

Comparación entre los Anillos de Plácido y la Prueba de Hartmann modificada como método de medida de la superficie corneal

Jorge G. Vargas V.*

RESUMEN

Para medir la superficie de la cornea se encuentran los topógrafos corneales que evolucionaron de equipos como el queratómetro y de los Anillos de Plácido que se proyectaron sobre la cara anterior de la córnea para obtener medidas cualitativas de la misma, hasta la Topografía Corneal Computarizada, que genera escalas y mapas de colores para interpretar la superficie corneana.

Se analizan conceptos de curvaturas principales y sus métodos de medida. Estos métodos son divididos en tres grupos según los siguientes principios ópticos: (1) Reflexión Especular: incluye el sistema de Discos de Plácido, Interferometría de Twyman-Green, y Deflectometría de Moiré; (2) Reflexión Difusa que incluye Franjas de Moiré, Transformada o Perfilometría de Fourier y el método de Raster-estereografía, y (3) dispersión de luz que incluye: la Lámpara de

Hendidura y el Orbscan II. Se cita también, el método de Hartmann modificado que se proyecta sobre la superficie anterior de la córnea, por medio de una pantalla elipsoidal con una distribución de puntos luminosos ubicados estratégicamente, para que al proyectarse sobre la córnea se genere la máscara de la prueba de Hartmann tradicional. Al proyectar sobre la córnea la máscara de Hartmann modificada se puede observar, en algunos pacientes, que el centro de esta máscara, no coincide con el centro pupilar, haciendo evidente que el eje visual no coincide con el eje óptico del ojo, medida que en optometría se conoce como el ángulo Kappa.

Palabras clave: topografía corneal, prueba de Hartmann, Anillos o Discos de Plácido, superficie corneal, medida corneal, ángulo Kappa.

* Optómetra de la Universidad de La Salle. Especialista en Docencia Universitaria Docente de la Universidad Militar Nueva Granada. Maestrante en Ciencias de la Visión. Grupo de investigación Óptica y Lentes de Contacto de la Universidad de La Salle.

Correo electrónico: jovargas@jupiter.lasalle.edu.co

Fecha de recepción: 13 de febrero de 2008.

Fecha de aprobación: 7 de marzo de 2008.

COMPARISON BETWEEN PLACIDO RINGS AND MODIFIED HARTMANN TEST AS A METHOD TO MEASURE CORNEA SURFACE

ABSTRACT

This study analyses main curvatures and their methods of measurement. These methods are divided in three groups regarding the following optic principles: (1) Specular Reflection: it includes the system of Placido rings, Twyman-Green interferometry, and Moiré deflectometry; (2) Diffuse reflection that includes Moiré stripes, Fourier Profilometry and the Raster-stereography method, and (3) dispersion of light which includes: slit lamp and Orbscan II. This study also mentions the modified Hartmann method which is projected on the anterior surface

of the cornea through an ellipsoidal screen with a distribution of luminous points strategically located so when they are projected in the cornea it generates the traditional Hartmann test mask. When the modified Hartmann mask is projected on the cornea it is shown that in some patients the center of the mask does not match the pupillary center, making evident that the visual axis does not match the optical axis of the eye, this measure known as Kappa angle.

Key words: corneal topography, Hartmann test, Placido rings, corneal surface, corneal measure, Kappa angle.

INTRODUCCIÓN

El ojo es un sistema óptico que forma una imagen real en la superficie cóncava de la retina. Anatómicamente, el globo ocular de un ojo normal en un adulto presenta una medida aproximadamente de unos 23 mm de diámetro antero posterior. La luz ingresa al ojo a través de la córnea, un tejido transparente que tiene un índice de refracción promedio de $n_c = 1.376$. La forma de la córnea es de un menisco convexo-cóncavo; la superficie anterior tiene un radio promedio de 7,8 mm (43.25 Dpts), la superficie posterior un radio promedio de 6,5 mm (52.00 Dpts) y la separación entre sus dos vértices aproximadamente de 0,6 mm. El efecto óptico que produce es el de una lente positiva, debido a que el medio externo en contacto con la superficie anterior de la córnea es el aire con un índice de refracción de $n_a = 1.0$, mientras que el medio interno en contacto con la superficie posterior de la córnea es el humor acuoso con índice de refracción de $n_{ha} = 1.336$. La córnea contribuye con cerca de $2/3$ de la refracción de los rayos luminosos. Inmediatamente detrás de la córnea está la cámara anterior que contiene al humor acuoso.

Luego se encuentra el iris, que controla la cantidad de luz que entra al ojo actuando como un diafragma. Detrás del iris está el cristalino, con forma de lente biconvexa de 9 mm de diámetro y 4 mm de espesor, aproximadamente. El índice de refracción del cristalino varía alrededor de 1.406 en el núcleo interior hasta aproximadamente 1.386 en las zonas externas. El cristalino puede variar su forma para realizar un enfoque o acomodación, de modo que la luz que procede del exterior se enfoque en la retina. Detrás del cristalino hay otra cámara con una sustancia transparente, denominada humor vítreo ($n_{hv} = 1.337$). Finalmente, la luz es enfocada en la retina, una superficie cóncava que contiene células foto-receptoras, los conos y los bastones que convierten la energía lumínica en eléctrica para enviarla al cerebro a través del nervio óptico y llevar a cabo el fenómeno de la visión.

Como cualquier otro sistema óptico, la imagen formada por el ojo puede presentar aberraciones ópticas; algunas de ellas debido a deformaciones de la superficie anterior de la córnea y/o al cristalino, o por deficiencias en el proceso de acomodación, por ejemplo, miopía, hipermetropía o astigmatismo. Para corregir estas aberraciones se suele utilizar anteojos, lentes de contacto o cirugía refractiva láser para modificar la forma de la superficie anterior de la córnea y corregir las imperfecciones de la misma. Los procedimientos correctivos que emplean las lentes de contacto o la cirugía, requieren de un estudio de la forma de la superficie anterior de la córnea.

En la literatura científica se encuentran numerosos métodos ópticos para medir la superficie de la córnea. Dentro de las diferentes formas de medir se encuentran los topógrafos corneales que evolucionaron de equipos como el queratómetro y de los Anillos de Plácido que se proyectaron sobre la cara anterior de la córnea para obtener medidas cualitativas de la misma, en sus inicios se hizo uso de instrumentos como el queratómetro para realizar diagnósticos, para adaptar lentes de contacto e incluso para intervenir quirúrgicamente la cornea y moldearla para que los rayos de luz que incidían sobre ella se proyectaran sobre la retina.

El valor promedio en la superficie anterior de la cornea de un paciente normal es de 43.00 dioptrías, que equivale a 7,85 mm de radio. En 1977, Smith se preguntó a cerca de los cambios que se podían presentar en la visión del paciente secundarios a las aberraciones y cambios de la superficie anterior de la cornea, realizando estudios y haciendo uso de la tecnología existente en el momento para demostrar sus sospechas. Boyd *et al.* (2003) y McMahont *et al.* (2001) destacan la evolución de los instrumentos utilizados para medir la superficie anterior de la cornea, teniendo como origen el queratómetro que dio origen a la fotoqueratoscopía y éste a la videoqueratoscopía

computarizada (Topografía Computarizada), que tiene como principio el uso de los discos o Anillos de Placido para ser proyectados sobre la superficie anterior cornea y analizar la separación y deformación de los mismos para expresarlos en valores numéricos y estos a su vez en códigos de colores o los mapas topográficos que hoy en día se utilizan en Optometría y Oftalmología para interpretar el estado de la superficie anterior de la cornea.

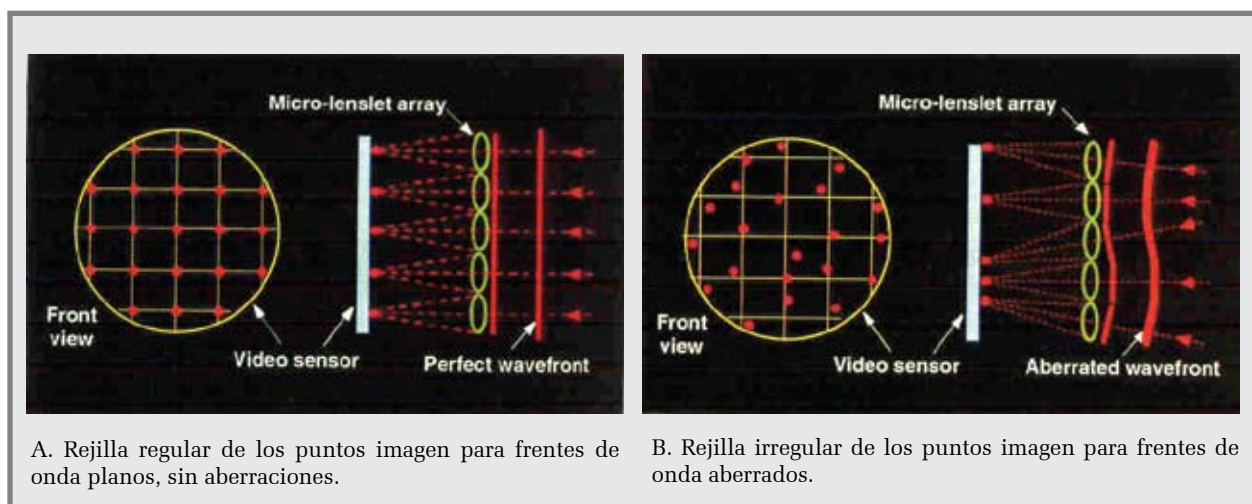
Rowsey inició el uso de las imágenes de los discos de Placido que se proyectaron sobre la superficie corneal para obtener medidas cualitativas de la cornea. Klyce, en 1987, analizó las medidas cualitativas obtenidas por Rowsey y las convirtió en valores numéricos y por medio de un *software* crea los códigos de colores dando como resultado los mapas topográficos, que van desde el color azul considerado como un color frío y que da los resultados de las superficies planas hasta el color rojo que se considera como caliente y da los resultados de las superficies curvas. Existen dos tipos de Topografía corneal, una es la que se hace con el queratómetro que tiene la opción de proyectar los Anillos de Placido sobre la superficie corneal; y la otra es la del Orbscan II originario de Bausch and

Lomb que proyecta una hendidura y los Anillos de Placido sobre la superficie para procesar las medidas hechas y presentar el resultado de la medida de la cara anterior de la cornea (Boyd *et al.* 2003).

Para medir las aberraciones en el ojo se han utilizado diferentes métodos a través de la historia como son el Disco de Scheiner (1619) y el Aberrómetro de Smirnov (1961), basados en la óptica geométrica de rayo, y por medio de la Tecnología de Frente de onda, el Aberroscopio de Tscherning (1884), la Pantalla de Hartmann, el Aberroscopio de cilindro cruzado de Bradford Howland (1960); Shack (1971) mejoró la pantalla de Hartmann, Liang, integró los estudios realizados por Hartmann y Shack dando origen al Sensor de Frente de Onda Hartmann-Shack (1994) y Williams diseñó la Oftalmoscopia de alta resolución (1997) (Figura 1). Los sensores de frente de onda basados en la prueba de Hartmann-Shack utilizan el método objetivo de luz saliente.

El uso de las aberraciones, es la mejor forma de caracterizar la óptica del ojo y a partir de ellas se puede predecir cómo son las imágenes en la retina, y cómo es la calidad de la visión (Carvalho 2004).

FIGURA 1. REJILLA REGULAR DE LOS PUNTOS IMAGEN PARA FRENTE DE ONDA PLANOS, CON O SIN ABERRACIONES



Fuente: Karpecki 2003.

La literatura científica y clínica en los reportes de Mejía y Malacara (2001), Smith (1977) y Boyd y colaboradores (2003), concuerdan con tres diferentes métodos de medida de la superficie anterior de la cornea:

1. Reflexión Especular: incidencia y proyección de luz sobre la cornea para que a través de su reflexión se pueda analizar la curvatura de la misma.

- Discos de Placido
- Interferometría de Twyman-Green
- Deflectometría de Moiré

2. Reflexión Difusa: hace uso de Fluoresceína y la cornea actúa como una superficie difusora que se permite evaluar mediante contraste con Luz UV o luz azul cobalto la curvatura corneal.

- Franjas Moiré
- Perfilometría Fourier
- Raster-estereografía

3. Dispersión de Luz: estudios de la forma como incide la luz de la Lámpara de hendidura sobre la cornea, da origen a equipos computarizados que utilizan el mismo principio para evaluar la curvatura corneal.

- Lámpara de Hendidura
- Orbscan II

Al realizar la medida superficie anterior de la cornea con topografía corneal se obtienen tres tipos de mapas: Meridional, Axial y de Curvaturas principales: (Gaussiana, promedio y cilíndrica), este último no tiene uso en la práctica ya que es un método que sólo se puede graficar.

Los mapas meridionales se utilizan en Optometría y Oftalmología para representar la forma de la córnea. El concepto de curvatura axial conduce a una descripción errónea de la forma de la córnea obtenién-

dose una córnea más o menos aplanada de lo que realmente es (Mejía 2001).

TOPOGRAFÍA CORNEAL BASADA EN LOS ANILLOS DE PLACIDO

Los topógrafos corneales capturan información de los Anillos que se proyectan sobre la cornea y son procesados mediante un *software*, que reconstruye la superficie corneal por medio de un proceso de digitalización para representar gráficamente la forma de la cornea, fácil de entender como lo es un mapa de código de colores generado por las diferentes escalas que posee el equipo.

ESCALAS TOPOGRÁFICAS

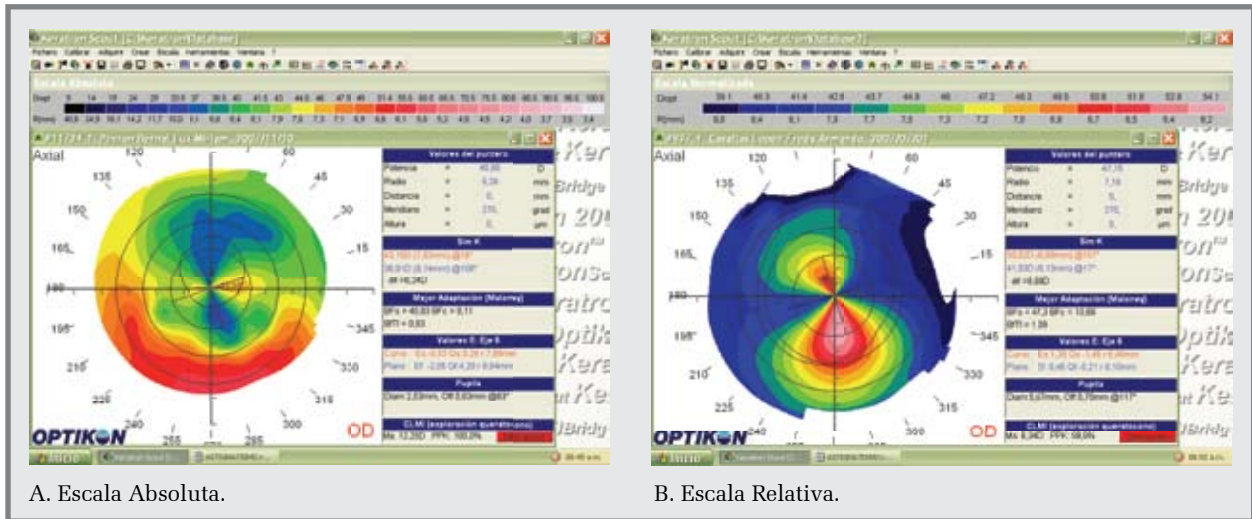
La escala es la misma en cada mapa generado con el color igual en todos los mapas. Es buena para poder comparar diferentes mapas directamente, sin tener que modificarlos o convertirlos a otra escala, para el rastreo de alteraciones corneales (*screening*) y para grandes defectos corneales como el queratoglobo. Fue diseñada para mostrar solamente la información clínica relevante, siendo el intervalo entre los contornos del mapa de potencia (de colores) de 1.5 dioptrías, por tanto tiene baja resolución (Boyd *et al.* 2003). Existen dos clases de escala: Absoluta, Estandarizada, o Estándar Internacional y la Relativa, Normalizada o de color adaptable (Figura 2).

- Escala Relativa, Normalizada o de color adaptable: la escala es diferente en cada mapa. El *software* determina las curvaturas máxima y mínima para el mapa y distribuye automáticamente el rango de colores. El programa contrae su rango de colores de acuerdo con la variación de colores presente en una cornea concreta. Es más adecuada para observar pequeños cambios en la cornea, tiene la ventaja de ofrecer un mayor detalle topográfico que la escala absoluta, ya que los niveles de incremento son más pequeños (0.8 dioptrías), dando una mayor resolución. Presen-

ta como desventajas que el examinador debe verificar cuidadosamente el significado de los colores de acuerdo con la nueva escala, por lo que una cornea normal puede parecer anormal mientras que corneas

patológicas pueden parecer casi normales al ojo de una persona inexperta. Valora pequeños detalles al hacerse evidentes características muy sutiles, casi imperceptibles con otras escalas.

FIGURA 2. ESCALA ABSOLUTA, (A) Y ESCALA RELATIVA (B)



Fuente: Collar y González, 2005.

MAPAS CORNEALES COMUNES (BOYD ET AL. 2003)

- Mapa Axial: clasifica el mapa corneal en normal o anormal. Da la diferencia entre córneas esféricas, astigmáticas o irregulares. Es un mapa muy estable. Puede confundir al evaluar periferia.
- Mapa de Altura: utiliza el principio de proyección. Cuantifica elevación o profundidad de un defecto corneal (Ulceras, Ablaciones...).
- Mapa Refractivo: derivado del mapa axial. Hace uso de la regla de Snell para calcular poder de refracción corneal. Usado pre y post cirugía refractiva.
- Mapa de Elevación Elíptica: representa la altura de la cornea en micrómetros en los diferentes puntos corneales en forma de elipse. Llamada su-

perficie de referencia. Útil para visualizar el aspecto corneal. Concuerda con la forma elíptica de la cornea.

- Mapa Tridimensional: visualiza la cornea de modo más realista. Puede ser rotado y modificado en la forma deseada. Hace un análisis tridimensional cinético de la topografía corneal.
- Mapa de Irregularidad: calcula la corrección esfera/cilindro para la cornea sustrayendo la corrección tanto de la información axial como de la tangencial y presenta las irregularidades resultantes. Postcirugía refractiva = interpreta irregularidades que puedan explicar baja de AV. Mide excentricidad.
- Mapa de Irregularidad: calcula la corrección esfera-cilindro para la cornea sustrayendo la corrección tanto de la información axial como

de la tangencial y presenta las irregularidades resultantes. Útil postcirugía refractiva para interpretar irregularidades que puedan explicar baja de Agudeza Visual. Mide excentricidad.

TOPOGRAFÍA CORNEAL BASADA EN LA PRUEBA DE HARTMANN MODIFICADA

La prueba de Hartmann se utiliza para medir las aberraciones del ojo y adicionalmente se utiliza para:

- Medir las aberraciones transversales de rayo de un frente de onda muestreado.
- El Frente de onda es muestreado por medio de una pantalla plana con agujeros. La distribución de los agujeros puede ser radial, helicoidal o cuadrada.
- Esta prueba es usada en la evaluación de espejos cóncavos.

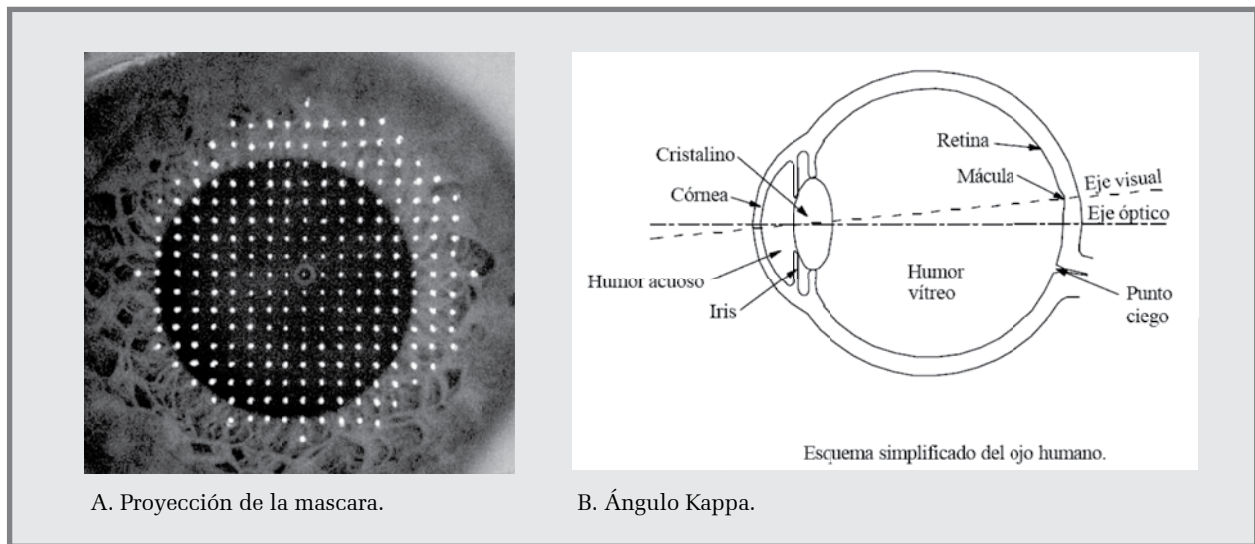
El método de Hartmann se utiliza para evaluar espejos cóncavos, y la cornea es una superficie convexa,

se ha modificado para que se pueda proyectar sobre la superficie anterior de la cornea, para este fin ya no se hace uso de la plantilla tradicional y se diseñó una pantalla elipsoidal con una distribución de puntos luminosos ubicados estratégicamente, para que al ser proyectados sobre la cornea se genere la máscara de la prueba de Hartmann tradicional y se pueda hacer el análisis de la medida de la superficie de la cornea.

La medida de la superficie de la cornea se analiza por el proceso del programa diseñado para el topógrafo tipo Hartmann, que genera las mismas escalas y los mismos mapas que el método de Topografía Basado en los anillos de Plácido.

Al proyectar sobre la cornea la máscara de Hartmann modificada se puede observar en algunos pacientes que el centro de esta máscara no está en el centro pupilar, esto es debido a que el eje visual no coincide con el eje óptico del ojo medida que en Optometría se conoce como el ángulo Kappa del ojo (Figura 3) (Mejía 2001).

**FIGURA 3. PROYECCIÓN SOBRE LA CORNEA DE LA MÁSCARA DE HARTMANN (NOTE EL CENTRO, FLECHA (A)).
EXPLICACIÓN ANGULO KAPPA (B).**



Fuente: Mejía 2001.

CUIDADOS AL REALIZAR LA PRUEBA

En todo procedimiento que se utilice para medir la superficie anterior de la cornea, se debe tener presente unos parámetros como son los párpados, el centraje y el enfoque, bien sea con el método de los anillos de Plácido o con la prueba de Hartmann modificada.

Los párpados influyen al momento de tomar la medida, lo ideal es que la cornea esté completamente expuesta y los anillos o la máscara se puedan proyectar

completos sobre la superficie anterior de la cornea y no se de paso a ningún error (Han *et al.* 2007). Otro factor que puede influir es el Centraje y el Enfoque de los topógrafos con respecto al centro corneal, para llevar a cabo la prueba se debe tener experticia para lograr un adecuado enfoque y centraje del equipo.

Este método de medida de la superficie anterior de la cornea en el momento se encuentra en proceso de validación para ser usado clínicamente equivalente al sistema de los Anillos de Plácido.

BIBLIOGRAFÍA

Boyd B. MD, *et al.* 2003 "Wavefront Análisis", Aberrómetros y Topografía Corneal. Highlights of Ophthalmology, 422 pp.

Carvalho L. PhD. 2004. Absolute Accuracy of Placido-Based Videokeratographs to Measure the Optical Aberrations of the Cornea. *Optometry and Vision Science* 81 (13): 616-628.

Han W. *et al.* 2007. Influence of eyelid position on wavefront aberrations. *Ophthal. Physiol. Opt.* 27 (10): 66-75

McMahon T. OD, FAAO, *et al.* 2001. Precision of Three Topography instruments in Keratoconus Subjects. *Optometry and Vision Science*, 78. (8): 599-604.

Mejía Y. MSc and Malacara D. 2001. A Review of Methods for Measuring Corneal Topography. *Optometry and Vision Science*, 78. (4): 240-253.

Mejía Y. MSc. 2001. "Diseño y construcción de un topógrafo corneal basado en la prueba de Hartmann". Tesis Doctorado en Ciencias de la Óptica.

Smith T. M.D. 1977. Corneal Topography. *Documenta Ophthalmologica*. Iowa City, Iowa, USA. 43 (28): 249 -276.