

Estudio de errores asociados a las mediciones con oftalmómetros

Javier Bergamini, jbergamini@yahoo.com ; Agostina Petrozzino, gosti_p@hotmail.com
Laboratorio de Óptica. Facultad de Cs. Astronómicas y Geofísicas. Univ. Nac. de La Plata

Resumen: El presente trabajo muestra el avance de un proyecto en ejecución relacionado a la calibración de instrumentos oftalmológicos. En particular buscamos determinar cuales son los posibles errores que se cometen al realizar una medición con el oftalmómetro, instrumento que se utiliza para medir el radio de la córnea y la curvatura de las lentes de contacto rígidas. La determinación de los errores, su posible minimización o eliminación, es el primer paso que posibilita realizar un procedimiento que establezca un método para la calibración de este instrumento.

Palabras claves: Calibración; Errores; Oftalmómetro

1- Introducción.

El oftalmómetro es un instrumento óptico utilizado para conocer los radios de curvatura de la cara anterior de la córnea y para monitorear los cambios de topografía de la misma, durante el uso de lentes de contacto. También sirve para determinar el radio de curvatura de la zona óptica de las lentes de contacto rígidas. Esto lo hace un instrumento óptico infaltable en los consultorios oftálmicos y en los gabinetes de contactología de las casas de óptica.

Como todo instrumento que es utilizado para obtener una medida, es necesario que sea verificado su funcionamiento y calibrado en la medida que esto sea posible. La Norma UNE en ISO 10343 (6) establece los requisitos constructivos de los oftalmómetros. Dicha norma también contiene las especificaciones físicas y los parámetros metrológicas, que deben cumplir los patrones que se utilizan en la verificación de su funcionamiento. No obstante, la norma mencionada no establece criterios para la calibración.

En el presente trabajo se analizan las fuentes de errores posibles que afectan las mediciones realizadas con oftalmómetros, como un primer paso para desarrollar un procedimiento de calibración.

2. Metodología

2.1 Introducción a la Queratometría

La Queratometría es la técnica de medición de la curvatura de la cara anterior de la córnea (5), en los 3 o 4 mm centrales. Este valor es el que permitirá definir que radio de curvatura tendrá la lente que luego se le adaptara al paciente, de acuerdo a la medida del radio de curvatura que tiene su córnea.

La córnea humana tiene aproximadamente en promedio una potencia de 40,00 a 45,00 D,

siendo 43,00 (1) o 44,00 D (2) el número que se considera normal, estas potencias corresponden a radios de curvatura entre los 8,44 a 7,50 mm. De manera tal que un error de 0,04mm (el 0,5% del radio corneal) en la medida del radio implica una diferencia de 0,20 D a 0,25D de potencia para un índice de refracción $n = 1,3375$, cuando nos movemos cerca de radios mencionados.

Teniendo en cuenta que el ojo humano es capaz de percibir una variación de 0,25D, un error en los valores antes mencionados resulta significativo en la calidad de la visión de las personas, motivo por el cual se hace necesario contar con instrumentos calibrados.

2.2 Principio óptico

Al estar recubierta por una capa lacrimonal, la córnea se comporta como un espejo convexo. Así, midiendo el tamaño de la imagen formada por reflexión, en su cara anterior, de un objeto cuyo tamaño y posición son conocidos, es posible conocer el radio de los meridianos corneales (4) (fig 1). Los oftalmómetros utilizan como objeto una "mira" de dimensiones conocidas.

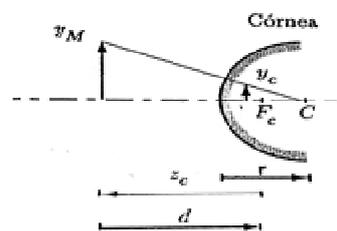


Fig. 1

Para el aumento lateral se verifica que

$$M_c = \frac{Y_c}{Y_m} = \frac{f_c}{-Z_c} \quad (1)$$

Donde $f_c = r/2$ y Z_c , la distancia del objeto al foco. Por lo tanto podemos despejar el radio r

$$r = -2Z_c M_c \quad (2)$$

Dado que la imagen está próxima al foco del espejo equivalente podemos aproximar $-Z_c$ con d , distancia objeto – imagen. Se obtiene así la ecuación aproximada del oftalmómetro.

$$r = 2dM_c \quad (3)$$

El valor de Y_c no se puede medir en forma directa ya que se encuentra dentro del ojo y su tamaño es muy pequeño, por lo cual se introduce en los oftalmómetro un microscopio compuesto que forma una segunda imagen Y' en el plano focal del ocular, de manera que un retículo graduado colocado en este plano permitiría obtener una medida directa de Y' .

El aumento lateral del objetivo del microscopio viene dado por: $Mob = \frac{Y'}{Y_c} \quad (4)$

Combinando las ecuaciones (1) y (4) y reemplazando en (3), obtenemos la ecuación

$$r = \frac{2dY'}{Mob Y_m} \quad (5)$$

No obstante existe la dificultad debido a los movimientos involuntarios del ojo, que hacen que la imagen de las miras sobre el retículo se muevan constantemente. Para evitar este problema se introduce un sistema de doblaje. Uno de los sistemas utilizados es un biprisma que produce dos imágenes virtuales de Y' (fig. 2). La fig. muestra el esquema óptico de un oftalmómetro, con sus cuatro componentes principales: Objetivo, sistema duplicador, miras y ocular:

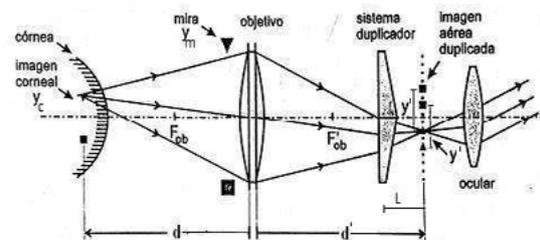


Fig 2

Si el tamaño de Y' es constante, es decir que lo mismo ocurre con d , para un cierto radio de curvatura dado, habrá una posición del biprisma tal que la separación de las imágenes sea igual al tamaño del objeto.

Por lo tanto se puede obtener una medida indirecta de Y' , a partir de conocer la distancia L entre el objeto y el biprisma y el ángulo de desviación de los prismas.

$$\beta \approx \text{tg}(\beta) = Y'/L \quad (6)$$

Finalmente podemos obtener la ecuación para r

$$r = \frac{4Ld\beta}{Mob Y_m} \quad (7)$$

Con lo cual el radio corneal queda determinado por un único parámetro que es o bien L o bien Y_m .

2.3 Identificación de los errores en la medición.

Del análisis del funcionamiento del instrumento y la bibliografía existente nos lleva a considerar los siguientes errores (3).

a) Utilización de la ecuación aproximada.

Los oftalmómetros fundamentan su funcionamiento en la ecuación aproximada (3), en lugar de la exacta (2). Esto implica que la distancia d (del objeto a la imagen) sea aproximadamente igual a la distancia del objeto al plano focal. El error que se introduce es pequeño debido a la alta potencia de la cornea. Este error se puede reducir a medida que d aumenta, ya que en ese caso, la imagen se acerca cada vez más al plano focal del espejo convexo que forma la cara anterior de la cornea.

b) Área de la cornea.

Al estar las miras fuera del eje, el área efectiva de la cornea que se utiliza para la medida, no incluye la zona central de la misma, que se encuentra alineada con el eje del sistema de observación. La separación entre las regiones útiles de la córnea donde se efectúa la medición, varía entre 2mm y los 3.5mm en los diferentes modelos de oftalmómetro. Dado que la superficie corneal tiende a achatarse hacia la periferia, se comete un error en la medida del radio, ya que en el análisis teórico se asume que la superficie a lo largo de un meridiano, tiene radio constante. Como consecuencia, las lecturas de los radios corneales dadas por un oftalmómetro darán valores más grandes de los reales.

Una forma de reducir este error es un correcto centrado del aparato sobre el vértice de la cornea, puesto que además el eje visual normalmente no pasa por el ápex corneal.

c) Utilización de la ecuación paraxial.

En las ecuaciones que se obtienen para describir el funcionamiento óptico del oftalmómetro se supone válida la teoría paraxial (ec. 2). Esta suposición implica un error en la medida, debido a que se ha demostrado, mediante la comparación del trazado de rayos utilizando la ecuación aproximada y la exacta, que la aberración esférica toma valores significativos para radios de curvatura

pequeños, en relación con el área utilizada en la medida. De esto se desprende la necesidad de realizar la calibración con superficies esféricas reflectantes de radio conocido.

d) Enfoque del ocular.

Los oftalmómetros utilizan un retículo que debe ser enfocado correctamente antes de realizar la medida. Si el profesional está enfocando por delante o por detrás del plano focal, todo el instrumento debe ser desplazado hacia delante o hacia atrás generando que las imágenes de las miras tengan un tamaño mayor o menor al verdadero. Estas variaciones producirán una medida errónea, debido a que, el principio básico de funcionamiento del oftalmómetro, empleado para calcular el radio de curvatura, utiliza el tamaño de la imagen obtenida por reflexión de las miras.

e) Fijación incorrecta del paciente.

El paciente debe mantener su mirada fija hacia el eje óptico del instrumento durante el proceso de medida, de no ser así, se podría tomar la medida de un sector de la córnea que no es el central y tener un valor distinto al deseado.

f) Mal centrado del instrumento.

El instrumento debe estar bien centrado y alineado con el eje de la córnea, de no ser así se producirá un error similar al descrito en el punto anterior y el valor hallado no pertenece a la zona central de la córnea.

g) Distancia incorrecta entre la córnea y el instrumento

La distancia entre la córnea y el instrumento, es un valor fijo de construcción del oftalmómetro, que está directamente relacionado con el radio corneal. Motivo por el cual el fabricante construye este instrumento prefijando esta distancia, la cual debe ser respetada al momento de la medición.

3. Análisis de errores

Los errores que se describen en los puntos a), b) y c), son propios del sistema constructivo de este tipo de instrumentos y del principio óptico utilizado para determinar el radio de curvatura de una superficie reflectante (en nuestro caso la córnea). En los tres casos la característica de las fuentes de los errores, motivan la necesidad de calibrar a los instrumentos con superficies esféricas reflectantes de radios conocidos, y superficies esféricas con dos radios conocidos y perpendiculares que caractericen una superficie astigmática, cuyas características metrologías están descritas en la norma UNE en ISO 10343.

El error descrito en d), debido al enfoque del ocular, se debe a la acomodación que podría realizar un observador, al realizar la medida. Esta acomodación bien puede ser por defectos en la visual del observador o bien por problemas en el instrumento que dificulten el enfoque del ocular.

Los errores e) y f) son relativamente fáciles de eliminar o minimizar, basta con centrar cuidadosamente el ojo del paciente con respecto al instrumento. No obstante para ello se requiere que el operador tenga la destreza necesaria en la operación del instrumento. Cabe resaltar que la calibración de estos instrumentos se realizaría con superficies reflectantes tal cual las estipuladas en la norma, por lo tanto el error debido a la fijación incorrecta del paciente, no estaría presente al momento de obtener las medidas sobre los patrones.

El error que se describe en g) es evitable si el operador hace que el paciente se ubique en la posición correcta en el instrumento al realizar la medida.

4. Conclusiones

El estudio del funcionamiento de los oftalmómetros nos permitió evaluar los errores en las medidas realizadas con estos instrumentos. Los podemos resumir en dos grupos. Por un lado aquellos que dependen de su sistema constructivo y principios ópticos y un segundo grupo que depende de la destreza del observador y su interacción con el paciente. Para poder realizar la calibración del instrumento será necesario evaluar la incertidumbre en la medida que introduce cada uno de los errores y estimar su importancia. La calibración de estos instrumentos cobran relevancia, considerando las implicancias que se desprenden del mal funcionamiento de los mismos. para la salud de los pacientes.

6- Bibliografía.

- (1) Grosvenor, T. Optometría de Atención Primaria. Editorial Masson, Barcelona 2004.
- (2) Guerrero Vargas, J. J., Optometría Clínica, Universidad de Santo Tomas, Seccional Bucaramanga, 2006.
- (3), (4) Martínez Corral, Manuel y otros. Instrumentos Ópticos y Optométricos. Teoría y Prácticas. Universitat de Valencia 1998.
- (5) Monserrat Arjona; Nuria Tomás; Josep Arasa. El Queratómetro. Por qué hay tanta variedad. Ver y Oír 2002.
- (6) Norma UNE en ISO 10343: 2009. Instrumentos Oftálmicos: Oftalmómetros.