

ARCHIVOS DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE OFTALMOLOGÍA

www.elsevier.es/oftalmologia



Artículo original

Concordancia entre la tonometría de aplanación de Goldmann y la tonometría de contorno dinámico: efectos de la morfometría corneal

F. Sáenz-Francés*, R. García-Catalán, M. Jerez-Fidalgo, A. Fernández-Vidal, J.M. Martínez-de-la-Casa, C. Méndez-Hernández, E. Santos-Bueso, J. Reche-Frutos, J. García-Sánchez y J. García-Feijoo

Hospital Clínico Universitario San Carlos, Instituto de Investigaciones Oftalmológicas Ramón Castroviejo, Universidad Complutense, Madrid, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 3 de agosto de 2010

Aceptado el 15 de abril de 2011

On-line el 19 de julio de 2011

Palabras clave:

Glaucoma

Tonometría de contorno dinámico

Tonometría de aplanación de

Goldmann

RESUMEN

Objetivos: Determinar la concordancia entre la presión intraocular (PIO) medida mediante tonometría de aplanación de Goldmann (TAG) y tonometría de contorno dinámico (TCD).

Métodos: La PIO se midió mediante TAG y TCD en 63 ojos de 63 voluntarios sanos. La concordancia se determinó mediante coeficiente de correlación intraclass (CCI). Se empleó el método de Passing-Bablok para establecer la presencia de sesgos proporcionales y/o sistemáticos. El análisis de regresión multivariable se empleó para determinar si las diferencias estaban condicionadas por la potencia de los ejes mayor y menor de la córnea, por su orientación, por el grosor corneal central (GCC) y por la edad.

Resultados: El CCI fue 0,57 (intervalo de confianza [IC] al 95%: 0,29-0,74). La diferencia media entre los dos instrumentos fue 1,68 mmHg (TCD menos TAG) (IC 95%: 0,92-2,44). El análisis de Passing-Bablok (X=DCT, Y=GAT) reveló la presencia de un sesgo sistemático (A=-14,35, IC 95%: -24,51-[-9,14]) y otro proporcional (B=1,74, IC 95%: 1,43-2,26). El análisis de regresión multivariable mostró una total independencia del TCD de las características corneales mientras que la TAG estaba afectada por el GCC (B=0,042 CI 95%: 0,002-0,082).

Conclusiones: La TCD se mostró independiente de las características morfométricas de la córnea mientras que la TAG se afectó por el GCC.

© 2010 Sociedad Española de Oftalmología. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: federicoenzafrancesb@gmail.com (F. Sáenz-Francés).

Comparison of Goldmann applanation and dynamic contour tonometry measurements: effects of corneal morphometry

A B S T R A C T

Keywords:

Glaucoma
Dynamic contour tonometry
Goldmann applanation
tonometry

Objectives: To compare intraocular pressure (IOP) measurements made by Goldmann applanation tonometry (GAT) and dynamic contour tonometry (DCT).

Methods: IOPs were measured by GAT and DCT in 63 eyes of 63 healthy subjects. A comparison was made by intraclass correlation coefficient. Passing-Bablok plot was constructed to establish the existence of systematic and/or proportional biases. Multivariate regression analysis was used to examine whether the measurements of both instruments were affected by the power of the steepest and flattest corneal axes, their orientation, age or central corneal thickness (CCT).

Results: The intra-class correlations (ICCs) were 0.57 (95% confidence interval (95% CI): 0.29-0.74). Mean differences were 1.68 (DCT minus GAT) (95% CI: 0.92-2.44). Passing-Bablok analysis ($X=DCT$, $Y=GAT$) revealed a systematic bias ($A=-14.35$, 95% CI: -24.51 - $[-9.14]$) and a proportional bias ($B=1.74$, 95% CI: 1.43 - 2.26). Multivariate regression analysis revealed that the DCT was independent of the corneal characteristics analysed while GAT was biased by CCT ($B=0.042$, 95% CI: 0.002 - 0.082).

Conclusions: While GAT was biased by corneal CCT; DCT readings were independent of corneal morphometry.

© 2010 Sociedad Española de Oftalmología. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La presión intraocular (PIO) es el principal factor de riesgo para el desarrollo y progresión del glaucoma; además es el único factor sobre el cual, una intervención terapéutica, ha demostrado mejorar el control de la enfermedad¹. La tonometría de aplanación de Goldmann (TAG) constituye hoy día, el *gold standard* en la medida de la PIO si bien, sus medidas están condicionadas por diversas características morfológicas de la córnea, tales como el grosor corneal central (GCC), potencia de los ejes mayor y menor y su orientación^{2,3}.

En los últimos años, se han desarrollado nuevos instrumentos de medida de la PIO que pretenden salvar los condicionantes a los que están sometidos los resultados de la TAG; entre estos destacan el tonómetro de rebote, el analizador de respuesta ocular y, el que nos ocupa, el tonómetro de contorno dinámico (TCD) o tonómetro de Pascal⁴.

El TCD posee un tip similar al cono del TAG, dotado de una superficie cóncava diseñada para adaptarse a la superficie corneal, manteniendo su forma y curvatura para así provocar una mínima distorsión corneal, a diferencia de lo que sucede durante la aplanación en la TAG. Un sensor digital integrado en la superficie de contacto realiza mediciones transcorneales de la PIO. De esta manera, teóricamente las mediciones de la TCD serían independientes de las características corneales que sí afectan a la TAG⁴.

El objetivo del presente estudio es evaluar la concordancia entre la TAG y la TCD en sujetos normales, así como determinar la influencia del GCC, los radios de curvatura de la córnea y la edad sobre las medidas de los dos tonómetros.

Sujetos, material y métodos

Los voluntarios se reclutaron de entre trabajadores y familiares de pacientes del Hospital Clínico Universitario San Carlos de Madrid, España. Los criterios de inclusión fueron: capacidad para otorgar un consentimiento informado, tener una exploración oftalmológica normal, incluyendo esta PIO menor de 22 mmHg así como ausencia de enfermedad sistémica alguna. El ojo a estudiar en todos los pacientes se decidió mediante aleatorización automática (www.randomization.com).

Se excluyeron aquellos pacientes con historia de cirugía o trauma ocular, o con cualquier alteración corneal que pudiera dificultar una adecuada tonometría de aplanación.

El protocolo del ensayo fue aprobado por el Comité de Ética del Hospital Clínico Universitario San Carlos de Madrid. Todos los pacientes firmaron el consentimiento informado incluido en el antedicho protocolo.

A todos los pacientes se les realizó una exploración oftalmológica completa incluyendo esta: registro de la agudeza visual mejor corregida (escala de logaritmos martesianos), biomicroscopía del segmento anterior, gonioscopia, toma de PIO con tonómetro de aplanación de Goldmann y tonómetro de contorno dinámico, funduscopia, perimetría automatizada Octopus TOP-G1X.

La concordancia se determinó mediante coeficiente de correlación intraclass (CCI). El método de *Passing-Bablok* se utilizó para establecer la presencia de sesgos proporcionales y/o sistemáticos. Se emplearon dos análisis de regresión multivariante, uno para cada tonómetro, para determinar si las medidas de ambos estaban condicionadas por la potencia de los ejes mayor y menor de la córnea, por su orientación, por el grosor corneal central (GCC) y por la edad. En los dos mode-

Tabla 1 – Estadísticos descriptivos de las variables analizadas

	Descripción de las variables					
	Media	Mediana	Desv. estándar	Percentiles		
				25	50	75
Edad	63,52	68,00	16,93	52,00	68,00	78,00
Potencia del eje mayor	44,65	44,60	1,73	43,70	44,60	45,70
Potencia del eje menor	43,17	43,70	3,80	42,70	43,70	44,70
PIO TCD	17,90	18,00	2,70	15,80	18,00	19,70
PIO TAG	16,22	16,00	4,14	14,00	16,00	18,00
GCC	555,08	560,00	31,09	531,00	560,00	575,00

GCC: grosor corneal central; PIO: presión intraocular; TAG: tonometría de aplanación de Goldmann; TCD: tonometría de contorno dinámico.

los se incluyeron como valores predictoras la potencia del eje mayor de la córnea, la del eje menor, la orientación del eje menor categorizada en intervalos de 30° la edad y el grosor corneal central; para elegir la mejor ecuación de regresión, se utilizó como criterio la R² ajustada.

Todos los análisis estadísticos se realizaron empleando el SPSS software versión 15.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, EE.UU.). El test de Kolmogorov-Smirnov se empleó para certificar la normalidad de la distribución de los datos cuantitativos. El nivel de significación estadística exigido fue $p < 0,05$.

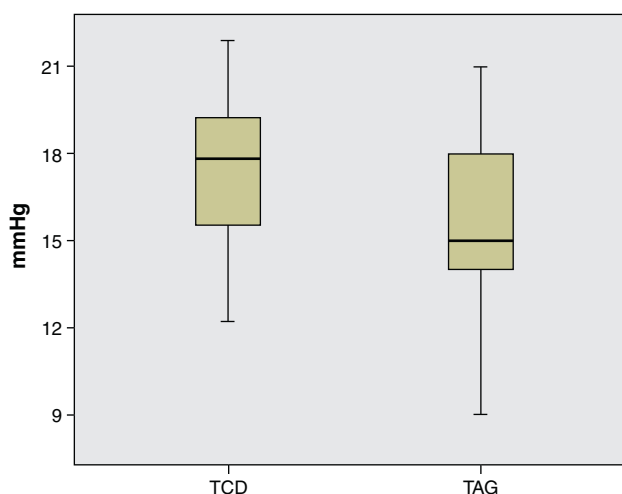
Resultados

Sesenta y tres voluntarios sanos se incluyeron en este estudio; de forma aleatoria (www.randomization.com) se decidió analizar el ojo izquierdo de cada paciente; de los 63 voluntarios, 31 fueron hombres y 32 mujeres, todos ellos caucásicos. Las características de las variables cuantitativas analizadas se recogen en la tabla 1; la orientación del eje menor de la córnea se recoge en la tabla 2; la distribución de la PIO medida mediante los dos tonómetros aparece en la figura 1 y la distribución del GCC en la figura 2.

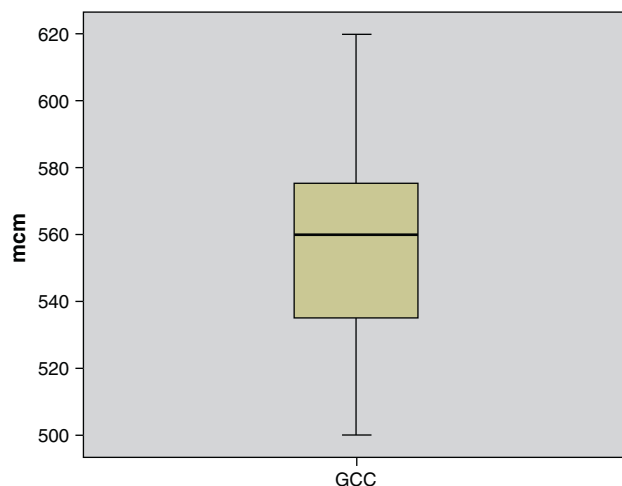
El CCI (acuerdo absoluto) fue 0,57 (intervalo de confianza [IC] al 95%: 0,29-0,74). La diferencia entre las medias de las medidas de los dos instrumentos (t-test para datos pareados) fue 1,68 mmHg (TCD menos TAG) (IC 95%: 0,92-2,44) (fig. 1). El análisis de la recta de regresión de Passing-Bablok (fig. 3) resultado de enfrentar las medidas de la DCT (eje de abscisas) a las medidas de la GAT (eje de ordenadas) reveló la presencia de un sesgo sistemático ($A = -14,35$, CI 95%: $-24,51$ - $[-9,14]$) y otro proporcional ($B = 1,74$, CI 95%: $1,43$ - $2,26$) siendo por tanto, la ecuación de esta recta: $GAT = -14,35 + 1,74 * DCT$.

Tabla 2 – Orientación del eje menor de la córnea

Orientación del eje menor de la córnea		
	Frecuencia	Porcentaje
Sector arco 0°-30°	14	22,2
Sector arco 30°-60°	6	9,5
Sector arco 60°-90°	11	17,5
Sector arco 90°-120°	8	12,7
Sector arco 120°-150°	7	11,1
Sector arco 150°-180°	17	27,0
Total	63	100,0

**Figura 1 – Diagramas de caja de la distribución de la presión intraocular medida mediante tonometría de contorno dinámico y tonometría de aplanación de Goldmann.**

El análisis de regresión multivariable permitió confirmar la ausencia de interacción y de fenómenos de confusión entre las variables predictoras; asimismo, permitió determinar (en base al coeficiente de determinación [R²] ajustada) que la mejor ecuación de regresión para predecir la PIO no incluía ninguna

**Figura 2 – Diagrama de caja de la distribución del grosor corneal central.**

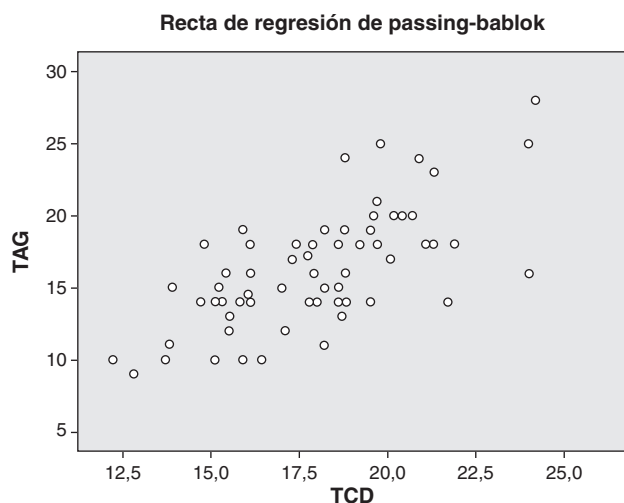


Figura 3 – Regresión de Passing-Bablok entre tonometría de contorno dinámico y tonometría de aplanación de Goldmann.

variable predictora (independencia de las características corneales) para la TCD y solo incluía al GCC en el caso de la TAG (R^2 ajustada=0,11; $p=0,04$; $B=0,042$ CI 95%: 0,002-0,082).

Discusión

Sí bien en el momento actual la TAG es el *gold standard* en la valoración de la PIO, es sabido que ciertas características anatómicas o morfométricas, tales como el GCC o la curvatura corneales, condicionan sus medidas. Diversos estudios han puesto de manifiesto las limitaciones de la TAG, siendo el GCC el principal factor que condiciona sus medidas⁵⁻⁷. La importancia de la paquimetría en el ámbito del glaucoma fue puesta de manifiesto en el *Ocular Hypertension Glaucoma Study* (OHTS) demostrándose que el GCC era un factor predictivo de la conversión de hipertensión ocular (HTO) en glaucoma^{8,9}. Esto, unido a las diferencias de GCC halladas entre las córneas de hipertensos oculares y de pacientes diagnosticados de glaucoma normotensivo, así como a la ineficacia de los nomogramas desarrollados para corregir el efecto de la paquimetría en las medidas de la TAG¹⁰⁻¹², han determinado la necesidad de buscar nuevos sistemas de tonometría más independientes del GCC y otros parámetros morfométricos corneales.

El TCD ha sido ampliamente analizado en diversos estudios habiéndose comprobado que se trata de un tonómetro altamente reproducible^{4,13,14}. La relación de la TCD con la TAG ha sido también ampliamente estudiada; así, a diferencia de nuestros resultados, Realin T et al.¹⁵ compararon las medidas de la TAG y TCD en poblaciones de normales y glaucomatosos encontrando en la primera, una correlación débil entre la TAG y el GCC pero independencia de la TCD; en los glaucomatosos, estos autores no encontraron relación de las medidas de la TAG con el GCC pero sí una débil asociación inversa entre la TCD y la paquimetría. Lanza M et al.¹⁶ encontraron que las diferencias entre las medidas de los dos instrumentos estaban afectadas por el GCC pero no por los radios corneales. Jordao ML et al.¹⁷, en una muestra de sujetos normales, encontraron

una correlación fuerte entre el GCC y la TAG y, a diferencia de lo observado por nosotros, una correlación débil entre la TCD y el GCC. Halkiadakis I et al.¹⁸, sorprendentemente, no encontraron correlación entre el GCC con la TAG y la TCD en una población de pacientes glaucomatosos e hipertensos oculares. Hamilton KE et al.¹⁹ encontraron una correlación débil entre las diferencias entre TAG y TCD con los cambios en el grosor corneal derivados del edema secundario al uso de lentes de contacto (las variaciones de GCC con relación al uso de las lentes de contacto presentaban una media de 48,3 μm DE 14,4 μm). Milla E et al.²⁰ encontraron que la concordancia óptima (CCI de 0,54) entre los dos instrumentos, se daba con GCC entre 540 y 545 μm pero disminuía drásticamente por fuera de estos valores. Cerruti P et al.²¹, coincidiendo con nuestros resultados, no encontraron correlación entre la TCD y el GCC pero sin embargo, sí observaron que las medidas de este instrumento estaban influidas por la curvatura corneal. Contrariamente a lo anterior, así como a lo observado por nosotros, Grieshaber MC et al.²² observaron similar influencia del GCC sobre la TAG y la TCD.

Como se puede deducir de lo anterior, no existe consenso en la literatura científica acerca de la dependencia de la TCD respecto al GCC y queratometría; aún más, tampoco hay un acuerdo absoluto sobre la relación de la TAG respecto a estos parámetros. Sobre lo que sí existe un consenso generalizado es sobre el hecho de que la TCD tiende a sobreestimar la PIO respecto a la TAG^{4,13-22} hecho verificado en este estudio.

Nuestros resultados relativos al grado de acuerdo entre ambos instrumentos concuerdan con los encontrados en la literatura; en nuestro estudio hemos considerado interesante construir un modelo de regresión multivariante en el cual se incluyen, además de la edad y el grosor corneal central, variables relativas a la queratometría; mediante este modelo hemos podido establecer la ausencia de interacción y efecto confusión entre las variables predictoras consideradas; asimismo, hemos encontrado una independencia total de la TCD respecto al GCC, a las potencias queratométricas, a su orientación y la edad mientras que hemos observado dependencia de las medidas de la TAG a los valores de GCC. Esto sugiere que la TCD se comporta de forma más independiente de las características corneales que la TAG por lo que quizás la primera sería adecuada como nuevo *gold standard*; de asumir esto, sería necesario un cambio en el paradigma de la PIO, teniendo que redefinir el punto de corte entre normalidad y HTO, al ser evidente la sobreestimación del nuevo sistema de tonometría respecto al actual método de referencia.

Financiación

Instituto de Salud Carlos III, "Red Temática de Investigación Cooperativa. Proyecto RD07/0062: Patología ocular del envejecimiento, calidad visual y calidad de vida"

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

BIBLIOGRAFÍA

1. Leske MC. The epidemiology of open-angle glaucoma: a review. *Am J Epidemiol.* 1983;118:166-91.
2. Whitacre MM, Stein R. Sources of error with the use of Goldmann-type tonometers. *Surv Ophthalmol.* 1993;38:1-30.
3. Whitacre MM, Stein RA, Hassanein K. The effect of corneal thickness on applanation tonometry. *Am J Ophthalmol.* 1993;115:592-6.
4. Martínez-de-la-Casa JM, García-Feijoo J, Vico E, Fernández-Vidal A, Benítez del Castillo JM, Wasfi M, et al. Effect of corneal thickness on dynamic contour, rebound, and goldmann tonometry. *Ophthalmology.* 2006;113:2156-62.
5. Argus WA. Ocular hypertension and central corneal thickness. *Ophthalmology.* 1995;102:1810-2.
6. Chatterjee A, Shah S, Bessant DA, Naroo SA, Doyle SJ. Reduction in intraocular pressure after excimer laser photorefractive keratectomy: correlation with pre-treatment myopia. *Ophthalmology.* 1997;104:355-9.
7. Herndon LW, Choudhri SA, Cox T, Damji KF, Shields MB, Allingham RR. Central corneal thickness in normal, glaucomatous, and ocular hypertensive eyes. *Arch Ophthalmol.* 1997;115:1137-41.
8. Kass MA, Heuer DK, Higginbotham EJ, Johnson CA, Keltner JL, Miller JP, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: a randomized trial determines that topical ocular hypotensive medication delays or prevents the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 2002;120:701-13.
9. Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, Heuer DK, Higginbotham EJ, Johnson CA, et al. The Ocular Hypertension Treatment Study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 2002;120:714-20.
10. Doughty MJ, Zaman ML. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and metaanalysis approach. *Surv Ophthalmol.* 2000;44:367-408.
11. Orssengo GJ, Pye DC. Determination of the true intraocular pressure and modulus of elasticity of the human cornea in vivo. *Bull Math Biol.* 1999;61:551-72.
12. Gunvant P, O'Leary DJ, Baskaran M, Broadway DC, Watkins RJ, Vijaya L. Evaluation of tonometric correction factors. *J Glaucoma.* 2005;14:337-43.
13. Herdener S, Hafizovic D, Pache M, Lautebach S, Funk J. Is the PASCAL-Tonometer suitable for measuring intraocular pressure in clinical routine? Long- and short-term reproducibility of dynamic contour tonometry. *Eur J Ophthalmol.* 2008;18:39-43.
14. Herdener S, Pache M, Lautebach S, Funk J. Dynamic contour tonometry (DCT) versus Goldmann applanation tonometry (GAT) - a comparison of agreement and reproducibility. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol.* 2007;45:1027-30.
15. Realini T, Weinreb RN, Hobbs G. Correlation of intraocular pressure measured with goldmann and dynamic contour tonometry in normal and glaucomatous eyes. *J Glaucoma.* 2009;18:119-23.
16. Lanza M, Borrelli M, De Bernardo M, Filosa ML, Rosa N. Corneal parameters and difference between goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry in normal eyes. *J Glaucoma.* 2008;17:460-4.
17. Jordão ML, Pedrosa de Carvalho Lupinacci A, Ferreira EL, Enomoto JJ, Costa VP. Influence of age, central corneal thickness, and quality score on dynamic contour tonometry. *Eye.* 2008;12 [Epub ahead of print].
18. Halkiadakis I, Patsea E, Chatzimichali K, Skouriotis S, Chalkidou S, Amariotakis G, et al. Comparison of dynamic contour tonometry with Goldmann applanation tonometry in glaucoma practice. *Acta Ophthalmol.* 2009;87:323-8.
19. Hamilton KE, Pye DC, Kao L, Pham N, Tran AQ. The effect of corneal edema on dynamic contour and goldmann tonometry. *Optom Vis Sci.* 2008;85:451-6.
20. 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.
21. Ceruti P, Morbio R, Marraffa M, Marchini G. Comparison of Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry in healthy and glaucomatous eyes. *Eye.* 2009;23:262-9.
22. Grieshaber MC, Schoetzau A, Zawinka C, Flammer J, Orgul S. Effect of central corneal thickness on dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry in primary open-angle glaucoma. *Arch Ophthalmol.* 2007;125:740-4.