojos superpuestos pero con distintas longitudes axiales, donde N es el punto nodal del ojo, k y k' representan sendos ángulos kappa y F y F' representan la fóvea de cada ojo.

Giovanni y colaboradores¹ mostraron que el 73.9% de los ojos emétopes, el 85.0% de los ojos hipermétropes y el 75.85% de los ojos miopes, tienen un valor de kappa positivo, de una muestra de 483 pacientes.

Se ha demostrado también que kappa es mayor en pacientes con exotropía comparados con otrotrópicos o endotrópicos.⁶

Basmak y colaboradores midieron kappa de 150 hombres y 150 mujeres, con el topógrafo Orbscan II (Bausch and Lomb, USA) encontrando diferencias entre los grupos de sujetos miopes e hipermétropes. Los valores encontrados fueron de $4.73^{\circ} \pm 0.11$ en el grupo de sujetos miopes y $5.73^{\circ} \pm 0.10$ en los sujetos hipermétropes.⁷

Hashemi y colaboradores⁸ (2010) encontraron diferencias para los valores de ángulo kappa en función de la ametropía de los sujetos; así, encontró valores de kappa en sujetos miopes de $5.13^{\circ} \pm 1.50$; sujetos con hipermetropía leve $5.53^{\circ} \pm 1.24$; sujetos con hipermetropía moderada $5.45^{\circ} \pm 1.26$; y sujetos con hipermetropía severa $5.59^{\circ} \pm 2.61$. Además concluyó que el ángulo kappa tiende a disminuir con la edad.

Por último, Alberto Domínguez y colaboradores en 2013 estudiaron el efecto de la acomodación sobre el valor del ángulo kappa, y concluyeron que las diferencias con varios niveles de vergencias no eran significativas.⁹

1.5.- Medición de kappa en la clínica

Para medir con precisión el ángulo kappa existen instrumentos como el sinoptóforo o el amblioscopio que están dotados de un pequeño punto de fijación y un arco graduado, por donde se tiene que desplazar el reflejo de la imagen de Purkinje hasta el centro pupilar. No obstante, y en la práctica, estos instrumentos no son habituales. Lo más usado con frecuencia para medir kappa son los

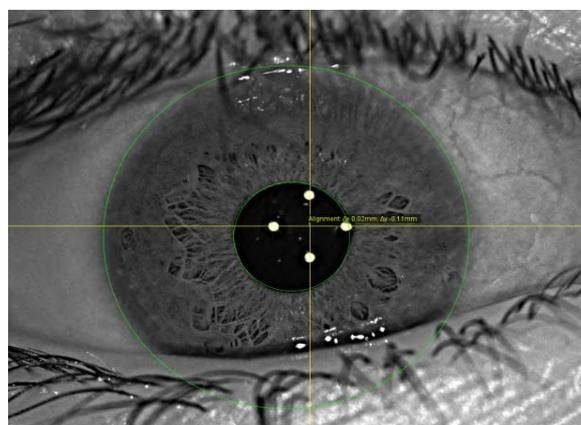


Imagen 1: Imagen proporcionada por Galilei G4 correspondiente a un ángulo kappa elevado

topógrafos corneales. Estos instrumentos tienen dos maneras de manifestar el ángulo kappa; algunos instrumentos lo calculan automáticamente gracias a un software, dando el resultado en grados; otros dan la distancia que existe desde el centro de la pupila al punto donde corta la línea de mirada con la córnea en coordenadas cartesianas.¹⁰

1.6.- Influencia de kappa en el descentramiento de la zona de ablación en cirugía refractiva

Se han descrito cuatro métodos para el descentramiento de la zona de ablación:¹¹

- **1.6.1.- El centro pupilar:** En 1987 Uozato y Guyton¹² sugirieron este punto basándose en que los fotorreceptores están orientados hacia el centro pupilar.
- **1.6.2.- El reflejo de luz corneal visto coaxialmente:** En 1993 Pande y Hillman¹³ defendieron utilizar este punto como descentramiento, ya que es el punto más cercano al eje visual que puede ser medido. Además de sugerir este método, desecharon el centro pupilar, por estar constantemente en cambio por los movimientos pupilares. En su estudio emplearon un autoqueratómetro en 50 voluntarios para medir la posición de los puntos que pueden ser utilizados como descentramiento en cirugía. Desde la intersección entre córnea y eje visual, midieron la distancia a la que se encuentran el centro pupilar, 0.34 mm hacia temporal; el reflejo de luz corneal visto coaxialmente, 0.02 mm hacia nasal; y el centro geométrico corneal, 0.55 mm hacia temporal.¹⁴
- **1.6.3.- El vértice corneal:** Es el punto de mayor elevación corneal. Está cercano a la línea de mirada y es independiente del tamaño pupilar.¹⁰ De Orteta y colaboradores¹⁵ publicaron un estudio con 52 ojos hipermétropes sometidos a cirugía refractiva, desplazando la zona de ablación hacia el vértice corneal. A los tres meses fueron examinados, encontrándose con un resultado de menos de 0.50 D de equivalente esférico residual en 49 de 52 de los ojos. Ninguno de ellos perdió ninguna línea de agudeza visual con corrección.
- **1.6.4.- Punto entre los ejes pupilar y visual:** En 2009 Kermani y colaboradores¹⁶ sugirieron centrar la ablación en el punto medio entre el centro pupilar y el reflejo corneal en pacientes con kappa grande.

2.- JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO E HIPÓTESIS

Ante los constantes hallazgos de diferencias en los valores de ángulo kappa en clínica mediante pupilometría y topografía óptica y dada la importancia del valor de ángulo kappa para el preoperatorio de cirugía refractiva, se decide analizar la intercambiabilidad de las medidas del ángulo kappa obtenidos por dos aparatos comúnmente utilizados en la valoración de los pacientes candidatos a cirugía refractiva (Galilei G4 y Topolyzer). Nunca se ha estudiado este fenómeno, por lo que el estudio resulta conveniente. Para el estudio se plantean las hipótesis de que las medidas realizadas con Galilei G4 y Topolyzer no son equiparables y que la magnitud del ángulo kappa está relacionada con la longitud axial del globo ocular.

3.- MATERIAL Y MÉTODO

3.1.- Pacientes.

Para el presente estudio se lograron reclutar 27 voluntarios, estudiantes de la Universidad de Valladolid. El método de reclutamiento fue mediante carteles informativos en las facultades. Todos los pacientes son ortotrópicos y sin ninguna alteración ocular reseñable. Todos los pacientes fueron informados con detalle de las pruebas que se iban a realizar y firmaron un consentimiento informado de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

3.2.- Criterios de inclusión y exclusión.

Participaron en dicho estudio todos aquellos pacientes voluntarios con una edad comprendida entre 18 y 40 años de edad, que no tuvieran ninguna cirugía ocular previa ni ninguna patología ocular que afectara a la visión. Además quedaron excluidos de dicho estudio los pacientes que presentaran una foria en visión lejana que excediera de los valores esperados de Morgan (1 dioptría prismática de exoforia $\pm 2 \nabla$). Se escogió este criterio de exclusión porque las pruebas de mayor peso del trabajo realizadas en los dispositivos Galilei G4 y Topolyzer conllevan que el paciente esté mirando al infinito. Los dos dispositivos tienen un estímulo de fijación de tal manera que el sujeto no tiene que utilizar su acomodación.

3.3.- Examen optométrico.

Además de las medidas del ángulo kappa, el examen optométrico consta de diversas pruebas para incluir en el análisis estadístico. Todos los exámenes visuales se realizaron en el Instituto Universitario de Oftalmología Aplicada, (IOBA, Valladolid).

Agudeza visual: se obtuvieron los datos de agudeza visual monocular mediante test ETDRS situado a una distancia de 4 metros del sujeto. Los datos se anotaron en escala logMar de cada ojo con la corrección habitual.

escotópicas. Se recogieron en él las medidas pupilares y las coordenadas en X y en Y del ángulo kappa. Este dispositivo calcula kappa midiendo desde el centro de los anillos de Plácido hasta el centro pupilar. Se realizaron tres pupilometrías por cada ojo, obteniéndose el valor medio de cada una.

Ambos dispositivos miden kappa elaborando un sistema de coordenadas que parte desde el centro de las imágenes de los dispositivos hasta el centro pupilar estipulado por los mismos. Un valor en el eje X negativo significa que el centro pupilar queda temporal, y en el caso de ojo izquierdo, sería hacia nasal. Si la coordenada Y está en negativo significa que el centro pupilar queda inferiormente. En la imagen 3 se muestra un ojo derecho con dos puntos, el rojo marca el centro pupilar y el verde el centro de la imagen. En este caso la coordenada X es negativa (el centro pupilar queda a la izquierda), y la coordenada Y positiva (el centro pupilar queda superior).

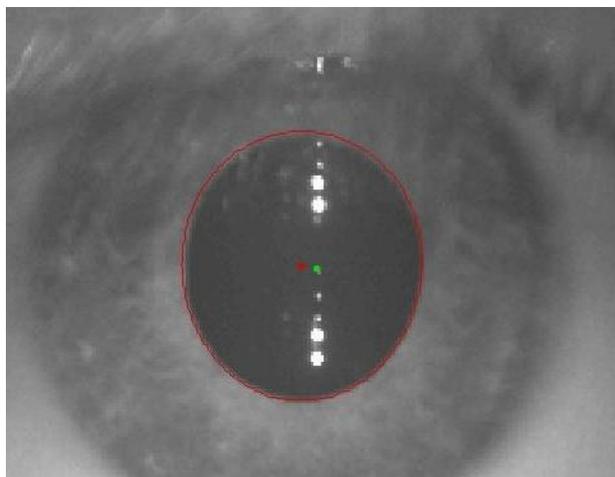


Imagen 3: Medición del dispositivo Topolyzer en visión fotópica.

Biometría óptica: mediante IOLMaster 500 (Carl Zeiss Meditec AG). Este dispositivo es un biómetro óptico de no contacto diseñado para calcular la lente intraocular que necesite el paciente. Se recogieron cinco medidas de la longitud axial en cada ojo, el valor promedio de la queratometría, profundidad de la cámara anterior y distancia blanco-blanco realizada tres veces en cada ojo.

3.4.- Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo en 18 pacientes mediante el software IBM SPSS (Chicago, IL, USA) en su versión 22 para Windows. La normalidad de los datos se analizó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La estadística descriptiva se valoró mediante medias y desviaciones estándar o medianas y rangos en el caso de resultar no paramétricas. En cuanto al análisis inferencial se utilizaron los estadísticos T de student o test de los rangos de Wilcoxon, y el análisis de Bland-Altman para la intercambiabilidad de los valores.

4.- RESULTADOS

De la muestra inicial de 27 pacientes fueron excluidos 9 al no cumplir criterios de inclusión y exclusión. Las edades de los pacientes están comprendidas entre los 18 y 28 años de edad, todos ellos presentan ortotropía, con una agudeza visual de lejos con corrección (media -0.03 ± 0.12 y -0.01 ± 0.10 en ojo derecho e izquierdo respectivamente). Su corrección habitual fue medida en cada ojo con una media del equivalente esférico de -1.69 ± 1.89 D y -1.87 ± 2.20 D. De toda la muestra, el 33.3% de los pacientes superaban el valor

de la foria en lejos respecto a los valores esperados de Morgan, por lo que fueron excluidos del análisis. De las medidas realizadas con IOLMaster 500 se obtuvo un valor medio de la longitud axial de 24.05 ± 1.26 mm en el ojo derecho y 24.08 ± 1.34 mm en el ojo izquierdo; queratometría con valores del meridiano más plano de 43.57 ± 1.64 D y 43.48 ± 1.69 D respectivamente; el meridiano más curvado 44.65 ± 1.68 D y 44.67 ± 1.87 D, con lo que el valor medio del astigmatismo corneal quedó en 1.07 ± 0.99 D y 1.19 ± 0.87 D; y distancia blanco-blanco 11.99 ± 0.33 mm y 11.92 ± 0.38 mm respectivamente.

4.1.- Intercambiabilidad de kappa entre Galilei G4 y Topolyzer

A continuación se presentan los valores medios relativos al ángulo kappa realizados con ambos instrumentos. En este análisis estadístico fueron incluidos 18 pacientes que presentan ortotropía y ortoforia en lejos para los valores esperados de Morgan. Las tablas 2 a 4 muestran los resultados del análisis descriptivo.

Tabla 2: Estadística descriptiva de los valores de ángulo kappa en el dispositivo Galilei G4.

| | Diámetro Pupilar (mm) | Distancia Kappa (mm) | Coordenada X (mm) | Coordenada Y (mm) |
|---------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| Ojo derecho | 3.24 ± 0.61 | 0.25 ± 0.09 | -0.18 ± 0.11 | 0.10 ± 0.14 |
| Ojo izquierdo | 3.07 ± 0.53 | 0.24 ± 0.11 | 0.18 ± 0.13 | 0.08 ± 0.12 |

Tabla 3: Estadística descriptiva de los valores de ángulo kappa en el dispositivo Topolyzer en condiciones fotópicas.

| | Diámetro Pupilar (mm) | Distancia Kappa (mm) | Coordenada X (mm) | Coordenada Y (mm) |
|---------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| Ojo derecho | 2.95 ± 0.43 | 0.27 ± 0.09 | -0.20 ± 0.11 | 0.09 ± 0.14 |
| Ojo izquierdo | 2.90 ± 0.39 | 0.20 ± 0.10 | 0.13 ± 0.13 | 0.06 ± 0.12 |

Tabla 4: Estadística descriptiva de los valores de ángulo kappa en el dispositivo Topolyzer en condiciones escotópicas.

| | Diámetro Pupilar (mm) | Distancia Kappa (mm) | Coordenada X (mm) | Coordenada Y (mm) |
|---------------|-----------------------|----------------------|-------------------|-------------------|
| Ojo derecho | 6.04 ± 0.62 | 0.29 ± 0.08 | -0.25 ± 0.09 | 0.05 ± 0.13 |
| Ojo izquierdo | 5.88 ± 0.67 | 0.23 ± 0.10 | 0.20 ± 0.12 | 0.01 ± 0.10 |

Se compararon las medidas del ángulo kappa entre los dos dispositivos en dos condiciones distintas, es decir, los resultados del instrumento Galilei G4 comparados con las dos medidas distintas, miosis y midriasis, que proporciona

el instrumento Topolyzer, encontrándose diferencias significativas en varias de las medidas. El análisis se realizó comparando las medidas del mismo ojo mediante el método Bland-Altman.

Tabla 5: Comparación de las medidas de ángulo kappa entre Galilei G4 y Topolyzer en condiciones fotópicas en los ojos derechos.

| | Media Galilei | Media Topolyzer miosis | Media de las diferencias | Desviación estándar | p | Intervalo de confianza 95% |
|-----------------|---------------|------------------------|--------------------------|---------------------|-------|----------------------------|
| Coordenada X | -0.180 | -0.200 | 0.020 | 0.029 | 0.010 | -0.037, 0.077 |
| Coordenada Y | 0.100 | 0.090 | 0.007 | 0.037 | 0.424 | -0.066, 0.080 |
| Distancia kappa | 0.260 | 0.270 | -0.013 | 0.030 | 0.077 | -0.072, 0.046 |

Tabla 6: Comparación de las medidas de ángulo kappa entre Galilei G4 y Topolyzer en condiciones escotópicas en los ojos derechos.

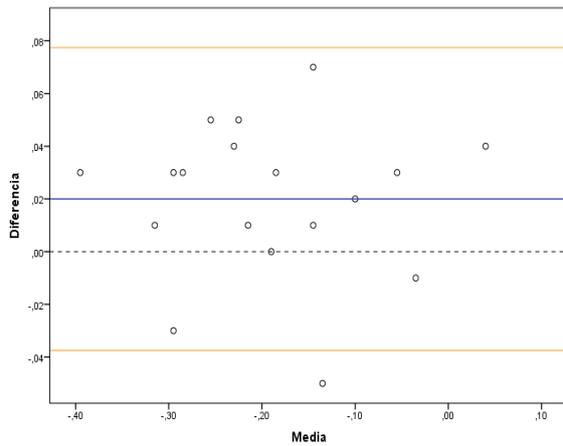
| | Media Galilei | Media Topolyzer midriasis | Media de las diferencias | Desviación estándar | p | Intervalo de confianza 95% |
|-----------------|---------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|-------|----------------------------|
| Coordenada X | -0.180 | -0.250 | 0.067 | 0.038 | 0.000 | -0.008, 0.141 |
| Coordenada Y | 0.100 | 0.050 | 0.052 | 0.062 | 0.002 | -0.069, 0.172 |
| Distancia kappa | 0.260 | 0.290 | -0.033 | 0.056 | 0.230 | -0.144, 0.077 |

Tabla 7: Comparación de las medidas de ángulo kappa entre Galilei G4 y Topolyzer en condiciones fotópicas en los ojos izquierdos.

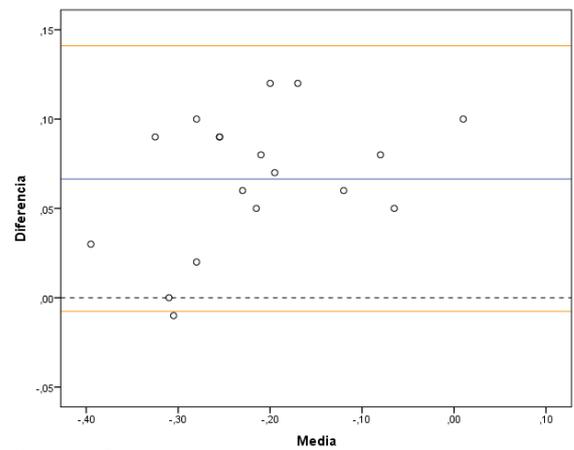
| | Media Galilei | Media Topolyzer miosis | Media de las diferencias | Desviación estándar | p | Intervalo de confianza 95% |
|-----------------|---------------|------------------------|--------------------------|---------------------|-------|----------------------------|
| Coordenada X | 0.180 | 0.130 | 0.047 | 0.026 | 0.000 | -0.004, 0.098 |
| Coordenada Y | 0.080 | 0.060 | 0.016 | 0.031 | 0.040 | -0.044, 0.076 |
| Distancia kappa | 0.240 | 0.200 | 0.032 | 0.038 | 0.002 | -0.042, 0.106 |

Tabla 8: Comparación de las medidas de ángulo kappa entre Galilei G4 y Topolyzer en condiciones escotópicas en los ojos izquierdos.

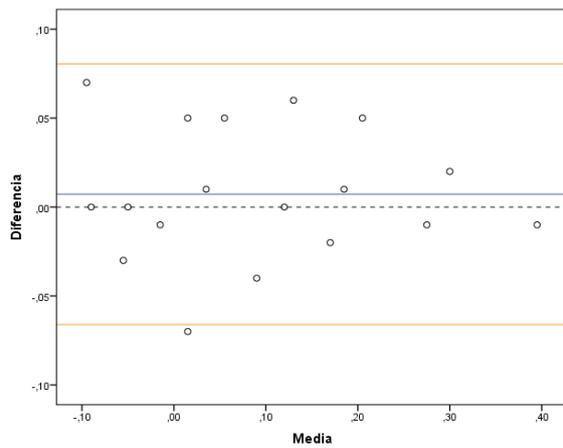
| | Media Galilei | Media Topolyzer midriasis | Media de las diferencias | Desviación estándar | p | Intervalo de confianza 95% |
|-----------------|---------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|-------|----------------------------|
| Coordenada X | 0.180 | 0.200 | -0.019 | 0.058 | 0.185 | -0.132, 0.095 |
| Coordenada Y | 0.080 | 0.010 | 0.069 | 0.059 | 0.000 | -0.057, 0.176 |
| Distancia kappa | 0.240 | 0.230 | 0.004 | 0.048 | 0.735 | -0.090, 0.098 |



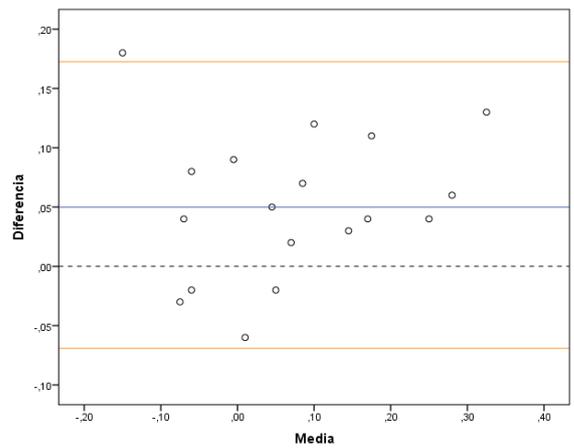
Gráfica 1: Comparación de la coordenada X entre Galilei y Topolyzer de los ojos derechos en visión fotópica



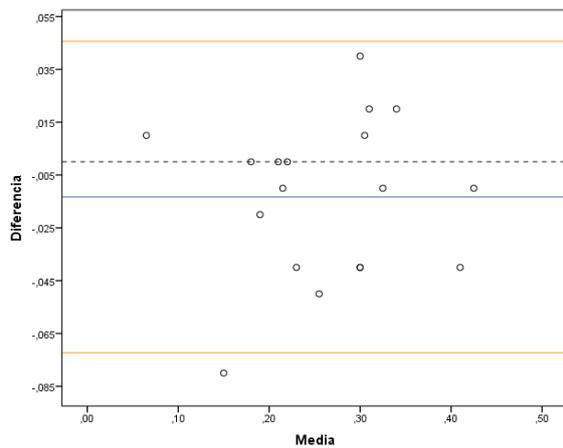
Gráfica 2: Comparación de la coordenada X entre Galilei y Topolyzer de los ojos derechos en visión escotópica



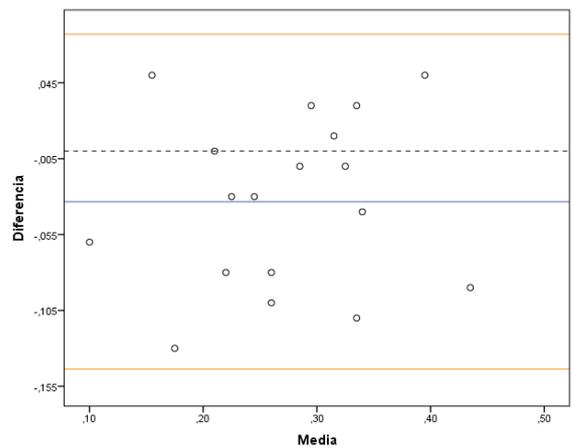
Gráfica 3: Comparación de la coordenada Y entre Galilei y Topolyzer de los ojos derechos en visión fotópica



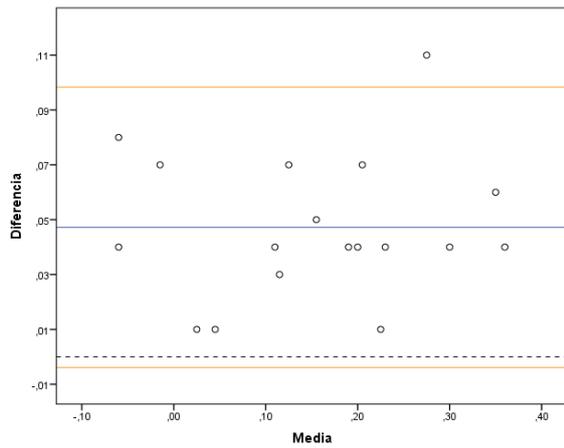
Gráfica 4: Comparación de la coordenada Y entre Galilei y Topolyzer de los ojos derechos en visión escotópica



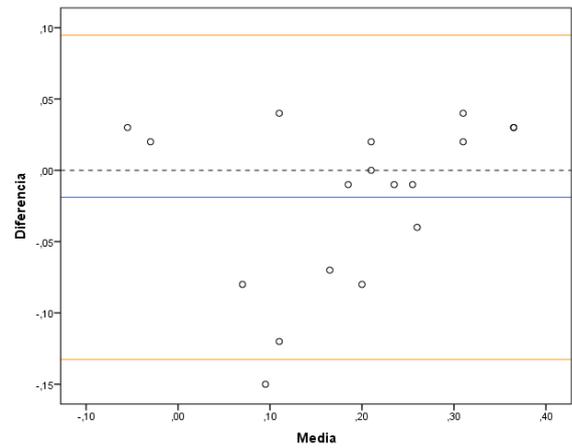
Gráfica 5: Comparación de la distancia kappa entre Galilei y Topolyzer de los ojos derechos en visión fotópica



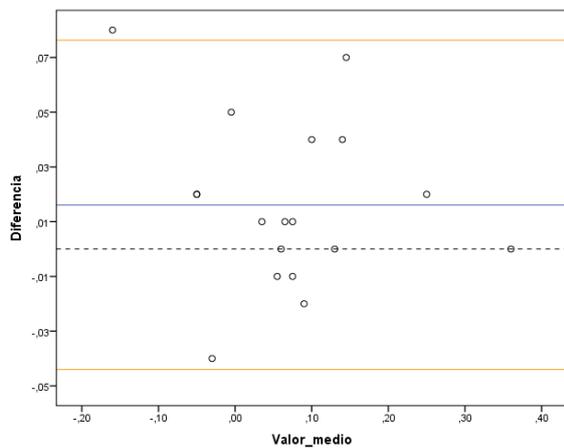
Gráfica 6: Comparación de la distancia kappa entre Galilei y Topolyzer de los ojos derechos en visión escotópica



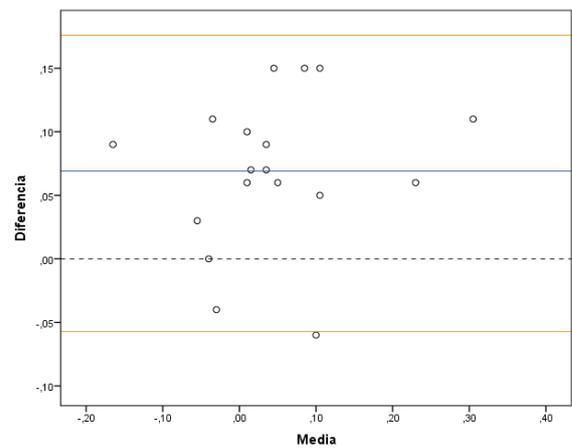
Gráfica 7: Comparación de la coordenada X entre Galilei y Topolyzer de los ojos izquierdos en visión fotópica



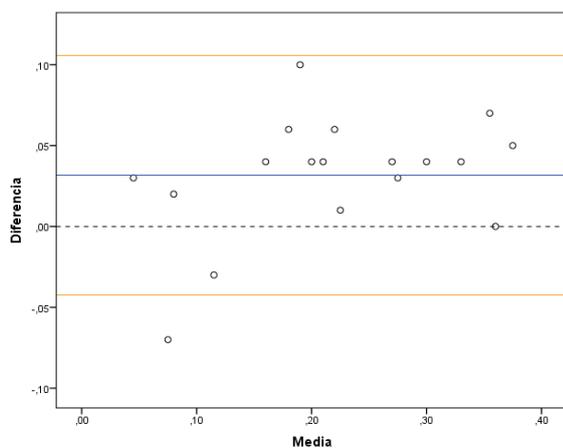
Gráfica 8: Comparación de la coordenada X entre Galilei y Topolyzer de los ojos derechos en visión escotópica



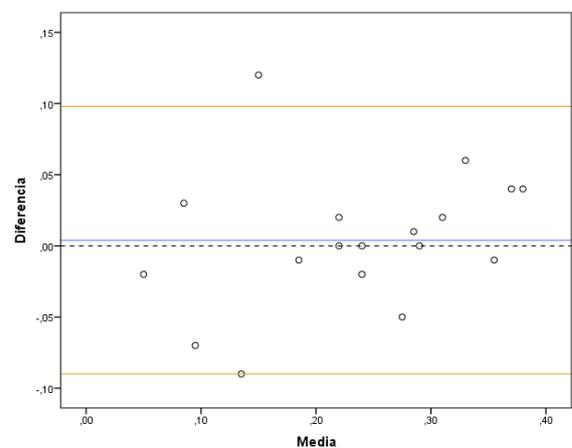
Gráfica 9: Comparación de la coordenada Y entre Galilei y Topolyzer de los ojos izquierdos en visión fotópica



Gráfica 10: Comparación de la coordenada Y entre Galilei y Topolyzer de los ojos izquierdos en visión escotópica



Gráfica 11: Comparación de la distancia kappa entre Galilei y Topolyzer de los ojos izquierdos en visión fotópica



Gráfica 12: Comparación de la distancia kappa entre Galilei y Topolyzer de los ojos izquierdos en visión escotópica

A la vista de los datos se comprueba que el sistema Topolyzer sobreestima la medida de la coordenada X en los ojos derechos cuando se compara el método de medida Galilei con Topolyzer en visión fotópica, sin embargo, ocurre lo contrario en el análisis de los ojos izquierdos. No existe un patrón que indique una clara sobreestimación de un dispositivo sobre el otro, en ninguna de las dos condiciones de iluminación. A continuación se muestra un resumen de todas las diferencias de las sobreestimaciones entre los distintos métodos de medida.

Tabla 9: Diferencia entre el sistema Galilei con el sistema Topolyzer en visión fotópica.

| | Ojos derechos | | Ojos izquierdos | |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | Dispositivo que sobreestima | Diferencia de las medidas | Dispositivo que sobreestima | Diferencia de las medidas |
| Coordenada X | Topolyzer | Significativo | Galilei | Significativo |
| Coordenada Y | Galilei | No significativo | Galilei | Significativo |
| Distancia kappa | Topolyzer | No significativo | Galilei | Significativo |

Tabla 10: Diferencia entre el sistema Galilei con el sistema Topolyzer en visión escotópica.

| | Ojos derechos | | Ojos izquierdos | |
|-----------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | Dispositivo que sobreestima | Diferencia de las medidas | Dispositivo que sobreestima | Diferencia de las medidas |
| Coordenada X | Topolyzer | Significativo | Topolyzer | No significativo |
| Coordenada Y | Galilei | Significativo | Galilei | Significativo |
| Distancia kappa | Topolyzer | No significativo | Galilei | No significativo |

4.2.- Comparación del ángulo kappa en el sistema Topolyzer

El dispositivo Topolyzer mide kappa en dos condiciones distintas de iluminación, como ya se mencionó anteriormente, por lo que se van a comparar las dos medidas con el fin de comprobar su similitud.

Tabla 11: Diferencia de las medidas con el sistema Topolyzer con condiciones fotópicas y escotópicas en los ojos derechos.

| | Media Topolyzer miosis | Media Topolyzer midriasis | Media de las diferencias | Desviación estándar | p | Intervalo de confianza 95% |
|-----------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|-------|----------------------------|
| Coordenada X | -0.200 | -0.250 | 0.047 | 0.036 | 0.000 | -0.023, 0.117 |
| Coordenada Y | 0.090 | 0.050 | 0.044 | 0.052 | 0.002 | -0.058, 0.147 |
| Distancia kappa | 0.270 | 0.290 | -0.020 | 0.043 | 0.068 | -0.105, 0.065 |

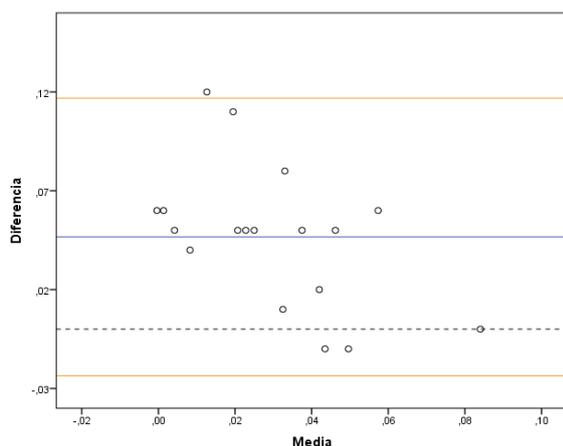
Tabla 12: Diferencia de las medidas con el sistema Topolyzer con condiciones fotópicas y escotópicas en los ojos izquierdos.

| | Media Topolyzer miosis | Media Topolyzer midriasis | Media de las diferencias | Desviación estándar | p | Intervalo de confianza 95% |
|-----------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------|-------|----------------------------|
| Coordenada X | 0.130 | 0.200 | -0.066 | 0.058 | 0.000 | -0.180, 0.048 |
| Coordenada Y | 0.060 | 0.010 | 0.053 | 0.047 | 0.000 | -0.039, 0.145 |
| Distancia kappa | 0.20 | 0.230 | -0.028 | 0.057 | 0.053 | -0.139, 0.083 |

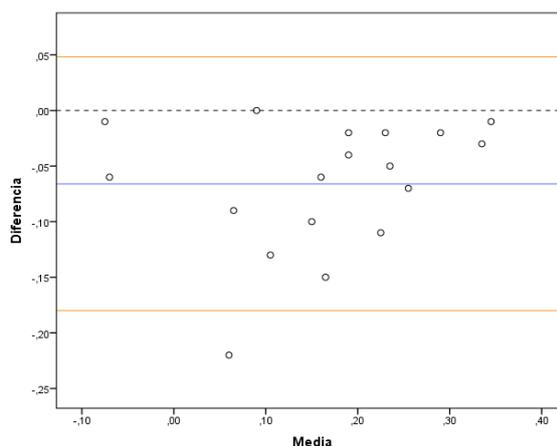
Tabla 13: Diferencia entre el sistema Topolyzer en condiciones fotópica y escotópica.

| | Ojos derechos | | Ojos izquierdos | |
|-----------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| | Tipo de iluminación que sobreestima | Diferencia de las medidas | Tipo de iluminación que sobreestima | Diferencia de las medidas |
| Coordenada X | Escotópica | Significativo | Escotópica | Significativo |
| Coordenada Y | Fotópica | Significativo | Fotópica | Significativo |
| Distancia kappa | Escotópica | No significativo | Escotópica | No significativo |

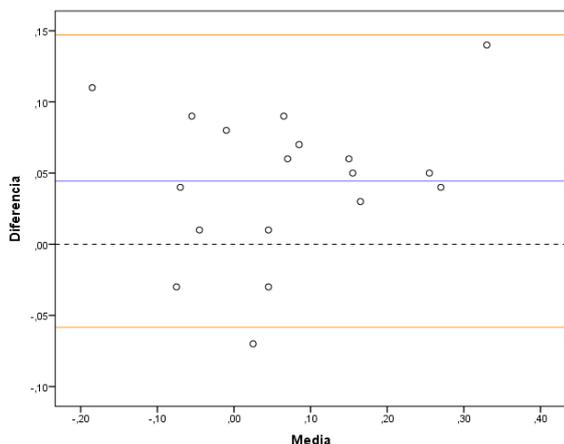
Se muestran las gráficas 13 a 18 pertenecientes al análisis de Bland-Altman de la comparación de las medidas en el dispositivo Topolyzer en condiciones de visión fotópica con respecto a los valores del mismo ojo en visión escotópica.



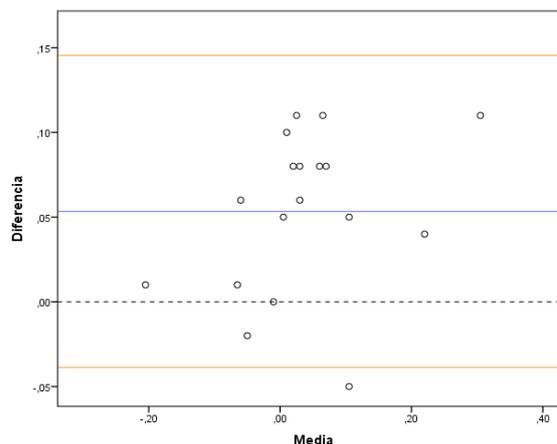
Gráfica 13: Comparación de la coordenada X en los ojos derechos en el dispositivo Topolyzer.



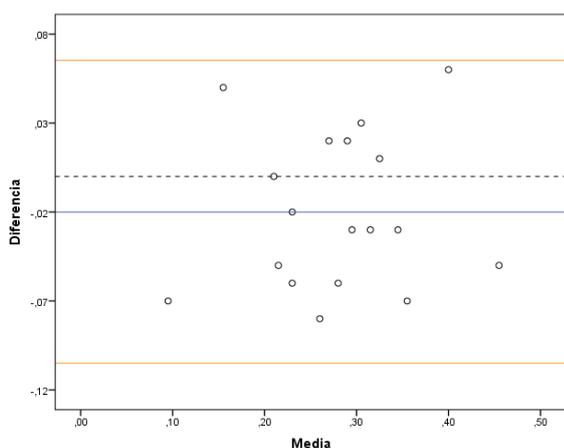
Gráfica 14: Comparación de la coordenada X en los ojos izquierdos en el dispositivo Topolyzer.



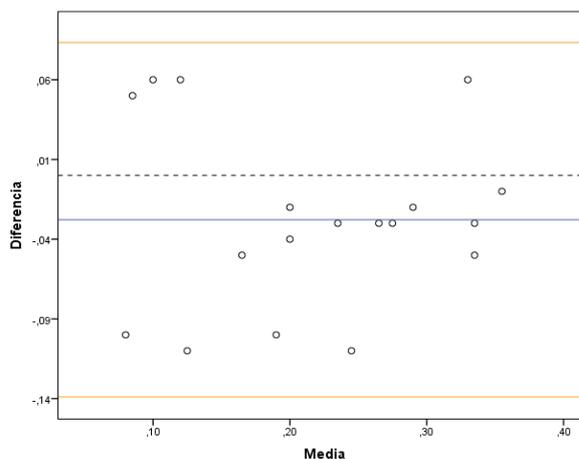
Gráfica 15: Comparación de la coordenada Y en los ojos derechos en el dispositivo Topolyzer.



Gráfica 16: Comparación de la coordenada Y en los ojos izquierdos en el dispositivo Topolyzer.



Gráfica 17: Comparación de la distancia kappa en los ojos derechos en el dispositivo Topolyzer.



Gráfica 18: Comparación de la distancia kappa en los ojos izquierdos en el dispositivo Topolyzer.

En condiciones de iluminación alta o visión fotópica, los valores de kappa son menores. A pesar de que el p valor no es significativo cuando se compara la distancia kappa, es bastante próximo a 0.05, además en el eje X se aprecia con claridad un aumento del ángulo kappa en la condición escotópica.

5.- DISCUSIÓN

Los resultados del estudio no son directamente comparables con otras publicaciones anteriores, ya que esta es la primera que vez que se estudia esta comparación en estos dos dispositivos. Alberto Domínguez y colaboradores⁹ estudiaron las diferencias de la distancia kappa total entre los dispositivos Galilei G4 y Orbscan II encontrando diferencias significativas en una muestra de 80 ojos derechos de 80 voluntarios, con un equivalente esférico medio de $0.07 \pm 0.41D$, encontrándose valores medios de la distancia kappa de $0.43 \pm 0.13mm$ con el dispositivo Galilei, y $0.27 \pm 0.15mm$ con el dispositivo

Orbiscan II. La diferencia media entre ambos fue de $-0.16 \pm 0.08 \text{ mm}$ ($p=0.001$). Los datos obtenidos en el presente estudio correspondientes a la distancia kappa medida por Galilei G4 fueron de $0.25 \pm 0.09 \text{ mm}$ en los ojos derechos y 0.24 ± 0.11 en los ojos izquierdos.

En el presente estudio además de contrastar la distancia kappa también se estudió las componentes X e Y de dicha distancia, analizando tres medidas distintas por ojo, comparando siempre ojos derechos con ojos derechos y ojos izquierdos con ojos izquierdos. Además se estudió las posibles relaciones entre el diámetro pupilar y longitud axial con el ángulo kappa.

El valor del ángulo kappa se tiene en consideración en cirugía refractiva de cara a conseguir los mejores resultados visuales posibles. Un ángulo kappa grande es clínicamente significativo ya que puede ser la causa de error en el alineamiento en la fotoablación durante cirugía refractiva.¹¹ Un error en el descentramiento puede provocar una hipocorrección, un astigmatismo irregular,⁷ y síntomas en visión fotópica. Todos estos fenómenos entrañan más riesgo en pacientes hipermétropes candidatos a cirugía refractiva, que tienden a tener un ángulo kappa mayor.

5.1.- Correlación entre kappa y longitud axial

Anteriormente se demostró gráficamente (figura 2) cómo la longitud axial afecta al valor del ángulo kappa. Globos oculares cortos, que se corresponde con pacientes hipermétropes, tienen kappa mayor que pacientes con una mayor longitud axial o globos oculares largos, que se corresponde a sujetos miopes. Incluso se da el caso en ojos largos que kappa llega a ser negativo. Para analizar esta condición se ha usado el método rho de Spearman comparando la longitud axial de los ojos derechos e izquierdos con sus respectivos valores de kappa (distancia kappa, coordenada X, y coordenada Y). En ninguno de los seis análisis realizados resultó significativo, por lo que en la muestra de este estudio no se ha podido demostrar esta correlación. La ausencia de esta correlación podría deberse por un tamaño muestral algo pequeño, que si se incrementara, podría dar lugar a encontrar significación estadística.

5.2.- Aplicación de kappa en cirugía refractiva hipermetrónica

El desplazamiento de la zona de ablación en el caso de sujetos hipermétropes es importante por el hecho de tener un ángulo kappa mayor. El descentramiento entre el centro pupilar y la línea de mirada se incrementa. Este descentramiento tiene su relevancia en el postoperatorio, ya que un mal ajuste de la aplicación del láser puede conllevar complicaciones visuales tales como brillos, distorsiones, visión de halos, reducción de la agudeza visual e incluso diplopía.¹¹

Se han publicado muchos estudios con el fin de encontrar la mejor forma de centrar la ablación, comparando todos los métodos.

Nepomuceno y asociados¹⁷ centraron la ablación en el reflejo corneal mediante la técnica LASIK en 61 ojos hipermétropes. Notaron mejores resultados visuales y una mayor seguridad comparando con los resultados de centrar la ablación en el centro pupilar. Parecidos resultados encontraron Chan

y colaboradores¹⁸ centrando en el reflejo corneal con la técnica LASIK en 21 ojos hipermétropes, con un valor medio de kappa de $4.3 \pm 3.0^\circ$. Se concluyó que centrar en el reflejo corneal otorgaba mejores resultados visuales (descentramiento medio $0.06 \pm 0.18\text{mm}$) que centrando en el centro pupilar (descentramiento medio de $0.40 \pm 0.24\text{mm}$).

No obstante, centrar en el reflejo corneal tiene alguna complicación. El reflejo corneal depende del cirujano y su predilección por el ocular del microscopio derecho o izquierdo y del ángulo de estereopsis del microscopio¹⁰.

Como consecuencia de estas imprecisiones, se estudió el vértice corneal como centro de ablación. Según de Ortueta y Schreyger¹⁵, centrar en el vértice conlleva mayor predictibilidad y resultados más seguros mediante un estudio publicado en 2007 con 52 ojos hipermétropes sometidos a LASIK. Más recientemente, Soler y colaboradores¹⁹ compararon el centro pupilar con el vértice corneal, y no se encontraron diferencias significativas a los tres meses entre los dos grupos. Sorprendentemente se encontró que con pacientes con kappa grande, la inducción de coma tras la cirugía era menor en el grupo de centrado en centro pupilar. Ocurre lo contrario con kappa pequeño, donde el método de centrar en el vértice arroja mejores resultados en cuanto a la inducción de coma.

5.3.- Aplicación de kappa en cirugía refractiva miópica

El descentramiento de la zona de ablación en los sujetos miópicos es menos crítica por diversas razones. En primer lugar, los ojos con mayor longitud axial tienden a tener un ángulo kappa menor^{1,7,8,10}, y en segundo lugar la zona de ablación miópica es más mayor que la zona de ablación hipermetrópica.¹⁰ No hay demasiados estudios que hayan investigado kappa en relación con la cirugía refractiva miópica.

Arbelaez y colaboradores²⁰ estudiaron este fenómeno en pacientes con miopía o astigmatismo miópico con un equivalente esférico entre -0.38 y -8.50D , dividiendo a sus pacientes en dos grupos: pacientes centrados en el vértice corneal, y pacientes centrados en el centro pupilar. Los grupos están formados por 24 y 29 ojos respectivamente y se evaluaron a los 6 meses. En el primer grupo el 38% de los ojos mejoró su agudeza visual con corrección, mientras que en el segundo grupo esta mejora la experimento un 24%. Y en general, los centrados en el vértice corneal obtuvieron mejores resultados en cuanto a inducción de aberraciones ópticas y asfericidad, pero los resultados de agudeza visual en condiciones fotópicas en ambos grupos fueron idénticos.

Khakshoor y colaboradores²¹ compararon la utilización del centro pupilar con el reflejo corneal, durante PRK miópica, llamando grupo A al primero y grupo B al segundo. El grupo A está compuesto por 166 ojos con un ángulo kappa menor a 5° , y el grupo B está compuesto por 182 ojos con un ángulo kappa mayor de 5° . Todos fueron evaluados a los 6 y 12 meses tras la intervención. No se encontraron diferencias en el seguimiento en cuanto a la refracción residual ni a la agudeza visual con corrección ni a los 6 ni a los 12 meses. El 98.9% de los pacientes a los 12 meses podían alcanzar agudeza visual de 20/20 en la escala de Snellen y ninguno de ellos tuvo ninguna queja de diplopía monocular, brillos o halos. Con lo cual concluyen que el uso del

reflejo corneal en pacientes miópicos con ángulo kappa mayor de 5° queda avalado.

6.- CONCLUSIONES

1.- Las medidas del ángulo kappa que ofrecen los dispositivos Galilei G4 y Topolyzer no son intercambiables ya que, habiendo diferencias sistemáticas entre ellas, no muestran un patrón definido o constante y, además, la variabilidad de los datos recogidos por uno u otro aparato es elevada de modo que, ni siquiera si se pudiera aplicar un factor de calibración, las medidas resultarían directamente equiparables.

2.- El estado de dilatación pupilar influye significativamente en la medida del ángulo kappa de modo que los tratamientos personalizados en cirugía refractiva (basados en frente de onda aberrométrico o topográficos) deberían adquirirse, planearse y aplicarse –es decir, centrarse- bajo unas mismas condiciones de diámetro pupilar.

3.- Aunque la relación entre longitud axial y ángulo kappa no ha podido demostrarse en este estudio sobre una muestra reducida de pacientes, es probable que con el análisis de una muestra mayor dicha relación pudiera confirmarse.

7.- BIBLIOGRAFÍA

1. Le Grand, Y. Óptica fisiológica: Tomo I, El ojo como instrumento óptico. Sociedad Española de Optometría y Asociación de amigos de las escuelas de óptica. Madrid, 1991.

2. Daniel H. Chang, George O. Waring. The Subject-Fixated Coaxially Sighted Corneal Light Reflex: A Clinical Marker for Centration of Refractive Treatments and Devices. Am J Ophthalmol 2014;158:863–874.

3. Atchison DA, Smith G. Optics of the Human Eyes. Edinburgh, Scotland: Butterworth-Heinemann; 2000.

4. Solomon R, Barsam A, Voldman A, et al. Argon laser iridoplasty to improve visual function following multifocal intraocular lens implantation. J Refract Surg 2012;28(4):281–283.

5. Tabernero J, Benito A, Nourrit V, Artal P. Instrument for measuring the misalignments of ocular surfaces. Optics Express 2006; 14:10945–10956

6. Basmak H, Sahin A, Yildirim N, et al. The angle kappa in strabismic individuals. Strabismus 2007; 15:193–196.

7. Basmak H, Sahin A, Yildirim N, Papakostas TD, Kanellopoulos JA. Measurement of angle kappa with synoptophore and Orbscan II in a normal population. *J Refract Surg* 2007;23:456-60.

8. Hashemi H, Khabazkhoob M, Yazdani K, Mehravaran S, Jafarzadejpur E, Fotouhi A. Distribution of angle kappa measurements with Orbscan II in a population-based survey. *J Refract Surg* 2010;26:966-71.

9. Alberto Domínguez-Vicent, Daniel Monsálvez-Romín, Cari Pérez-Vives, Teresa Ferrer-Blasco, Robert Montés-Micó. Measurement of angle Kappa with Orbscan II and Galilei G4: effect of accommodation. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* (2014) 252:249–255.

10. Park CY, Oh SY, Chuck RS. Measurement of angle kappa and centration in refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2012;23:269-75.

11. Majid Moshirfar, Ryan N. Hoggan¹, Valliammai Muthappan. Angle Kappa and its importance in refractive surgery. *Oman Journal of Ophthalmology*, Vol. 6, No. 3, 2013.

12. Uozato H, Guyton DL. Centering corneal surgical procedures. *Am J Ophthalmol* 1987;103:264-75.

13. Fay AM, Trokel SL, Myers JA. Pupil diameter and the principal ray. *J Cataract Refract Surg* 1992;18:348-51.

14. Pande M, Hillman JS. Optical zone centration in keratorefractive surgery. Entrance pupil center, visual axis, coaxially sighted corneal reflex, or geometric corneal center? *Ophthalmology* 1993;100:1230-7.

15. De Ortueta D, Schreyger FD. Centration on the cornea vertex normal during hyperopic refractive photoablation using videokeratoscopy. *J Refract Surg* 2007;23:198-200.

16. Kermani O, Oberheide U, Schmiedt K, Gerten G, Bains HS. Outcomes of hyperopic LASIK with the NIDEK NAVEX platform centered on the visual axis or line of sight. *J Refract Surg* 2009;25 Suppl 1:S98-103.

17. Nepomuceno RL, Boxer Wachler BS, Kim JM, et al. Laser in situ keratomileusis for hyperopia with the LADARVision 4000 with centration on the coaxially sighted corneal light reflex. *J Cataract Refract Surg* 2004; 30:1281–1286.

18. Chan CC, Boxer Wachler BS. Centration analysis of ablation over the coaxial corneal light reflex for hyperopic LASIK. *J Refract Surg* 2006; 22:467–471.

19. Soler V, Benito A, Soler P, et al. A randomized comparison of pupil-centered versus vertex-centered ablation in LASIK correction of hyperopia. *Am J Ophthalmol* 2011; 152:591 e2–599 e2.

20. Arbelaez MC, Vidal C, Arba-Mosquera S. Clinical outcomes of corneal vertex versus central pupil references with aberration-free ablation strategies and LASIK. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008; 49:5287–5294.

21. Hamid Khakshoor, Michael V McCaughey, Amir Hossein Vejdani, Ramin Daneshvar, and Majid Moshirfar. “Use of angle kappa in myopic photorefractive keratectomy” *Clinical Ophthalmology* Jan 2015 Vol 9 Web Accessed:4/12/2015