

Tonometría no invasiva. Precisión, ventajas y limitaciones (I)

José M. González-Méijome - O.C. nº 17.669 - Jorge M. Martins Jorge - O.D.

INTRODUCCIÓN

La tonometría es la técnica utilizada para medir la presión intraocular (PIO) de forma indirecta a través de la determinación de la tensión de la membrana corneal. Esta medida es indirecta porque se suele obtener ejerciendo una fuerza sobre la córnea para estimar la presión en el interior del ojo. La medida directa de la PIO solamente se puede obtener conectando el interior de la cavidad ocular a un manómetro y, por lo tanto, no es clínicamente aplicable.

La gran importancia de esta medida reside esencialmente en el control indirecto del equilibrio fisiológico que debe existir entre la formación y la evacuación del humor acuoso dentro del globo ocular. Cuando este equilibrio se pierde, ya sea por un aumento de la producción o por una disminución de la capacidad de evacua-

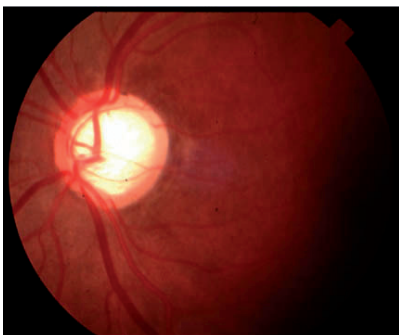


Figura 1. Fondo de ojo glaucomatoso con excavación papilar acentuada, desplazamiento nasal de los vasos sanguíneos y atrofia óptica visible a través del palidecimiento de la cabeza del nervio óptico.

ción, se produce un aumento de la PIO, que está sobradamente reconocido como un factor de riesgo para la aparición del glaucoma, una patología del nervio óptico.¹ De hecho, serán otros métodos diagnósticos, como el examen de polo posterior (**Figura 1**) y el campo visual, entre otras múltiples herramientas de diagnóstico avanzadas que permitirán hacer un diagnóstico de glaucoma, siendo la PIO apenas un factor de riesgo, a veces un indicador para sospechar la presencia de la enfermedad, y casi siempre usado para controlar su progresión y efectividad de la terapéutica farmacológica, pero no para confirmar o descartar su presencia.

Esta diferenciación es muy importante, ya que la presión intraocular elevada por sí sola no implica que el paciente padezca de glaucoma. En todo caso se podría hablar de hipertensión ocular (HTO) y, de hecho, existen casos en que aun presentando glaucoma no presentan PIO elevada. Por el contrario, existen casos en que el glaucoma está asociado, entre otros factores, a una PIO elevada, y este mismo parámetro se usa como un indicador indirecto del control de la patología y de la efectividad de los fármacos hipotensores, junto con otros parámetros como el estado del campo visual, el estado del fondo de ojo (**Figura 1**).

Conocido el papel de la PIO como factor de riesgo para el

glaucoma, la prevalencia de esta enfermedad, que puede llegar al 10% según algunos estudios, su patrón de incidencia, que aumenta a partir de los 40 años de edad, y las tendencias demográficas actuales en los países desarrollados, el control y seguimiento de la PIO es una prioridad de primer orden en la prevención visual. Siendo los ópticos-optometristas los responsables por el primer contacto con este tipo de pacientes en un primer momento, recae en estos profesionales una gran responsabilidad en cuanto a la detección de la HTO para que puedan hacer una referencia a tiempo al médico especialista para que establezca el tratamiento correspondiente si así fuese requerido. Conocedores de las restricciones al uso de fármacos diagnósticos por parte de los ópticos-optometristas en muchos países, y de la necesidad de obtener medidas fiables de un modo rápido y objetivo, los fabricantes de instrumental oftálmico han apostado durante las últimas décadas por la producción y comercialización de más y mejores sistemas de medida que podemos considerar como no invasivos.

Con la vasta oferta de métodos invasivos y no invasivos existentes en el mercado (**Figura 2**), a la hora de hacer la elección del método que vamos a usar para medir la PIO nos planteamos las siguientes cuestiones:

– ¿Todos los tonómetros no invasivos son de no contacto?



- ¿Son exactos los tonómetros de no contacto?
- ¿Son fiables los tonómetros de no contacto?
- ¿Cuál es la sensibilidad de los tonómetros de no contacto?
- ¿Las evoluciones tecnológicas han repercutido en la fiabilidad clínica?
- ¿Son todos igualmente fiables? ¿Qué criterios usar para diferenciarlos?
- ¿Qué factores afectan a su fiabilidad y qué utilidad tienen en la clínica?

A lo largo de este trabajo se remite al lector en diversas ocasiones a la reciente obra de Garcia Resua y Yebra-Pimentel (2007) titulada *Tonometría. Técnicas de medida: aplicación clínica*.² En este manual el lector podrá encontrar amplia información sobre las técnicas de medida, factores que afectan a la medida de la PIO con los diversos métodos y los márgenes de fiabilidad de cada uno de ellos comparados con los instrumentos de referencia. Estos aspectos son tratados en dicha

obra con una amplitud que queda fuera del objetivo del presente artículo.

Origen y evolución de las técnicas de tonometría

Las técnicas de tonometría han ido evolucionando durante los últimos 150 años desde la tonometría digital o por palpación hasta los modernos métodos de tonometría neumática pasando por la tonometría de indentación de Shiotz o la tonometría de aplanación de Goldmann. Otras técnicas han surgido también a lo largo de las últimas décadas, incluyendo la tonometría neumática y más recientemente la tonometría utilizando el principio "rebound" del tonómetro ICare, el tonómetro palpebral o la tonometría Pascal también llamada *digital contour tonometry*. No obstante, este trabajo se centrará en las técnicas no invasivas.

La primera técnica de tonometría aceptada clínicamente para evaluar la PIO en humanos fue introducida por Sir William Bowman hacia

1826 y consistía en la estimación de la PIO por palpación digital del globo ocular a través del párpado superior. A pesar de requerir una gran experiencia por parte del clínico, fue durante 50 años el método de referencia.

Posteriormente, Donders introdujo la técnica de aplanación escleral a mediados de la década de 1860 y otros instrumentos de aplanación fueron introducidos durante la segunda mitad del siglo XIX, aunque el método de referencia siguió siendo la tonometría digital hasta principios del siglo XX. En este momento Hjalmar Schiotz introdujo el primer dispositivo instrumental clínicamente útil y hacia 1910 se convierte en el nuevo método de referencia para la medida clínica de la PIO. Se atribuyen a Goldmann algunas mejoras en el tonómetro de Shiotz y en 1957 Goldmann y Schmidt introducen el tonómetro de aplanación que hoy conocemos como tonómetro de Goldmann y que, rápidamente, se transformaría en el nuevo instrumento de referencia hasta nuestros días.

Actualmente, el conocimiento científico de los factores que afectan a la medida indirecta de la PIO mediante tonometría, así como las alteraciones inducidas en la córnea por los métodos de cirugía refractiva y otros procedimientos, la necesidad de disponer de instrumentos portátiles o de medir la PIO sin recurso a fármacos y sin el riesgo de contaminación entre pacientes por el contacto del método de medida con el ojo, hacen que surjan vertiginosamente nuevos avances tecnológicos que hacen más precisa la medida de este importante parámetro. El mayor exponente de estos nuevos métodos está representado por los tonómetros neumáticos a finales de la década de 1980 y más recientemente por el tonómetro Pascal, el tonómetro ICare, Tonopen, el tonómetro palpebral y el tonómetro de fosfenos, entre otros.



Figura 2. Existe actualmente una gran diversidad de instrumentos de aplicación clínica para la medida de la PIO, de contacto, no invasivos y portátiles.

	Goldmann	Pneumático (TNC)	Tonopen	Palpebral	Rebote	Fosfenos
Necesita fármacos	SI	NO	SI	NO	NO	NO
Coste	Bajo	Alto	Medio	Medio	Medio	Bajo
Rapidez	Media	Rápido	Rápido	Rápido	Rápido	Rápido
Comodidad paciente	Incómodo	Incómodo	Cómodo	Cómodo	Cómodo	Cómodo
Medida decúbito supino	SI (Perkins®)	SI (Pulsair®)	SI	SI	NO	SI
Experiencia examinador	Requiere	No requiere	No requiere	Requiere	Mínima	Requiere
Objetividad	Depende observador	Objetivo	Objetivo	Objetivo	Objetivo	Depende paciente
Fiabilidad	Referencia	Alta	Alta	Baja	Alta	Baja
Factores externos	Curvatura y astigmatismo corneal			Espesor y rigidez palpebral		
Autocontrol paciente	NO	NO	NO	NO	NO	SI
Nº de medidas recomendadas	2	3	4	Sin determinar	6	Sin determinar

Tabla 1. Comparación entre diferentes métodos de medida de la PIO con métodos no invasivos. Se refiere también la tonometría de Goldmann, considerada el "Gold Standard", con propósito de comparación.

Dispositivos disponibles

Diferenciaremos entre las técnicas de tonometría de contacto que requieren el auxilio a fármacos de uso diagnóstico, como es el caso de la tonometría de Goldmann, y que no son el objetivo de este trabajo, y las técnicas que siendo o no de contacto no requieren el uso de fármacos diagnósticos y, por tanto, las llamamos técnicas no invasivas. Estas son el objetivo principal de este trabajo, pues son las únicas a la que el óptico-optometrista tiene acceso en algunos países, incluida España. Cabe aquí citar las siguientes técnicas de las que se proporciona una breve explicación:

– **Tonometría neumática**, también llamada **tonometría de no contacto** (TNC). Se atribuye su invención al Dr. Bernard Grolman, optometrista de Nueva York que desarrolló el primer tonómetro neumático en la compañía American Optical (actualmente Reichert Ophthalmic Instruments). La idea surgió de la necesidad de poder medir la PIO sin necesidad de aplicar fármacos, algo que, tal como hoy en España y muchos otros países, en los años 50 estaba prohibido para los optometristas en Estados Unidos de América. Actualmente existen múltiples dispositivos comerciales, pero todos ellos se basan en el mismo principio. Un impulso de aire es dirigido al centro

de la córnea y su intensidad aumenta hasta que se consigue aplanar la córnea. En ese momento, un sistema electro-óptico detecta el punto de aplanación y determina la PIO a través de la presión de aire que ha tenido que ejercer para producir tal aplanamiento. Cuanto mayor sea la fuerza necesaria para tal aplanamiento, mayor será la lectura de la PIO. Tiene la ventaja de no necesitar de contacto con el globo ocular y, por tanto, es un método altamente seguro desde el punto de vista de la posible contaminación entre pacientes, es rápido y con algunos cuidados el valor obtenido no depende de la pericia del observador. Así como el TAG tiene su versión portátil, también existe una versión portátil de tonometría neumática, representada por el instrumento Pulsair, que ha demostrado al igual que sus equivalentes de mayores dimensiones una buena fiabilidad cuando se obtiene la media de varias medidas repetidas³, existiendo ya diferentes evoluciones del propio instrumento.^{4,6}

– **Tonometría "de rebote"**. Actualmente existen dos dispositivos que usan esta tecnología: el tonómetro ICare® (Tiolat Oy, Helsinki, Finlandia) y el tonómetro IOPen® (Reichert Ophthalmic Instruments, Buffalo, NY). El tonómetro ICare® surgió inicialmente como un dispositivo experimental para determinar la PIO en pequeños animales de

experimentación como los ratones. Posteriormente, su aplicación en humanos dio muy buenos resultados y está disponible actualmente tanto para uso en humanos (ICare®) como para uso veterinario (IVet®). Otro instrumento similar a este es el IOPen®. El principio de funcionamiento de estos instrumentos se basa en la emisión de un vástago de metal a gran velocidad cuya punta redondeada y plástica impacta contra la córnea. La velocidad de frenado de la punta es determinada y se usa para determinar la PIO dentro del ojo (que influye en la rigidez de la membrana corneal y, por lo tanto, de un modo indirecto en la disminución de velocidad de retorno de la sonda tras haber impactado la superficie del globo ocular). A pesar de ser un método de contacto, no requiere el uso de anestésico tópico, pues el contacto es tan breve y delicado que la sensación corneal es casi nula y nada molesta para el paciente en condiciones normales.

Teóricamente, se puede aplicar en cualquier posición en que se encuentre el paciente. No obstante, los autores no han conseguido obtener medidas con el tonómetro ICare® con el paciente en decúbito supino, ni siquiera cuando este se encuentra semi-acostado, ya que al inclinar el instrumento la sonda cae. No obstante, para uso con el paciente erecto o sentado, la medida



es muy rápida y si se siguen las instrucciones del fabricante en cuanto a número de medidas obtenidas, el resultado es fiable, principalmente para screening⁷⁻⁹, tanto en pacientes sanos como para el seguimiento de pacientes con glaucoma.¹⁰

– **Tonómetro de fosfenos.** Se basa en la producción de un fosfeno (imagen entóptica provocada por las tensiones de la pared escleral alrededor de la cabeza del nervio óptico cuando se aplica presión en el canto interno del ojo). Se asume que la presión que es necesario ejercer para la formación del fosfeno será proporcional a la PIO dentro de la cavidad ocular. Cuanta mayor presión se necesite ejercer, mayor será la PIO dentro del ojo. Tal vez la única ventaja sea la posibilidad de que el paciente haga un auto-control de su PIO, aunque los valores obtenidos pueden ser bastante dudosos a la luz de algunos estudios, apuntando que, entre otras ventajas, la no afectación de la medida por parte del espesor corneal¹¹ o la reducción de la ansiedad de los pacientes acerca del glaucoma cuando sienten que ellos mismos controlan la PIO¹², no tanto según otros que incluso cuestionan la validez del principio de medida usado por este dispositivo.¹³

– **Tonómetro palpebral.** Es un sistema de indentación que en vez de actuar directamente sobre la pared ocular lo hace indirectamente a través del párpado superior. Sin embargo, las medidas han demostrado una baja repetibilidad y una pobre correlación con las obtenidas con el TAG.

– **TonoPen XL.** Tiene una configuración compacta en forma de lápiz y registra la PIO al aplanar una pequeña región de la córnea a través de un émbolo metálico. Necesita anestesia corneal y una capa protectora para el cabezal de medida, ya que el instrumento no puede ser desinfectado, pues el procedimiento dañaría el interior del mismo.

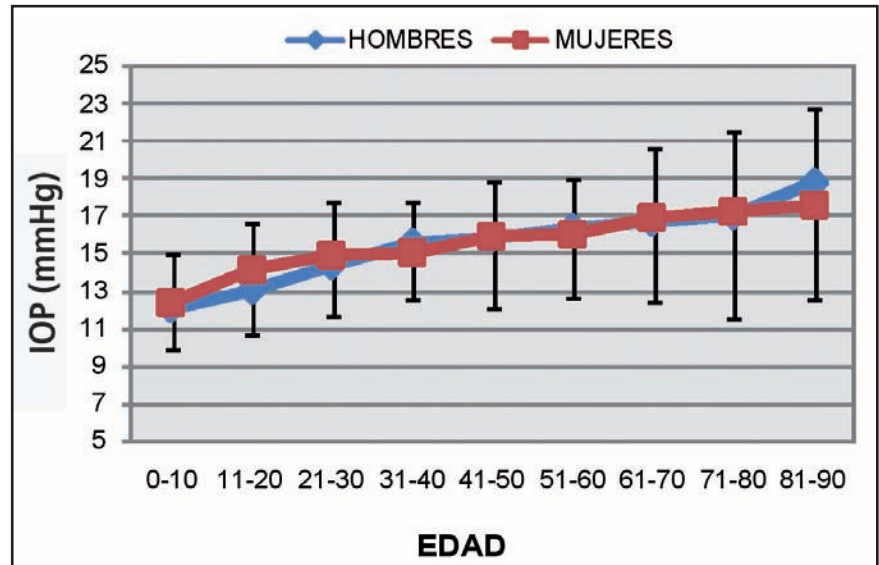


Figura 3. Evolución de la PIO con la edad en una muestra de pacientes que acuden a una consulta de optometría.³⁶

De todos estos instrumentos, tal como otros que no han sido aquí referidos, existe información muy completa en cuanto a los modos de funcionamiento y márgenes de fiabilidad en la obra de García-Resúa y Yebra-Pimentel (2007).²

Factores que afectan a la medida

Existen múltiples factores que pueden alterar los valores de la PIO, unos de un modo más claro, otros de un modo menos evidente. Interesa conocerlos para determinar si alguno de ellos es un factor de riesgo adicional para provocar un aumento de la PIO que conduzca a la aparición de problemas relacionados con la HTO, pero también para determinar bajo qué condiciones los métodos de medida disponibles pueden proporcionar resultados erróneos que conduzcan a diagnósticos erróneos, ya sea de falsos positivos (PIO aparentemente elevada) o falsos negativos (PIO aparentemente normal). Entre los factores que pueden conducir a estas situaciones están algunos de orden fisiológico, otros de tipo anatómico y otros de tipo patológico. Existe también interacción entre los diferentes efectos como, por ejemplo, en el caso de distrofias corneales,

que cursan con edema marcado de la córnea, ya que en estos casos el aumento de espesor tal vez sea el principal responsable de la alteración de la PIO medida y no la enfermedad en sí misma, como en el caso de la distrofia endotelial de Fuchs. En el caso del queratocono, la disminución de espesor juntamente con la menor resistencia biomecánica propiciada por el debilitamiento del estroma motivan que los valores de PIO en estos casos sean anormalmente bajos.¹⁴ Algunas de estas se abordarán en este apartado en más detalle, pudiendo acceder a una revisión más exhaustiva en la literatura disponible.²

Factores fisiológicos

- Edad¹⁵
- Sexo¹⁶
- Raza^{17,18}
- Variaciones diurnas¹⁹⁻²¹
- Ritmo circadiano
- Cambios posturales
- Ejercicio físico²²

Factores anatómicos

- Espesor corneal normal¹⁴
- Espesor corneal post-cirugía^{23,24}
- Propiedades biomecánicas de la córnea^{20,25}
- Radio de curvatura corneal²⁶
- Error refractivo (miopía)^{27,28}

ECC (micras)	445	455	465	475	485	495	505	515	525	535	545	555	565	575	585	595	605	615	625	635	645
PIO ajustada (mmHg)	+7	+6	+6	+5	+4	+4	+3	+2	+1	+1	0	-1	-1	-2	-3	-4	-4	-5	-6	-6	-7

Tabla 2. Tabla de conversión de la PIO medida con el tonómetro de Goldmann en función del espesor corneal.

Factores patológicos

- Tensión arterial^{29,29-31}
- Obesidad
- Diabetes³²
- Patología ocular^{33,34}
- Edema corneal³⁵

Edad

El efecto de la edad en la PIO es un aspecto confuso, pues depende en gran medida de la población considerada, ya que la prevalencia de la hipertensión ocular es superior en las franjas de edad más elevadas, principalmente a partir de los 40-50 años. Este aspecto se observa en la **Figura 3**, que nos muestra un aumento progresivo de la PIO media desde la infancia hasta la senectud. No obstante, no debe interpretarse esto como una tendencia natural de una determinada población seguida en un estudio longitudinal a lo largo de los años, sino como el resultado de un estudio transversal en el que se ha verificado que globalmente existe una tendencia para las personas de más edad a tener valores de presión intraocular más elevada.

Patología corneal

Una evidencia clínica de la influencia del espesor y rigidez de la córnea en la medida de la PIO, medidos con tonometría, son los valores anormalmente reducidos encontrados en muchos casos de queratocono (inferiores a 10 mmHg), cuyas córneas presentan normalmente adelgazamiento y flacidez, mayor cuanto mayor sea el estado evolutivo de la patología. Otras patologías como la distrofia de Fuchs también afectan al valor de la PIO, presumiblemente por las alteraciones en la rigidez corneal,

como sucede en el queratocono.³⁴ Se desconoce el efecto que tendrán los tratamientos de cross-linking en la medida de la PIO, pero se espera que al inducir una mayor rigidez en la estructura corneal, el valor de la PIO sea sobrestimado en relación al normal. También será necesario evaluar si las medidas obtenidas en pacientes con queratocono tras el implante de anillos intra-estromales son o no fiables, y si se pueden obtener medidas más fiables en la periferia corneal que el en centro.

Cirugía refractiva corneal y ortoqueratología

Considerando que por cada dioptría de corrección miópica es necesario reducir el espesor central de la córnea en aproximadamente 20 micras, obtenemos que, por cada 4 dioptrías de miopía corregidas, se puede esperar una infra-estimación de la PIO de aproximadamente 6,5 mmHg. Además, la formación del flap corneal (habitualmente de 100 a 160 micras de espesor) hace que el lecho estromal residual sea aun más fino, debilitando aun más la córnea, con lo que se esperan errores de medición incluso superiores.

Respecto a la ortoqueratología, sería de esperar que los valores de la PIO se alterasen debido al aplanamiento y adelgazamiento de la córnea central. No obstante, esto no se ha confirmado en estudios clínicos,³⁷ incluso en aquellos con mayor número de pacientes (estudio Paragon CRT FDA en www.fda.org). El motivo puede deberse por un lado a que, en el caso de la ortoqueratología, no hay una pérdida de tejido corneal sino una redistribución del mismo, de modo que

el debilitamiento de la estructura corneal no existe, al contrario que la cirugía LASIK. Por otra parte, los valores de adelgazamiento corneal en ortoqueratología son del orden de 6-10 micras por cada dioptría de corrección,³⁸ por lo que aunque consideremos la máxima corrección posible de 6 D estaríamos ante una reducción de aproximadamente 40-60 micras, con lo cual no se llegaría a inducir un error superior a 3 mmHg de acuerdo con lo anteriormente expuesto (**Tabla 2**). Además, en el caso de la ortoqueratología, la córnea no es debilitada por la creación del flap corneal, con lo que el factor de corrección es aun menor y así se justifican las diferencias despreciables obtenidas en la PIO en pacientes de ortoqueratología.

Variaciones diurnas

La PIO sufre variaciones diurnas, siendo significativamente más elevada durante la noche, reduciéndose al despertarse y manteniéndose estable durante el resto del día hasta el anochecer y al acostarse, en que vuelve a aumentar,^{21,39} de un modo menos acentuado en pacientes que permanecen durante todo el día en posición de decúbito supino (acostados) y de un modo más acentuado en pacientes que permanecen sentados durante el día⁴⁰, lo que refuerza la importancia de la posición corporal en las diferencias día/noche de la PIO. Estas variaciones se justifican por la posición en decúbito supino durante el sueño y se ha visto que son más acentuadas en pacientes con glaucoma.⁴¹ Recientemente, los autores han realizado medidas de PIO en pacientes jóvenes sin patología ocular con un tonómetro neumático portátil con el paciente erecto, tras

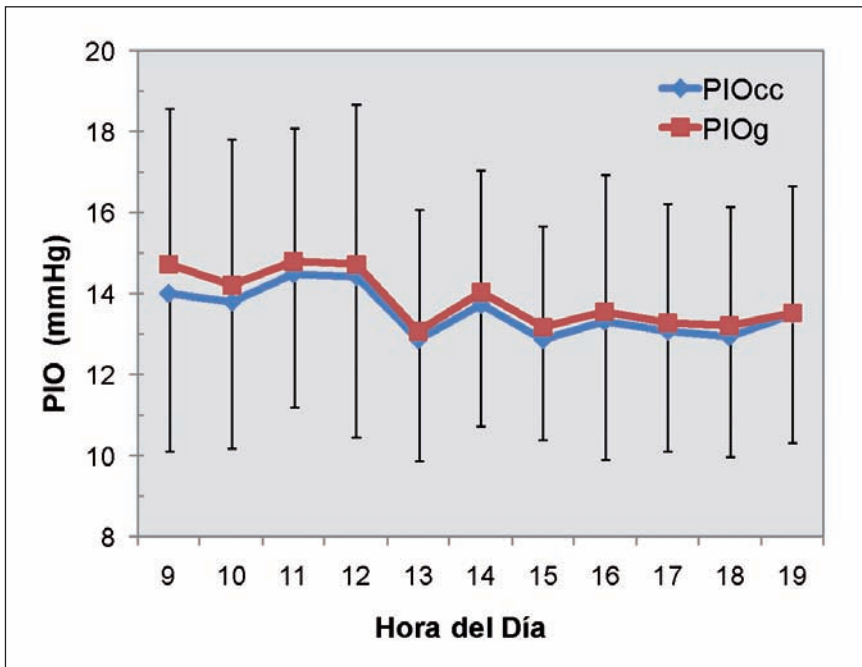


Figura 4. Variación de la PIO en pacientes jóvenes y sanos durante un periodo de 10 horas.²⁵

30 minutos acostado y 10 minutos de haberse levantado. En este estudio se obtuvo una clara secuencia relacionada con los cambios posturales de siendo la PIO significativa menor antes de acostar al paciente, aumentando aproximadamente 2 mmHg en la posición acostado y reduciéndose nuevamente casi a los valores basales tras 10 minutos de estar derecho (*Jorge et al*, resul-

tados sometidos para publicación). Otra fuente de variabilidad puede ser el ritmo circadiano, ya que las fluctuaciones de la función biológica del cuerpo humano pueden tener impacto sobre la producción/eliminación del humor acuoso. Las variaciones de PIO atribuidas a los cambios posturales son muy importantes, puesto que se ha visto que en pacientes con patología glauco-

matosa, el aumento de PIO al acostarse es substancialmente mayor que en pacientes sin patología de este tipo.⁴²

Espesor corneal

Quizás el más importante sea el espesor de la córnea, aunque pueden existir otros según la técnica usada. Actualmente se sabe que la mayoría de las técnicas de tonometría tradicionales, incluidas las técnicas no invasivas (de contacto y de no contacto), están afectadas por el espesor de la córnea aunque de un modo diferente.⁴³ En la práctica, esto implica que córneas más gruesas y/o más rígidas hacen que se sobreestime el valor de la PIO, y que se subestime cuando el espesor corneal o la rigidez corneal son menores, haciendo que algunos casos con valores de PIO elevados hayan sido tratados durante años con hipotensores oculares sin necesidad, y, lo que es más grave, pacientes con valores de PIO elevados no hayan sido detectados, pues los métodos de tonometría no evidenciarían tal condición. Probablemente algunos de los pacientes diagnosticados con glaucoma de tensión normal sean pacientes con córneas finas que no hayan evidenciado valores superiores de PIO debido a sus características corneales. Un estudio de Jordan y colaboradores ha revelado que los pacientes con diagnóstico de glaucoma de tensión normal tenían córneas más finas en el centro y la periferia que pacientes con hipertensión ocular.⁴⁴

Algunos estudios han cuantificado el impacto del espesor corneal en la medida de la PIO y han concluido que, tomando como referencia el valor de 550 micras, por cada 50 micras de aumento el valor de la PIO medida será 3,5 mmHg superior y viceversa. De acuerdo con esta relación, actualmente el valor del espesor corneal central se usa para corregir los valores de PIO obtenidos con tonometría. La **Tabla 2** se puede usar con estos propósitos. El espesor corneal se ha convertido

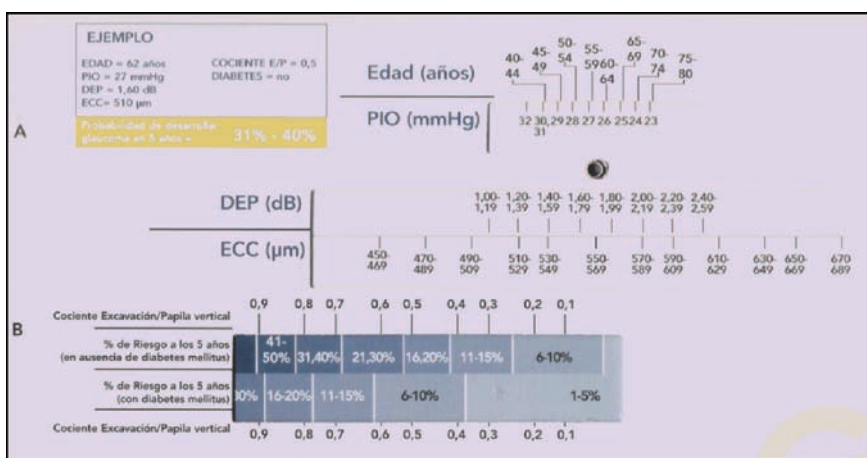


Figura 5. Tabla utilizada en la clínica oftalmológica para estimar el riesgo de pérdida visual en pacientes glaucomatosos en función de la PIO en la primera visita, la excavación papilar, la sensibilidad retiniana y el espesor corneal central.

en un factor determinante del riesgo en pacientes con glaucoma, que actualmente es considerado conjuntamente con el valor de la PIO, la excavación de la papila óptica y la sensibilidad retiniana obtenida con campimetría en los algoritmos recientes que determinan el riesgo de pérdida visual en pacientes con glaucoma, algunos de los cuales se usan clínicamente en forma de tablas (**Figura 5**). Se puede encontrar en la literatura una amplia revisión bibliográfica sobre esta temática llevada a cabo por Doughty y Zaman.¹⁴

alteraciones anatómicas, fisiológicas o patológicas en la estructura del globo ocular.²⁷ En este contexto se ha llegado a barajar la posibilidad de que la PIO elevada fuese causa de miopía. No obstante, diversos estudios han demostrado que la instauración de la miopía no está precedida de aumento de la PIO⁴⁶ que justifique la relación causa-efecto, aunque sí se ha observado aumento de la PIO tras la instauración de la miopía.²⁷

Error refractivo

Diversos estudios han encontrado asociaciones consistentes entre la miopía y un aumento de la PIO. En los grupos de pacientes con glaucoma o PIO elevada se encuentran más miopes aunque no se sabe si este aumento de la PIO se debe a

REFERENCIAS

- San LJ. When is glaucoma really glaucoma? *Clin Exp Optom* 2007;90:376-85.
- García Resua C, Yebra-Pimentel E. Tonometría. Técnicas de medida: utilidad clínica. Xativa: Ulleye, 2007.
- McCahrey GE, Matthews FE. The Pulsair 3000 tonometer—how many readings need to be taken to ensure accuracy of the average? *Ophthalmic Physiol Opt* 2001;21:334-8.
- Cho P, Lui T. Comparison of the performance of the Nidek NT-2000 noncontact tonometer with the Keeler Pulsair 2000 and the Goldmann applanation tonometer. *Optom Vis Sci* 1997;74:51-8.
- Lawson-Kopp W, DeJong A, Yudovitch L, Williams S, Kohl P, Ylton RL. Clinical evaluation of the Keeler Pulsair 3000 non-contact tonometer. *Optometry* 2002;73:81-90.
- Mackie SW, Jay JL, Ackerley R, Walsh G. Clinical comparison of the Keeler Pulsair 2000, American Optical MKI and Goldmann applanation tonometers. *Ophthalmic Physiol Opt* 1996;16:171-7.
- Fernandes P, Diaz-Rey JA, Queiros A, Gonzalez-Mejome JM, Jorge J. Comparison of the ICare(R) rebound tonometer with the Goldmann tonometer in a normal population. *Ophthalmic Physiol Opt* 2005;25:436-40.
- García-Resua C, Gonzalez-Mejome JM, Gilino J, Yebra-Pimentel E. Accuracy of the new ICare rebound tonometer vs. other portable tonometers in healthy eyes. *Optom Vis Sci* 2006;83:102-7.
- Jorge J, Gonzalez-Mejome JM, Queiros A, Fernandes P, Almeida JB, Parafita MA. Correlations between corneal biomechanical properties measured with the Ocular Response Analyzer and ICare Rebound Tonometry. *J Glaucoma* 2007;(in press).
- van der Jagt LH, Jansonius NM. Three portable tonometers, the TGDc-01, the ICARE and the Tonopen XL, compared with each other and with Goldmann applanation tonometry*. *Ophthalmic Physiol Opt* 2005;25:429-35.
- Naruse S, Mori K, Kinoshita S. Evaluation of the pressure phosphene tonometer as a self-tonometer. *Ophthalmic Physiol Opt* 2005;25:421-8.
- Rai S, Moster MR, Kesen M et al. Level of disagreement between Proview phosphene tonometer and Goldmann applanation tonometer intraocular pressure readings. *J Glaucoma* 2005;14:120-3.
- Alvarez TL, Gollance SA, Thomas GA et al. The Proview phosphene tonometer fails to measure ocular pressure accurately in clinical practice. *Ophthalmology* 2004;111:1077-85.
- Doughty MJ, Zaman ML. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. *Surv Ophthalmol* 2000;44:367-408.
- Gonzalez-Mejome JM, Jorge J, Queiros A et al. Age differences in central and peripheral intraocular pressure using a rebound tonometer. *Br J Ophthalmol* 2006;90:1495-500.
- Pointer JS. Evidence that a gender difference in intraocular pressure is present from childhood. *Ophthalmic Physiol Opt* 2000;20:131-6.
- Shimmyo M, Ross AJ, Moy A, Mostafavi R. Intraocular pressure, Goldmann applanation tension, corneal thickness, and corneal curvature in Caucasians, Asians, Hispanics, and African Americans. *Am J Ophthalmol* 2003;136:503-13.
- Tong L, Saw SM, Siak JK, Gazzard G, Tan D. Corneal thickness determination and correlates in Singaporean school-children. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45:4004-9.
- Wilensky JT. Diurnal variations in intraocular pressure. *Trans Am Ophthalmol Soc* 1991;89:757-90.
- Liu J, Roberts CJ. Influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurement: quantitative analysis. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:146-55.
- Liu JH, Kriepke DF, Twa MD et al. Twenty-four-hour pattern of intraocular pressure in young adults with moderate to severe myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2002;43:2351-5.
- Qureshi IA, Xi XR, Huang YB, Wu XD. Magnitude of decrease in intraocular pressure depends upon intensity of exercise. *Korean J Ophthalmol* 1996;10:109-15.
- Bayraktar S, Bayraktar Z. Central corneal thickness and intraocular pressure relationship in eyes with and without previous LASIK: comparison of Goldmann applanation tonometer with pneumatonometer. *Eur J Ophthalmol* 2005;15:81-8.
- Montes-Mico R, Charman WN. Intraocular pressure after excimer laser myopic refractive surgery. *Ophthalmic Physiol Opt* 2001;21:228-35.
- Gonzalez-Mejome JM, Queiros A, Jorge J, az-Rey A, Parafita MA. Intraoffice Variability of Corneal Biomechanical Parameters and Intraocular Pressure (IOP). *Optom Vis Sci* 2008;85:457-62.
- Kohlhaas M, Boehm AG, Spoerl E, Pursten A, Grein HJ, Pillunat LE. Effect of central corneal thickness, corneal curvature, and axial length on applanation tonometry. *Arch Ophthalmol* 2006;124:471-6.
- Edwards MH, Brown B. IOP in myopic children: the relationship between increases in IOP and the development of myopia. *Ophthalmic Physiol Opt* 1996;16:243-6.
- Grodum K, Heiji A, Bengtsson B. Refractive error and glaucoma. *Acta Ophthalmol Scand* 2001;79:560-6.
- Chen HY, Lai SW. Relation between intraocular pressure and systemic health parameters in Taiwan. *South Med J* 2005;98:28-32.
- Queiros A, Gonzalez-Mejome JM, Fernandes P, Jorge J, Almeida JB, Parafita MA. Non-contact tonometry synchronized with cardiac rhythm and its relationship with blood pressure. *Ophthalmic Physiol Opt* 2006;26:384-91.
- Klein BE, Klein R, Knudtson MD. Intraocular pressure and systemic blood pressure: longitudinal perspective: the Beaver Dam Eye Study. *Br J Ophthalmol* 2005;89:284-7.
- Hennis A, Wu SY, Nemesure B, Leske MC. Hypertension, diabetes, and longitudinal changes in intraocular pressure. *Ophthalmology* 2003;110:908-14.
- Browning AC, Bhan A, Rotchford AP, Shah S, Dua HS. The effect of corneal thickness on intraocular pressure measurement in patients with corneal pathology. *Br J Ophthalmol* 2004;88:1395-9.
- Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J Cataract Refract Surg* 2005;31:156-62.
- Whitacre MM, Stein R. Sources of error with use of Goldmann-type tonometers. *Surv Ophthalmol* 1993;38:1-30.
- Ferrer-Blasco T, Gonzalez-Mejome JM, Montes-Mico R. Age-related changes in the human visual system and prevalence of refractive conditions in patients attending an eye clinic. *J Cataract Refract Surg* 2008;34:424-32.
- Romano MR, Calossi A, Romano F, Ferraioli G. Intra-Ocular Pressure After Overnight Orthokeratology. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:2391.
- Swarbrick HA, Wong G, O'Leary DJ. Corneal response to orthokeratology. *Optom Vis Sci* 1998;75:791-9.
- Liu JH, Kriepke DF, Twa MD et al. Twenty-four-hour pattern of intraocular pressure in the aging population. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1999;40:2912-7.
- Liu JH, Kriepke DF, Hoffman RE et al. Nocturnal elevation of intraocular pressure in young adults. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 1998;39:2707-12.
- Asrani S, Zeimer R, Wilensky J, Gieser D, Vitale S, Lindenmuth K. Large diurnal fluctuations in intraocular pressure are an independent risk factor in patients with glaucoma. *J Glaucoma* 2000;9:134-42.
- Asrani S, Zeimer R, Wilensky J, Gieser D, Vitale S, Lindenmuth K. Large diurnal fluctuations in intraocular pressure are an independent risk factor in patients with glaucoma. *J Glaucoma* 2000;9:134-42.
- Tonnu PA, Ho T, Newson T et al. The influence of central corneal thickness and age on intraocular pressure measured by pneumotometry, non-contact tonometry, the Tono-Pen XL, and Goldmann applanation tonometry. *Br J Ophthalmol* 2005;89:851-4.
- Jordan JF, Joergens S, Dinslage S, Dietlein TS, Krieglstein GK. Central and paracentral corneal pachymetry in patients with normal tension glaucoma and ocular hypertension. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2006;244:177-82.
- Jorge J, Gonzalez-Mejome JM, Queiros A, Fernandes P, Parafita M. Correlations between corneal biomechanical properties measured with the Ocular Response Analyzer and ICare Rebound Tonometry. *J Glaucoma* 2008;17;(in press).
- Goss DA, Caffey TW. Clinical findings before the onset of myopia in youth: 5. Intraocular pressure. *Optom Vis Sci* 1999;76:286-91.
- Luce D, Taylor D. Reichert Ocular Response Analyzer measures corneal biomechanical properties and IOP. *Ocular Response Analyzer White Paper*. Available at: <http://www.ocularresponseanalyzer.com/downloads.html> 2005; Accessed November 2006.