

ARCHIVOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE OFTALMOLOGÍA

www.elsevier.es/ofthalmologia



Artículo original

Comparación de tonómetro de contorno dinámico, Goldmann y neumotonómetro en pacientes con hipertensión ocular y su relación con la paquimetría y amplitud del pulso ocular

T. Colás-Tomás^{a,*}, M. Prieto-Del Cura^a, I. Villafruela-Güemes^a, A. Clariana-Martín^a
y A. Valdivia-Pérez^b

^a Servicio de Oftalmología, Hospital del Tajo, Aranjuez, Madrid, España

^b Unidad de Medicina Preventiva, Hospital de Dénia, Marina Salud, Alicante, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 22 de agosto de 2011

Aceptado el 23 de mayo de 2012

On-line el 24 de julio de 2012

Palabras clave:

Tonómetro de contorno dinámico

Tonómetro de Goldmann

Neumotonómetro

Amplitud del pulso ocular

Paquimetría

Hipertensión ocular

R E S U M E N

Objetivo: Determinar la relación entre el tonómetro de contorno dinámico (TCD), Goldmann (TG) y neumotonómetro (NT) en pacientes con hipertensión ocular (HTO) y su relación con el grosor central de la córnea (GCC) y amplitud del pulso ocular (APO).

Método: Se han incluido 60 pacientes (101 ojos) con presión intraocular (PIO) ≥ 21 mmHg con TG y sin alteraciones glaucomatosas en disco óptico y campo visual. Se ha medido la PIO con TG, TCD y NT, la APO con el TCD y el GCC con paquímetro de ultrasonido. Se ha estudiado la diferencia de PIO entre los tres tonómetros mediante el test no paramétrico de Wilcoxon y la relación de la APO con el GCC y la PIO con el coeficiente de correlación de Spearman.

Resultados: La mediana de PIO con NT fue de 24 mmHg (RIC: 22-26), con TG de 22 mmHg (RIC: 22-24) y con TCD de 28,2 mmHg (rango intercuartilico [RIC]:24,1-30,7). En comparación con el TG la PIO fue mayor con el NT y con el TCD, siendo la diferencia de medianas de 2,0 y de 6,2 mmHg respectivamente. La media del GCC fue de 594,5 μ m (DE 30,0), encontrándose una asociación estadísticamente significativa entre esta y la PIO con TG ($r: 0,209$; $p = 0,036$) y de magnitud similar aunque sin ser significativa con el TCD ($r: 0,195$; $p = 0,051$). No se encuentra asociación entre GCC y NT ($r: 0,15$; $p = 0,12$). La APO fue de 4,8 mmHg (RIC: 3,6-6,1), incrementándose significativamente con la PIO tomada por el TG ($r: 0,388$; $p < 0,001$) y con el GCC ($r: 0,287$; $p = 0,004$). Esta relación no fue significativa con el NT y TCD ($r: 0,067$; $p = 0,50$ y $r: 0,17$; $p = 0,08$ respectivamente).

Conclusiones: Los valores de PIO con TCD y NT son mayores que con TG en pacientes con HTO. La PIO con TG se ve influenciada por el aumento de GCC. El incremento de APO se asocia a un incremento del GCC y de PIO con los tres tonómetros (siendo esta relación solo estadísticamente significativa con el TG).

© 2011 Sociedad Española de Oftalmología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: teresacolas@hotmail.com (T. Colás-Tomás).

0365-6691/\$ - see front matter © 2011 Sociedad Española de Oftalmología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ofthal.2012.05.004>

Comparison of dynamic contour tonometry, Goldmann and pneumotonometer in ocular hypertension patients and their relationship to pachymetry and ocular pulse amplitude

A B S T R A C T

Keywords:

Dynamic contour tonometry
Goldmann tonometry
Pneumotonometer
Ocular pulse amplitude
Pachymetry
Ocular hypertension

Purpose: To determine the relationship between dynamic contour tonometry (DCT), Goldmann applanation tonometry (GAT) and pneumotonometry (PNT) in ocular hypertension patients (OHT) and their relationship to central corneal thickness (CCT) and ocular pulse amplitude (OPA).

Methods: Sixty patients (101 eyes) with intraocular pressure (IOP) ≥ 21 mmHg using GAT and normal appearing optic nerve heads and normal visual fields were included. The following tests were performed simultaneously during a single visit: IOP using DCT, GAT and PNT, OPA using DCT and CCT using ultrasound pachymetry. We studied the difference IOP between these 3 tonometers using Wilcoxon non-parametric test and the effect of CCT on IOP and OPA, as well as the relationship between OPA and IOP using Spearman correlation coefficient.

Results: The median PNT IOP was 24 mmHg (Inter-quartile range [IQR]: 22-26), median GAT IOP was 22 mmHg (IQR: 22-24), and median DCT IOP was 28.2 mmHg (IQR: 24.1-30.7). PNT and DCT had higher IOP values than GAT (median 2 mmHg and 6.2 mmHg, respectively). Mean CCT was 594.5 μ m (SD 30.0). GAT IOP and DCT IOP showed an increase with increased corneal thickness (r : 0.209; P = .036 and r : 0.195; P = .051, respectively). PNT IOP did not change with CCT (r : 0.15; P = .12). The median OPA was 4.8 mmHg (IQR: 3.6-6.1), and significantly increased with GAT IOP (r : 0.38; P < .001) and with CCT (r : 0.287; P = .004). This association was unclear with IOP PNT and IOP DCT (r : 0.067; P = .50 and r : 0.17, P = .08, respectively).

Conclusions: DCT and PNT IOP values were higher than GAT IOP measurements in ocular hypertension patients. GAT IOP showed a significant increase with increased corneal thickness. Increased OPA seems to correlate with increased CCT and IOP, particularly if GAT is used.

© 2011 Sociedad Española de Oftalmología. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

El tonómetro de contorno dinámico (TCD) (Pascal; Swiss Microtechnology AG, Port, Suiza), a diferencia del tonómetro de aplanación de Godmann (TG) y del neumotonómetro (NT), mide la PIO a través de un sensor piezoeléctrico y un tip con superficie cóncava que se adapta al contorno de la córnea provocando la mínima distorsión. Al no realizar una aplanación significativa de la misma, sus medidas no se ven influenciadas por las propiedades corneales, como es el grosor central de la córnea (GCC) o su curvatura¹. Junto con el valor de la presión intraocular (PIO) también informa de la amplitud del pulso ocular (APO), definida como la diferencia entre la PIO sistólica y diastólica durante el periodo de contacto entre el tonómetro y el ojo. La APO es indicativa del flujo sanguíneo ocular y puede llegar a ser un parámetro importante en el manejo clínico del glaucoma²⁻⁴.

Como es bien sabido los pacientes con hipertensión ocular (HTO) se definen como aquellos que presentan una PIO ≥ 21 mmHg, sin evidencias de daño glaucomatoso en el disco óptico y con un campo visual normal. Normalmente asocian un GCC elevado, que muchas veces es una de las causas de que la PIO se vea sobrestimada con los TG o NT.

Son escasos los artículos donde se ha estudiado la APO en este tipo de pacientes, y la asociación que esta tiene con parámetros como el GCC y la PIO.

En este artículo el objetivo es determinar la PIO con diferentes tonómetros (TG, TCD, NT) en pacientes con HTO y estudiar su relación con el GCC y la APO.

Sujetos, material y método

Se ha realizado un estudio observacional, incluyéndose 60 pacientes (101 ojos) con HTO (definida como PIO ≥ 21 mmHg, sin daño glaucomatoso en el nervio óptico y con campo visual normal) en el Servicio de Oftalmología del Hospital del Tajo de Aranjuez, entre octubre de 2010 y mayo de 2011. Se consideraron ambos ojos en 47 pacientes.

Ningún paciente había sido sometido a cirugías oculares previas, ni presentaba en el momento del estudio otra enfermedad ocular o tratamiento hipotensor tópico.

Se realizó un estudio completo de agudeza visual (AV), examen en lámpara de hendidura, fondo de ojo, medida de PIO con (AT900, Haag Streit International, Swiss), TCD (Pascal; Swiss Microtechnology AG, Port, Suiza) y NT (CT-80; Topcon, Tokyo, Japón), medida de GCC con paquímetro de contacto (Optikon 2000 S.P.A; Roma, Italy) y medida de APO con TCD. A todos los pacientes se les realizó campimetría (perimetría automática Humphrey) y tomografía de coherencia óptica (Cirrus; Carl Zeiss Meditec, Jena, Alemania) del nervio óptico. Con cada tonómetro se realizaron tres mediciones de PIO, considerando la media de ellas, así como con la paquimetría. En el

caso del TCD solo fueron consideradas las medidas con grado de calidad $Q \leq 3$ (el dispositivo considera la Q1 como óptima y la Q5 como inaceptable, siendo la Q3 aceptable) y se empleó un capuchón protector nuevo para cada paciente. En el caso del TG se esperaban 5 min entre cada toma con el objetivo de minimizar los efectos de aplanación del tonómetro. La paquimetría se realizó en el centro de la córnea y sin dilatación pupilar. Antes de la realización de las tomas, se aplicaba en el ojo a estudiar una gota de oxibuprocaina 0,5% con fluoresceína sódica 0,25% en el caso del TG y una gota de oxibuprocaina 0,5% con tetracaína en el caso del TCD y la paquimetría de contacto. El orden de las mediciones fue aleatorio.

Para el análisis estadístico se ha utilizado el programa Intercooled Stata 9.1 para Windows (StataCorp LP, Tejas, EEUU). Se han empleado test no paramétricos en caso de variables con distribución significativamente distinta a la normal (PIO y APO), calculando medianas y rangos intercuantílicos. En el caso del GCC la distribución sigue una curva normal, por lo que se emplearon media y desviación estándar. Para la comparación de la PIO entre los distintos tonómetros se ha utilizado el test de Wilcoxon. El estudio de la relación de la APO, GCC y tonometría se ha realizado con el análisis de correlación de Spearman. Para la representación gráfica se han empleado gráficos de cajas de la PIO en función del tonómetro utilizado, gráficos de Bland-Altman con ajuste por tendencia para la comparación de mediciones de PIO (2 a 2) y gráficos con suavizado Lowess para la relación entre la APO, GCC y PIO con los distintos tonómetros.

Resultados

El estudio incluyó a 60 pacientes (101 ojos), siendo 27 mujeres y 33 hombres con una edad media de 59,2 años (31-86 años).

La PIO mediana con TG fue de 22 mmHG (RIC: 22-24), con TCD de 28,2 mmHg (RIC: 24,1-30,7) y con NT de 24 mmHg (RIC: 22-26) (fig. 1). Tanto NT como Pascal encontraron PIO más elevadas que TG de forma significativa, con un estadístico z en el test de Wilcoxon de 3,625 y 6,838 respectivamente ($p < 0,001$), siendo la diferencia de medianas entre TG y NT de 2,0 y de 6,2 mmHg entre TG y TCD. Para rangos entre 20-24 mmHg las

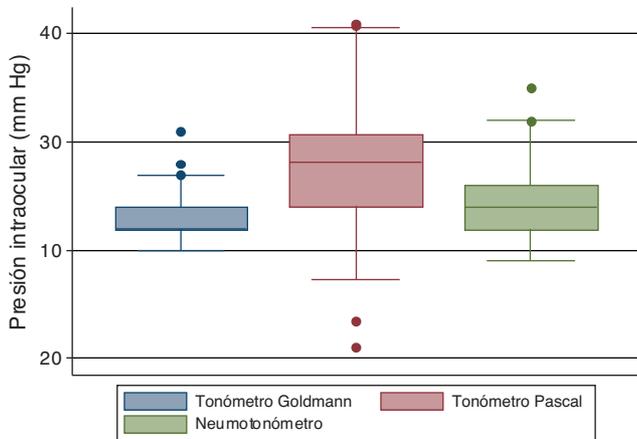


Figura 1 – Representación gráfica (box plot) de la presión intraocular (mmHg) en función del tonómetro utilizado para su medición.

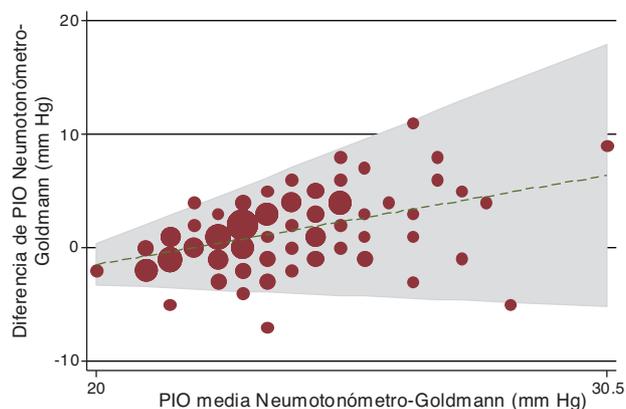


Figura 2 – Representación gráfica (gráfico de Bland-Altman) de la diferencia en la medición de la presión intraocular entre el tonómetro de aplanación de Godmann y el neumotonómetro. Se observa un incremento proporcional de la diferencia entre ambos tonómetros al incrementarse el valor de la presión intraocular, dando el neumotonómetro valores cada vez más altos.

mediciones entre TG y NT fueron similares, sin embargo la diferencia se incrementa proporcionalmente al incrementarse el valor de la PIO, dando el NT valores cada vez más altos que el TG (fig. 2). Las mediciones con TCD tienen tendencia a ser mayores que con TG y NT, siendo de magnitud moderada en rangos bajos de PIO. Lo que llama más la atención es la gran variabilidad de las mediciones con TCD, incluso en valores bajos de PIO (encontrándose diferencias de hasta +/- 10 mmHg con el TG o NT) (figs. 3-4).

El GCC medio fue de 594,6 μm (DE 30,0). Si valoramos la PIO tomada con los distintos tonómetros en función del GCC, la única asociación estadísticamente significativa la encontramos con el TG ($r: 0,209$; $p = 0,036$). Esta relación es de magnitud similar, aunque sin ser significativa con el TCD ($r: 0,195$; $p = 0,051$). No se encuentra asociación entre GCC y NT ($r: 0,15$; $p = 0,12$) (fig. 5: 5 a-c).

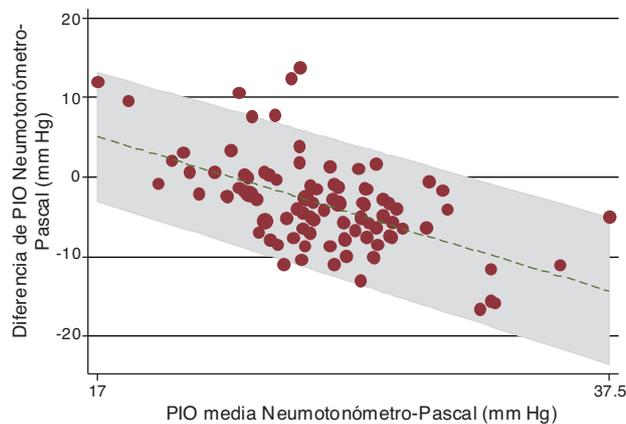


Figura 3 – Representación gráfica (gráfico de Bland-Altman) de la diferencia en la medición de la presión intraocular entre el tonómetro de contorno dinámico y el neumotonómetro. Se observa una gran variabilidad en las mediciones con tonómetro de contorno dinámico.

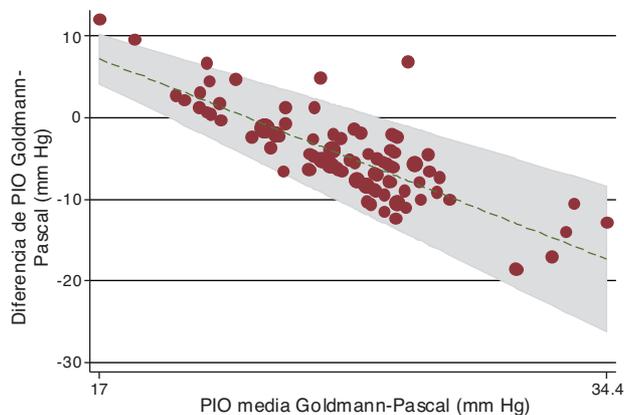


Figura 4 – Representación gráfica (gráfico de Bland-Atman) de la diferencia en la medición de la presión intraocular entre el tonómetro de contorno dinámico y el tonómetro de aplanación de Godmann.

La mediana de la APO fue de 4,8 mmHg (RIC: 3,6-6,1). Cuanto mayor es la PIO mayor es la APO. Esta relación es más evidente y solo estadísticamente significativa con el TG ($r: 0,38$; $p < 0,001$), no siendo significativa para NT y TCD ($r: 0,067$; $p = 0,5$ y $r: 0,17$; $p = 0,08$ respectivamente) (fig. 6: 6 a-c). Se encuentra también una asociación significativa entre APO y GCC ($r: 0,287$; $p = 0,004$).

Discusión

Los pacientes con HTO se definen como aquellos que presentan una PIO ≥ 21 mmHg sin alteraciones en disco óptico o campo visual. Suelen asociar un GCC mayor de la media (normalmente $> 580 \mu\text{m}$) y es esta la característica que puede hacernos errar en su diagnóstico, ya que como es bien sabido el TG tiende a sobrestimar la PIO cuando el GCC es elevado⁵⁻⁹. Sin embargo, y se ha descrito de forma repetida, el TCD se ve menos afectado por el GCC y otras características corneales¹⁰⁻¹³.

En nuestro trabajo uno de los objetivos era determinar la PIO tomada con diferentes tonómetros (TG, TCD, NT) en pacientes con HTO. En la mayoría de los estudios en pacientes sanos o con glaucoma, la PIO obtenida con TCD es mayor siempre que la obtenida con TG o NT, pero existe gran controversia sobre esta asociación en pacientes con HTO^{4,14}. Autores como Chungkwon et al. observaron que en pacientes con PIO > 30 mmHg, la PIO con TCD era menor que con TG, y Barleon et al. encontraron la misma asociación para pacientes con PIO ≥ 25 mmHg^{15,16}. Sin embargo, Milla et al. describen con TCD una PIO media de 5,5 mmHg mayor que con TG, viéndose esta diferencia incrementada en valores de PIO mayores¹⁷. En nuestro trabajo encontramos PIO más elevadas con NT y TCD (diferencia de medianas de 2,0 y de 6,2 mmHg al comparar con TG respectivamente), y al igual que Milla et al. encontramos que para rangos entre 20-24 mmHg las mediciones entre TG y NT son similares y la diferencia entre TCD y TG moderada, y sin embargo para valores mayores, la diferencia se incrementa proporcionalmente al incrementarse el valor de la PIO.

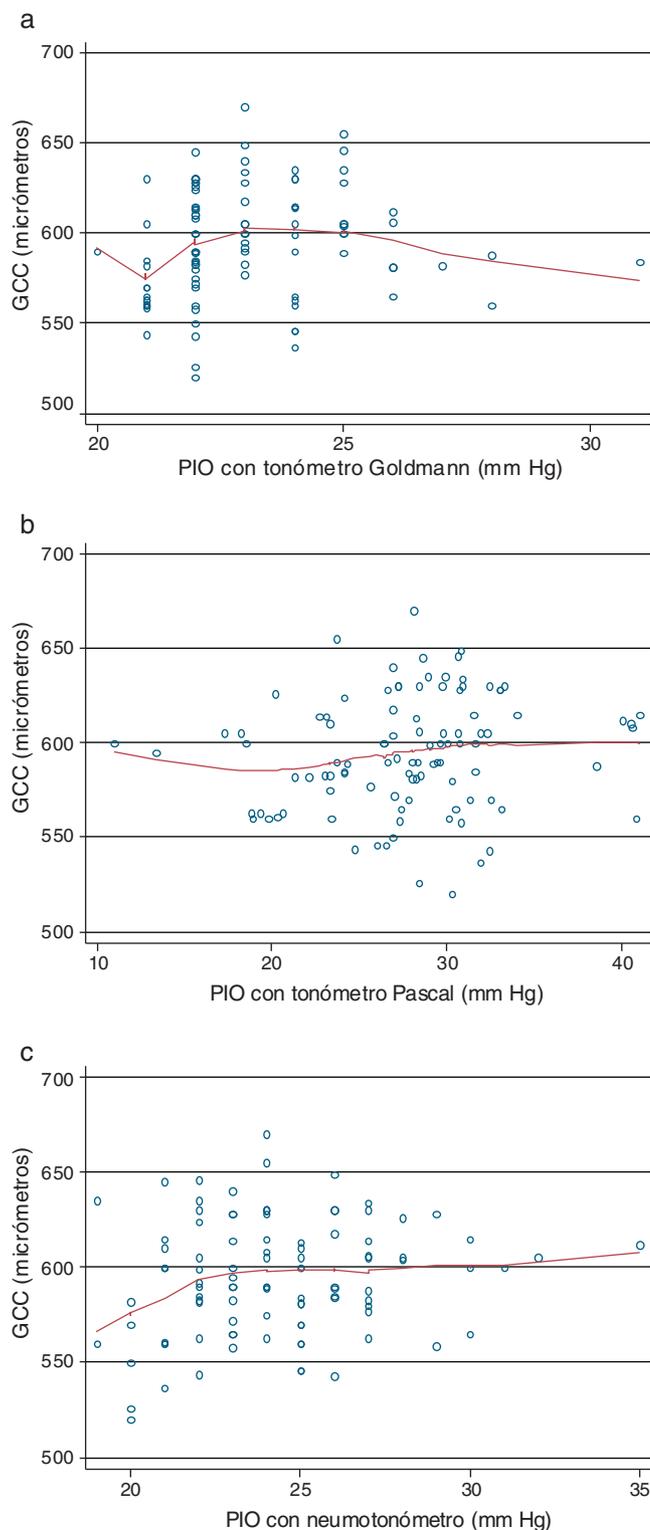


Figura 5 – a-c Representación gráfica (gráficos suavizado de Lowess) de la asociación entre la medición de la presión intraocular con los distintos tonómetros y el grosor central de la córnea.

Si valoramos la PIO tomada con los distintos tonómetros en función del GCC, encontramos en la mayoría de los estudios que para córneas con GCC medio ($520-579 \mu\text{m}$) no hay prácticamente diferencias entre el TG, NT y TCD y que el TG tiende a infraestimar la PIO en córneas delgadas ($\leq 520 \mu\text{m}$) y a

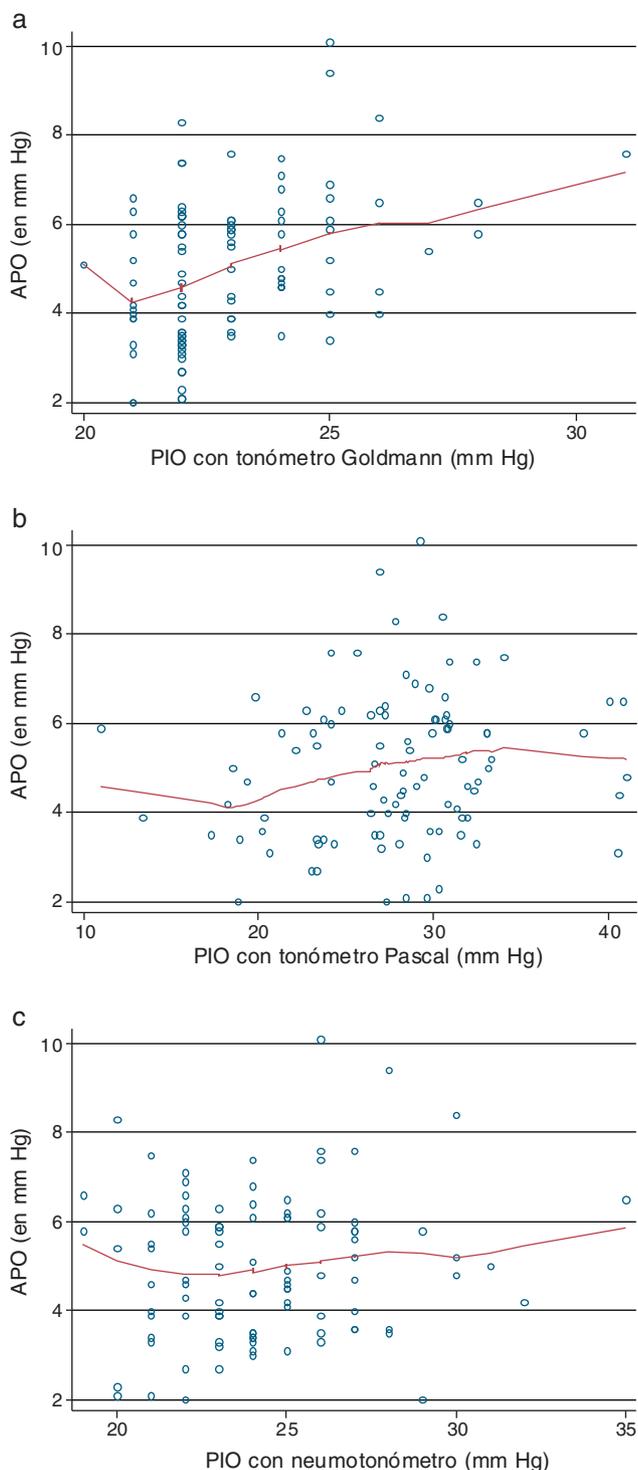


Figura 6 – a-c Representación gráfica (gráficos suavizado de Lowess) de la asociación entre la medición de la presión intraocular con los distintos tonómetros y la amplitud del pulso ocular.

sobrestimarla en córneas gruesas ($\geq 580 \mu\text{m}$), viéndose influenciado en mayor medida que el TCD por el GCC^{10,13,18}. Otro de los objetivos de nuestro estudio fue observar la influencia del GCC elevado en los distintos tonómetros. Erickson et al. encontraron que en los individuos con córneas

$\geq 580 \mu\text{m}$ la PIO obtenida con TG era significativamente mayor que la obtenida con TCD (1,19 mmHg; $p < 0,005$), incluso encontrado diferencias de $\geq 3 \text{ mmHg}$ en algunos de ellos¹⁹. En el grupo de pacientes con HTO de Punjabi et al., al irse incrementando el GCC, la PIO con TCD sufrió un leve descenso ($r: -0,37$; $p = 0,25$) y la PIO con TG, un incremento no significativo ($r: 0,14$; $p = 0,09$)⁴. Doyle y Lachkar observaron que para córneas delgadas el TCD era independiente sin embargo para córneas gruesas se veía también influenciado, no mostrando por tanto ningún beneficio con respecto al TG²⁰. Ku et al. encontraron una gran disparidad en córneas gruesas entre el TG y TCD²¹. Wang et al. observaron una correlación positiva y significativa entre TG y TCD con GCC²². En nuestro estudio hemos trabajado con una media de GCC de $594,6 \mu\text{m}$, encontrando una asociación estadísticamente significativa entre el TG y el GCC ($r: 0,209$; $p = 0,036$) y una relación de similar magnitud, aunque sin ser significativa, con el TCD ($r: 0,195$; $p = 0,051$). Sin embargo, no ha habido asociación entre GCC y NT ($r: 0,15$; $p = 0,12$). La gran disparidad de resultados en los estudios con pacientes que presentan GCC elevado nos hace más complicado el correcto diagnóstico de HTO.

La APO es un parámetro que puede llegar a ser útil en el manejo clínico del glaucoma. Algunos trabajos incluso describen que una APO incrementada se relaciona con un grado menor de severidad de glaucoma, así como una APO baja es un parámetro de detección y monitorización en pacientes con glaucoma normotensional^{3,23}. Puede verse afectada por parámetros corneales como la curvatura, el GCC o la elasticidad de las paredes del globo ocular, así como por el flujo sanguíneo^{1,2,4,14,24}. En nuestro trabajo hemos querido determinar la APO en pacientes con HTO, así como la posible influencia que tienen en su medición el GCC y la PIO.

Parece que queda claro que en los pacientes con HTO la APO es mayor que en pacientes normales o con glaucoma^{4,23}. Punjabi et al. encontraron una APO de 3,61 en HTO frente a 2,86 mmHg en el grupo control⁴. En nuestro trabajo la APO mediana fue de 4,8 mmHg.

La mayoría de los estudios encuentran una relación positiva entre la APO y la PIO en individuos normales^{4,14,15,17}. Kaufmann et al. describen un ascenso de 0,12 mmHg de APO por cada 1 mmHg de PIO ($p < 0,001$)¹⁴. Lo que no queda tan clara es si esta relación también es positiva en individuos con HTO. Punjabi et al. no encontraron un incremento de la APO con la PIO en este grupo de pacientes⁴. En nuestro estudio, sin embargo, hemos encontrado una relación entre la PIO y la APO que resulta estadísticamente significativa al medir la PIO con el TG. Chungkwon et al. encontraron también una disminución de la APO al hacerlo la PIO tras tratamiento hipotensor en un grupo de pacientes con PIO $> 30 \text{ mmHg}$, pero este trabajo no es extrapolable a la población de HTO ya que también incluyó pacientes con diferentes grados de glaucoma¹⁵.

También existe controversia en cuanto a la relación de la APO y el GCC. Kauffmann et al. y Weizer et al. encuentran esta asociación positiva ($p = 0,08$ y $p \leq 0,01$, respectivamente)^{3,14}, mientras que Punjabi et al. encuentran esta relación negativa, sugiriendo que las córneas más delgadas podrían sobrestimar la APO ya que infraestiman la PIO diastólica⁴. En nuestro trabajo hemos encontrado una relación positiva y claramente significativa entre APO y GCC ($r: 0,287$; $p = 0,004$).

Al contrario de lo que ocurre en pacientes sanos o con glaucoma, donde la asociación entre los distintos tonómetros y la influencia de la paquimetría y la APO parece más clara, en los pacientes con HTO estas relaciones son más controvertidas. El hecho de que presenten PIO y GCC más extremas hace más difícil su estudio y su correcto diagnóstico. Tampoco queda claro el significado clínico del hecho de que este tipo de pacientes presente una APO más elevada. Sería necesaria la realización de más estudios y de trabajos con manometría en vivo para comparar correctamente la relación entre TCD, TG y NT y su asociación con parámetros como el GCC y la APO.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

- Kanngiesser HE, Kniestedt C, Robert YD. Dynamic contour tonometry; presentation of a new tonometer. *J Glaucoma*. 2005;14:344-50.
- Fogagnolo P, Figus M, Frezzotti P, Lester M, Oddone F, Zeppieri M, et al. Test-retest variability of intraocular pressure and ocular pulse amplitude for dynamic contour tonometry: a multicentre study. *Br J Ophthalmol*. 2010;94:419-23.
- Weizer JS, Asrani S, Stinnet SS, Herndon LW. The clinical utility of dynamic contour tonometry and ocular pulse amplitude. *J Glaucoma*. 2007;16:700-3.
- Punjabi OS, Ho HKV, Kniestedt C, Bostrom AG, Stamper RL, Lin SC. Intraocular pressure and ocular pulse amplitude comparisons in different types of glaucoma using dynamic contour tonometry. *Curr Eye Res*. 2006;31:851-62.
- Brandt JD. Corneal thickness in glaucoma screening, diagnosis, and management. *Curr Opin Ophthalmol*. 2004;15:85-9.
- Johnson M, Kass MA, Moses RA, Grodzki WJ. Increased corneal thickness simulating elevated intraocular pressure. *Arch Ophthalmol*. 1978;96:664-5.
- Stodtmeister R. Applanation tonometry and correction according to corneal thickness. *Acta Ophthalmol Scand*. 1998;76:319-24.
- Withacre MM, Stein RA, Hassanein K. The effect of corneal thickness on applanation tonometry. *Am J Ophthalmol*. 1993;115:592-6.
- Withacre MM, Stein R. Sources of error in the use of Goldmann-type tonometers. *Surv Ophthalmol*. 1993;38:1-30.
- Bhan A, Browning AC, Shah S, Hamilton R, Dave D, Dua HS. Effect of corneal thickness on intraocular pressure measurements with the pneumotonometer, Goldmann applanation tonometer and Tono-Pen. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2002;43:1389-92.
- Pache M, Wilmsmeyer S, Lautebach S, Funk J. Dynamic contour tonometry versus Goldmann applanation tonometry: a comparative study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2005;243:763-7.
- Kniestedt C, Kanngiesser H, Stamper RL. Assessment of Pascal dynamic contour tonometer in monitoring IOP after LASIK. *J Cataract Refract Surg*. 2005;31:458-9.
- Kniestedt C, Nee M, Stamper RL. Accuracy of dynamic contour tonometry compared with applanation tonometry in human cadaver eyes of different hydration states. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2005;243:359-66.
- Kaufmann C, Bachmann LM, Robert YC, Thiel MA. Ocular Pulse Amplitude in healthy subjects as measured by dynamic contour tonometry. *Arch Ophthalmol*. 2006;124:1104-8.
- Chungkwoon Y, Young SE, Yong YK. Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry in eyes with elevated intraocular pressure: comparison in the same eyes after subsequent medical normalization of IOP. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2010;248:1611-6.
- Barleon L, Hoffmann EM, Berres M, Pfeiffer N, Grus FH. Comparison of dynamic contour tonometry and goldmann applanation tonometry in glaucoma patients and healthy subjects. *Am J Ophthalmol*. 2006;142:583-90.
- Milla E, Duch S, Buchacra O, Masuet C. Poor agreement between Goldmann and Pascal tonometry in eyes with extreme pachymetry. *Eye*. 2009;23:536-42.
- Kaufmann C, Bachmann LM, Thiel MA. Comparison of dynamic contour tonometry with Goldmann applanation tonometry. *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 2004;45:3118-21.
- Erickson DH, Goodwin D, Rollins M, Belaustegui A, Anderson C. Comparison of dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry and their relationship to corneal properties, refractive error, and ocular pulse amplitude. *Optometry*. 2009;80:169-74.
- Doyle A, Lachkar Y. Comparison of dynamic contour tonometry with Goldmann applanation tonometry over a wide range of central corneal thickness. *J Glaucoma*. 2005;14:288-92.
- Ku JY, Danesh -Meyer HV, Craig J, Gamble GD, McGhee CN. Comparison of intraocular pressure measured by Pascal dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry. *Eye*. 2006;20:191-8.
- Wang J, Cayer MM, Descovich D, Kamdeu-Fansi A, Harasymowycz PJ, Li G, et al. Assessment of factors affecting the difference in intraocular pressure measurements between dynamic contour tonometry and goldmann applanation tonometry. *J Glaucoma*. 2011;20:482-7.
- Schmidt KG, Rückmann A, Mittag TW. Ocular pulse amplitude in ocular hypertension and open-angle glaucoma. *Ophthalmologica*. 1998;212:5-10.
- Schwenn O, Troost R, Vogel A, Grus F, Beck S, Pfeiffer N. Ocular pulse amplitude in patients with open angle glaucoma, normal tension glaucoma, and ocular hypertension. *Br J Ophthalmol*. 2002;86:981-4.