

**Intraocular pressure measurement with Goldmann,
Pascal and ORA tonometers.**

Comparación en la Medición de Presión Intraocular con los Tonómetros de Goldmann, Pascal® y ORA (Ocular Response Analyzer)

¹Magda L. Gil MD

²Guillermo Marroquín MD

³María del Rosario Guzmán MD

⁴Helena Coy Villamil MD

⁴María Fernanda Rodríguez MD

Recibido 16/11/2015

Aceptado 27/12/2015

Resumen

Introducción: El glaucoma es la principal causa de ceguera irreversible en el mundo, siendo la presión intraocular alta el factor de riesgo más importante para desarrollarlo, por eso la importancia de realizar una adecuada medición de la presión intraocular (PIO) durante el examen oftalmológico.

Objetivo: Evaluar la concordancia de la medida de la presión intraocular tomada con los tonómetros de Goldmann, Pascal® y ORA, en pacientes con glaucoma de la consulta externa

¹ Oftalmóloga, Supraespecialista en Glaucoma.

Servicio de Oftalmología, Hospital San José.

Profesora asistente, Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud.

Dirección: Cll. 10 No 18-75. Teléfono: (571)

3538000 Ext. 141 – 167. Bogotá D.C. Colombia.

e-mail: oftalmologia@hospitaldesanjose.org.co

² Oftalmólogo, Supraespecialista en Neuro-oftalmología y Oftalmología Pediátrica y Estrabismo.

Director Científico HORUS Grupo Oftalmológico.

Bogotá D.C. Colombia.

e-mail: gmarroquin@horusgo.com

³ Oftalmóloga. Servicio de Oftalmología, Hospital San José. Instructora asistente. Fundación Universitaria de

Ciencias de la Salud.

Bogotá D.C., Colombia

⁴ Residente Oftalmología. Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud. Hospital de San José.

Bogotá D.C., Colombia

del servicio de oftalmología del Hospital de San José.

Diseño: Estudio descriptivo, de corte transversal y concordancia.

Métodos: Se compararon las medidas de Goldmann corregido, Pascal® y ORA corregido en 90 pacientes (167 ojos) con diagnóstico de glaucoma que asisten a consulta de oftalmología del Hospital de San José.

Resultados: El coeficiente de correlación y concordancia de Lin entre Goldmann corregido y Pascal® es de 0.61; entre Goldmann corregido y ORA corregido de 0.64 y entre Pascal® y ORA corregido de 0.81.

Conclusiones: Se encontró una concordancia moderada para los tres tonómetros en la medición de la PIO en los ojos con glaucoma del servicio de oftalmología del Hospital de San José. Los tres métodos no son reemplazables, por lo tanto el seguimiento de los pacientes siempre debe ser tomado con un mismo método.

Palabras claves: Presión intraocular; Glaucoma; Tonometría ocular; Goldmann; Pascal; ORA (Ocular Response Analyzer).

Abstract

Introduction: Glaucoma is the leading cause of worldwide irreversible blindness, high intraocular pressure remains the most important risk factor; because of that, it is essential to measure accurately the intraocular pressure (IOP).

Objective: To evaluate the intraocular pressure correspondence of Goldmann-correlated IOP, Pascal® dynamic contour tonometer and Reichert Ocular Response Analyzer ORA tonometers in patients with glaucoma diagnosis at Ophthalmology Service, Hospital de San José.

Design: A descriptive, cross-sectional and matching.

Methods: Measurements of Goldmann correlated IOP, Pascal® and ORA corneal compensated IOP were compared, in patients (167 eyes) diagnosed with glaucoma attending at ophthalmology Hospital San José.

Results: The correlation coefficient and concordance Lin between Goldmann correlated IOP and Pascal® is 0.61; between ORA and Goldmann correlated IOP is 0.64 and between Pascal® and ORA is 0.81.

Conclusions: We found a moderate agreement for the three tonometers for measuring IOP in eyes glaucoma attending at ophthalmology Hospital San José. The three methods are not replaceable, therefore monitoring of patients should always be taken with the same method.

Keywords: intraocular pressure; Glaucoma; Ocular tonometry; Goldmann; Pascal®; ORA (Ocular Response Analyzer).

Introducción

El glaucoma es una neuropatía óptica degenerativa progresiva asociada a cambios estructurales en la cabeza del nervio óptico con

la correspondiente pérdida de campo visual; si no es tratado a tiempo puede progresar a pérdida de la visión ^{1, 2}, siendo la principal causa de ceguera irreversible en todo el mundo y considerándose un problema importante de salud pública.

La Organización Mundial de la Salud, afirma que más de 6,7 millones de personas están ciegas debido a glaucoma.¹ El diagnóstico tardío, con la pérdida de campo visual finalmente lleva al compromiso de visión central; siendo la presión intraocular (PIO) el factor de riesgo más importante para desarrollar esta patología.²

Debido a la importancia de la medición de la PIO en el diagnóstico y control del glaucoma, se considera necesaria su adecuada medición. Existen varios métodos en la práctica clínica para la medición de la PIO, siendo el tonómetro de Goldmann el “*Gold Standard*” y el método más usado en la práctica clínica.^{3,4} Sin embargo, se han visto variaciones con los diferentes métodos entre los cuales se incluyen tonómetro de contorno dinámico (Pascal) y ORA (Ocular Response Analyzer). Las diferencias entre éstos radican en la forma de medición de la PIO y el principio físico que utilizan.⁵

Se conoce que el espesor central de la córnea puede afectar significativamente las mediciones realizadas con tonometría por aplanación de Goldmann, subestimando la PIO en córneas delgadas y sobreestimando la PIO en córneas gruesas^{6-9,20}, por lo cual es importante realizar toma de paquimetría en estos pacientes.

El desarrollo de este estudio es importante para comparar los 3 métodos de medición de PIO, ya que el seguimiento adecuado de los pacientes y el adecuado control de la PIO, disminuirá o evitará posibles complicaciones

tardías y empeoramiento en la calidad de vida los pacientes que padecen esta enfermedad.

Materiales y Métodos

Estudio descriptivo, de corte transversal y concordancia, el cual busca comparar los 3 instrumentos para la medición de presión intraocular: Goldmann, Pascal® y ORA.

Se tomó una muestra de 167 ojos en 90 pacientes con diagnóstico de glaucoma que asistieron a la consulta de oftalmología del Hospital de San José, Bogotá, Colombia.

Se excluyeron aquellos pacientes con glaucoma agudo por tratarse de una urgencia que requiere manejo inmediato, pacientes que asistieron para toma de curva de presión intraocular, pacientes que cursaban con un proceso infeccioso ocular (blefaritis, meibomitis, queratitis), alteraciones de la película lagrimal (ojo seco moderado a severo) y/o alteraciones en córnea (distrofia corneana, cicatriz corneana, edema corneano y queratocono).

El cálculo del tamaño de la muestra, se realizó para el coeficiente de correlación intraclase por medio del programa TAMAMU teniendo en cuenta los siguientes parámetros: Error tipo I: 5%, Coeficiente de correlación intraclase esperado: 0.79 y Nivel de exactitud: 7%; para un total de 163 ojos.

Para la toma de la PIO se usaron los tonómetros de Goldmann, PASCAL® y ORA, adicionalmente se realizó paquimetría a todos los ojos estudiados.

Se registró la información obtenida de la historia clínica en un formato de recolección de datos, utilizando como unidad de análisis cada ojo. La base de datos se realizó en Excel

2007 y el análisis estadístico de la información se realizó en el software Stata13.

Se tomaron los valores corregidos de los métodos para mirar las diferencias promedios entre las mediciones de Goldmann corregido (Goldmann_c) vs Pascal®, Goldmann_c vs ORA corregido (ORA_c) y Pascal® vs ORA_c; se calculó el coeficiente de correlación y concordancia de LIN y se realizaron los gráficos de Bland y Altman. Las variables cualitativas se analizaron con medidas de frecuencia y las variables cuantitativas con medidas de tendencia central y dispersión.

Los pacientes fueron divididos en 3 grupos de acuerdo al valor de paquimetría central usando 520 μm y 550 μm como valores de corte. Se distribuyeron en cada grupo córneas delgadas <521 μm , córneas normales de 521 a 550 μm , córneas gruesas >551 μm .²¹

La presión intraocular tomada por el tonómetro de Goldmann se ajustó según la paquimetría de acuerdo con el algoritmo propuesto por Doughty y Zaman.²⁰ El tonómetro de ORA automáticamente realiza la corrección de acuerdo a las características de la córnea y el valor de la paquimetría.

La toma de la PIO con los 3 tonómetros de Goldmann y Pascal® fueron tomadas por el investigador principal (oftalmólogo supraespecialista en glaucoma) y todas las mediciones con ORA fueron tomadas por las mismas 2 optómetras entrenadas. Las mediciones fueron ciegas e independientes.

La medición de la PIO se realizó con el paciente sentado en reposo previa aplicación de anestésico tópico. La primera toma fue con el tonómetro de Goldmann, seguido de PASCAL® y por último ORA.

Este estudio fue aprobado por el Comité de ética de Investigación con seres humanos (CEISH) del Hospital de San José.

Resultados

Se analizaron 167 ojos de 90 pacientes con diagnóstico de glaucoma, que asistieron a la consulta del Hospital de San José. Las características clínicas y demográficas de los pacientes se resumen en la tabla 1.

Los valores de la toma de presión intraocular para Goldmann_c estuvo entre 4 - 43 mmHg, con un promedio 15.4 mmHg (DE: 5.9); con Pascal® entre 8.6 - 64.2 mmHg, con un promedio de 19.5 mmHg (DE: 8.1) y con ORA_c estuvo entre 5.5 - 66.2 mmHg con un promedio de 19.1 mmHg. (DE: 9.4).

Al evaluar la concordancia entre los tonómetros de Goldmann_c y Pascal®, se halló un coeficiente de correlación y concordancia de Lin de 0.61, con una diferencia promedio de 4.14 mmHg (DE: 5.28 mmHg) y unos límites de acuerdo entre -6.24 y 14.5 mmHg (Figura 1).

Para los tonómetros de ORA_c y Goldmann_c, se halló un coeficiente de correlación y concordancia de Lin de 0.64, con una diferencia promedio de 3.8 mmHg (DE: 5.3 mmHg) y unos límites de acuerdo entre -7.75 y 15.42 (figura 2).

Los tonómetros de Pascal® y ORA_c tuvieron un coeficiente de correlación y concordancia de Lin de 0.81, con una diferencia promedio de 0.3 mmHg (DE: 5.3 mmHg) y unos límites de acuerdo entre -10.09 y 10.69 (Figura 3).

La presión intraocular medida con el tonómetro de Pascal® fue similar a la obtenida con el tonómetro de ORA_c y estas dos fueron más altas que la medida con el tonómetro de Goldmann_c (Figura 4).

Los datos se analizaron por subgrupos según el rango del espesor corneano dado por la Paquimetría como se muestra en las tablas 2, 3 y 4.

Al evaluar la concordancia según Paquimetría entre los tonómetros de Goldmann^c vs ORA^c no se presentaron diferencias en el coeficiente de correlación de Lin para los diferentes grosores de corneas (Tabla 2).

Al comparar los tonómetros de Goldmann^c vs Pascal[®], se encontró una mejor correlación en los pacientes con corneas delgadas, reportando un coeficiente de correlación de Lin de 0.71, sin embargo el IC se presenta de 0.59 a 0.83 (Tabla 3).

Con Pascal[®] vs ORA^c también se encuentra una mayor concordancia en los pacientes con corneas delgadas, con un coeficiente de correlación de Lin de 0.89, pero con un mejor IC de 0.84 a 0.94 (Tabla 4).

Se encontró un mayor número de pacientes con corneas gruesas (71 ojos); el valor de la PIO en estos pacientes mantiene la tendencia ya observada en corneas delgadas y normales, sin embargo se observa una mayor sobreestimación en pacientes con PIO altas con los tonómetros de Pascal[®] y ORA^c. (Figura 5)

Discusión:

La PIO es el factor de riesgo más importante para generar progresión de glaucoma, por lo cual es importante una medición adecuada y veraz con el fin de determinar conductas terapéuticas oportunas para los pacientes con esta patología y evitar consecuencias devastadoras como ceguera irreversible.^{1,2}

En las últimas 4 décadas, la tonometría por aplanación de Goldmann ha sido el “*Gold Standard*” para medir la PIO pero es claro tanto en la literatura como en la práctica médica que la medición con el tonómetro de Goldmann es afectada por espesor corneano.^{3,7-9,11,14,20} Por

este motivo, se han desarrollado instrumentos para determinar la PIO sin que sea afectada por las características de la superficie corneana y además con la propuesta de tener una toma más precisa y veraz.⁶ Así, el tonómetro de Pascal[®] genera ajustes de las lecturas independiente del espesor corneano y el ORA tiene en cuenta los factores que definen las propiedades biomecánicas de la córnea (histéresis corneana y el factor de resistencia de la córnea).

Evaluando el coeficiente de correlación y concordancia de Lin, encontramos una concordancia moderada para los tres tonómetros, lo cual se correlaciona con lo ya reportado en nuestro estudio anterior en el cual se comparó la medición con el tonómetro de Goldmann y Pascal[®].²¹ La diferencia de la toma entre Pascal[®] y ORA fue mínima.

Los valores en la medición de la PIO con Pascal[®] y ORA^c fueron mayores a los encontrados con Goldmann^c, este comportamiento se explica porque la medidas con los tonómetros de Pascal[®] y ORA son independientes del espesor central corneano. Por otro lado, encontramos que los paciente con glaucoma no controlado, los tonómetros de Pascal[®] y ORA^c sobreestiman el valor de la PIO. La diferencia de la toma entre el Pascal[®] y ORA en pacientes controlados y no controlados fue mínima.

Carbonaro F. y cols., realizaron un estudio en 1388 ojos donde se encontró que la PIO medida con ORA y Pascal[®] era significativamente más alta que la medida con Goldmann, similar a lo encontrado en nuestro estudio. También encontraron, que la PIO promedio con los tonómetros de ORA y Pascal[®] fue similar (16.6 ± 3.2 mmHg y 16.9 ± 2.7 mmHg respectivamente). Los tres tonómetros presentaban variaciones similares en la medida, pero Pascal[®] tuvo un coeficiente de variación

más bajo. Con el método de Bland –Altman, los límites de acuerdo para Goldmann y ORA fue de -2.07 a 7.18, entre Goldmann y Pascal® fue de -0.49 a 6.21 y entre Pascal® y ORA fue de -3.01 a 4.85. En nuestros resultados la distribución para los límites de acuerdo fueron más amplios (ver figura 1, 2 y 3).⁶

Sullivan M y cols. reportaron un coeficiente de correlación y concordancia de LIN para el tonómetro de Goldmann de 0.92, para Pascal® de 0.91 y para ORA_c de 0.91 con un intervalo de confianza del 95%. Además, la precisión del valor de la PIO fue mejor con Goldmann seguida por Pascal® y por último ORA, lo que sugiere que estos tres métodos no son intercambiables.¹⁰

Hussien N. y cols. reportaron un promedio de PIO tomada con Goldmann de 14.1 ± 3 mmHg y con ORA de 16.9 ± 3.7 mmHg, siendo la diferencia promedio entre estos dos tonómetros de -2.81 mmHg, por lo que consideraron que los valores de Goldmann no podían ser intercambiables con los tomados por ORA a pesar de la correlación positiva que hay entre los resultados.¹³

Martínez J. y cols. reportaron un valor con ORA mayor que el de Goldmann (24.1 ± 5.2 mmHg y 16.8 ± 3.4 mmHg respectivamente).¹⁵ En nuestro estudio encontramos una mayor sobrestimación de la PIO medida con los tonómetros de Goldmann_c y ORA_c (3.8 mmHg). Al igual que en el estudio de Vandewalle E. y cols. describieron una sobreestimación de la PIO de aproximadamente 3.1 mmHg con Pascal® y de 3,6 mmHg con ORA_c al compararlos con Goldmann en pacientes con glaucoma.¹⁷

A.Shawlun y cols. reportaron una PIO mayor con el tonómetro de Pascal® (promedio de $15,7 \pm 2$ mmHg), seguida por ORA_c (promedio de $15,2 \pm 2,8$ mmHg) y por último Goldmann (promedio

de $13,5 \pm 3,2$ mmHg); además concluyen que Pascal® es más preciso para monitorear la PIO en comparación con Goldmann y ORA.¹⁹

Las mediciones de la PIO con Pascal® y ORA están fuertemente asociadas con la presencia y/o severidad del glaucoma, en comparación con las mediciones con Goldmann^{7,17,19}, sugiriendo por lo tanto que Pascal® y ORA pueden proporcionar valores estimados de PIO más precisos y potencialmente más valiosos en comparación con los valores estimados con las técnicas de tonometría estándar, incluyendo el Goldmann.

A pesar de estos hallazgos, también se ha demostrado que la medición de PIO con Pascal® en córneas sin patología asociada es similar a la medición realizada con Goldmann.^{7,18} Kotecha y cols reportaron un coeficiente de reproducibilidad para Goldmann de 2.2 mmHg, para Pascal® de 2.3 mmHg y para ORA de 4.3 mmHg; y encontraron una diferencia promedio entre Goldmann y Pascal® de 1.7 mmHg y entre Goldmann y ORA de 2 mmHg; concluyendo que con Pascal® hay mejor precisión, siendo el mejor en reproducibilidad y repetibilidad de los tres tonómetros; además sugieren que la presión entre cada tonómetro no es intercambiable.¹⁸

Nosotros encontramos que en pacientes con antecedente de queratoplastia se dificulta la toma de la presión con tonómetro de Pascal®, debido a la irregularidad de la superficie corneana, al igual que con PIO altas. H. Mulero y cols. sugieren que para la toma de la presión intraocular con el tonómetro de Pascal® se necesita un buen contorno de película lagrimal, el cual no se ve en pacientes con ojo seco, astigmatismo elevado y pacientes con antecedente de queratoplastia, sin embargo este método es útil en pacientes con cirugía refractiva debido a que no interviene el grosor de la córnea.⁹

Al realizar la compensación de la medición de la PIO según la paquimetría, las córneas delgadas presentaron resultados similares con los tres tonómetros. En las córneas con grosor normal, la PIO mediana fue más baja con el Goldmann®, seguida por ORAc y luego por Pascal®. Este mismo comportamiento de la PIO mediana es similar en las córneas gruesas.

Conclusiones:

Al comparar Goldmann con ORAc, se evidencia que ORAc sobrestima la PIO, al igual que con el tonómetro de Pascal®.

Consideramos importante la toma adecuada y seguimiento de la presión intraocular en los pacientes con glaucoma, sin embargo se debe tener en cuenta que estos tres métodos no son reemplazables, por lo tanto el seguimiento siempre debe ser realizado con el mismo método.

Agradecimientos

Cesar Piñeros, Estadístico, Asesor Metodológico. División de Investigaciones de la Fundación Universitaria de Ciencias de la Salud.

Gráficas

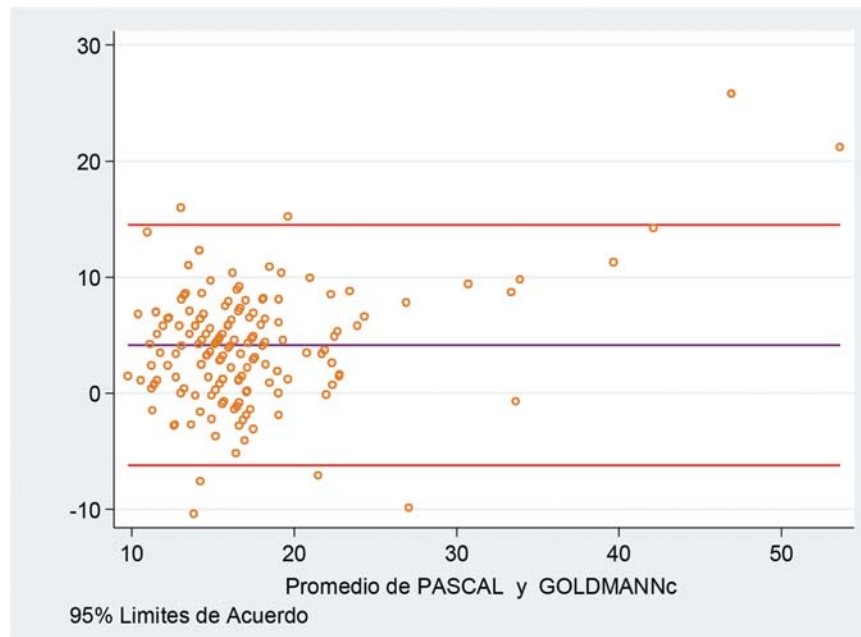


Figura 1. Límites de Acuerdo Bland y Altman. Presión intraocular Pascal® vs Goldmann corregido en ojos con glaucoma.

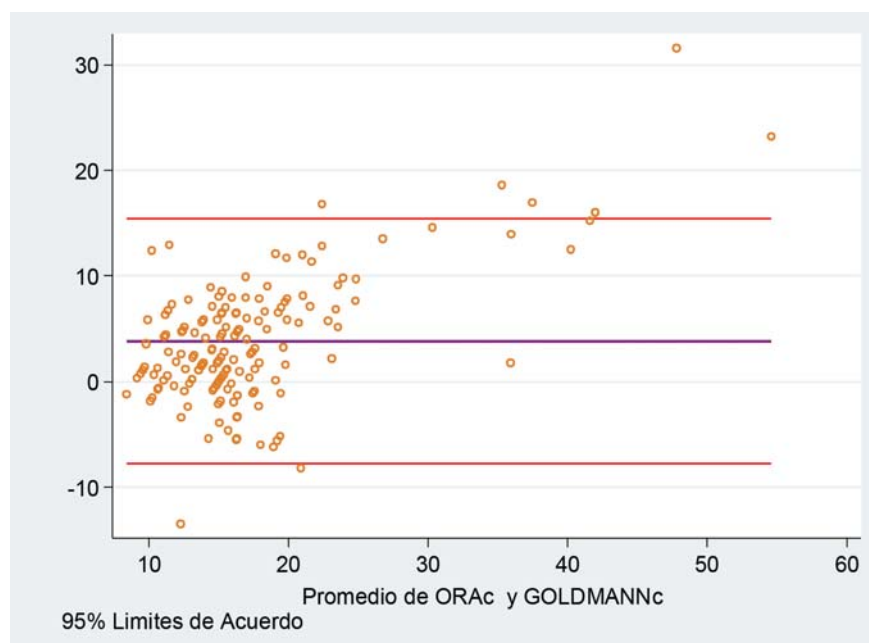


Figura 2. Límites de Acuerdo Bland y Altman. Presión intraocular ORA corregido vs. Goldmann corregido en ojos con glaucoma.

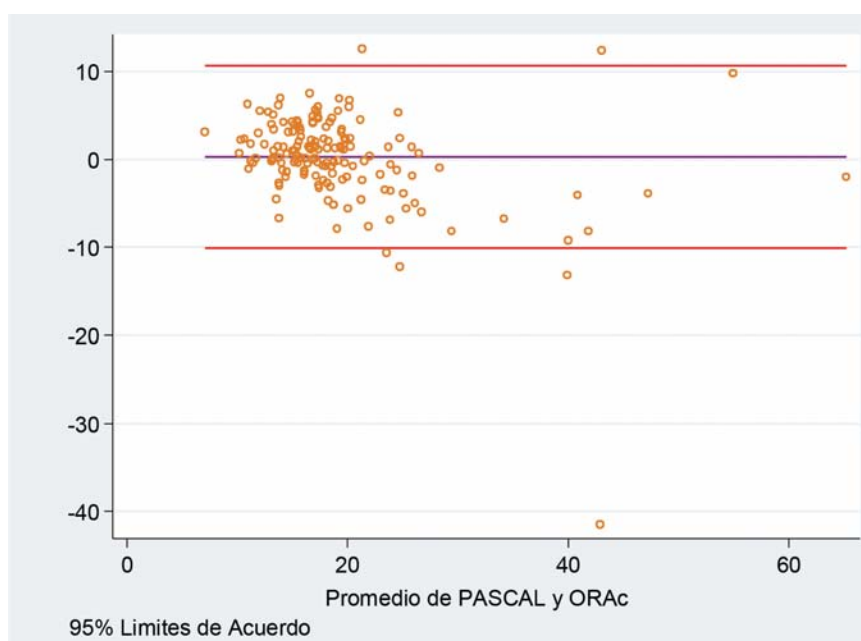


Figura 3. Límites de Acuerdo Bland y Altman. Presión intraocular Pascal® vs ORA corregido en ojos con glaucoma.

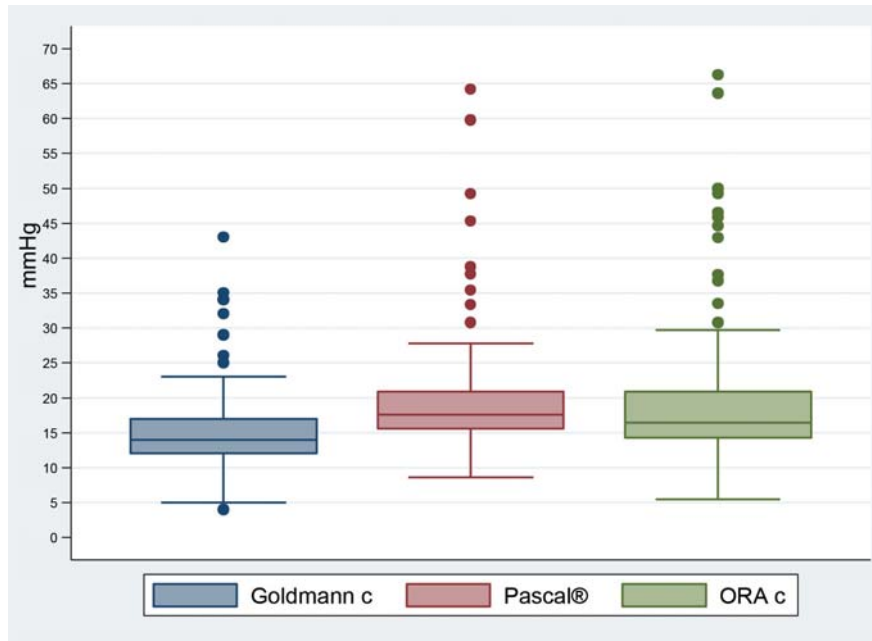


Figura 4. Relación de la PIO con los tonómetros de Goldmannc, Pascal® y ORAc

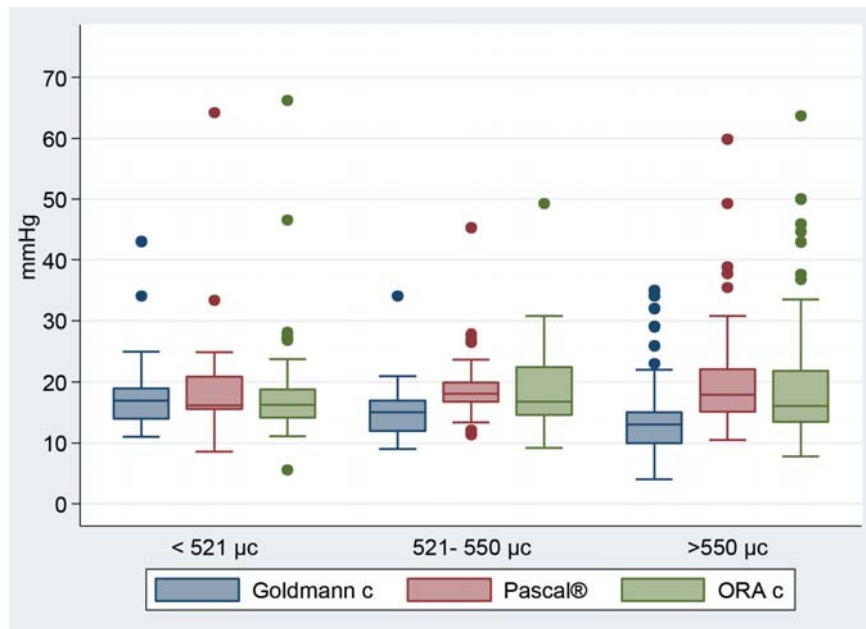


Figura 5. Relación de la PIO con los tonómetros de Goldmannc, Pascal® y ORAc según subgrupos de Paquimetría.

Tablas

		n=167	(%)
Edad, promedio(DE)		66,5	(12.7)
Sexo			
Femenino		75	(44.9)
Tipo de glaucoma			
	GPAA	114	(68.2)
	GPAE	28	(16.7)
	Glaucoma secundario	22	(13.1)
	Glaucoma pediátrico	1	(0.6)
	Glaucoma de presión normal	2	(1.2)
Glaucoma controlado		154	(92.2)
Uso de medicamento		158	(94.6)
Antecedente de Cirugía córnea (Queratoplastia penetrante)		4	(2.4)
PIO > 21mmHg			
	Goldmann _c (22–43 mmHg)	16	(9.5)
	Pascal® (21.2–62.2mmHg)	40	(23.9)
	ORA _c (21.3–66.2 mmHg)	40	(23.9)

Tabla 1. Características sociodemográficas de la población a estudio.

Goldmann corregido Vs. ORAc	Número de ojos	Coefficiente CC de Lin	IC de 95%	Promedio de las diferencias	Límites de Bland y Altman
Paquimetría < 521	49	0.69	0.58 – 0.80	0.82	-10.67 – 12.33
Paquimetría 521 - 550	47	0.56	0.43 – 0.69	3.9	-4.95 – 12.76
Paquimetría > 551	71	0.65	0.55 – 0.74	5.9	- 5.7 – 17.51

Tabla 2. Diferencia promedio y concordancia entre el tonómetro de Goldmann corregido Vs. ORA corregido según Paquimetría

Pascal® Vs. Goldmann corregido	Número de ojos	Coeficiente CC de Lin	IC de 95%	Promedio de las diferencias	Límites de Bland y Altman
Paquimetría < 520	49	0.71	0.59 – 0.83	1.2	-8.74 – 11.15
Paquimetría 521-550	47	0.59	0.46 – 0.73	3.8	-1.98 – 9.64
Paquimetría > 551	71	0.59	0.48 – 0.70	6.36	- 4.67 – 17.41

Tabla 3. Diferencia promedio y concordancia entre el tonómetro de Pascal® Vs. Goldmann corregido según paquimetría.

Pascal® Vs. ORAc	Número de ojos	Coeficiente CC de Lin	IC de 95%	Promedio de las diferencias	Límites de Bland y Altman
Paquimetría < 520	49	0.89	0.84 – 0.94	0.37	-7.26 – 8.01
Paquimetría 521-550	47	0.78	0.68 – 0.88	0.07	-8 – 8.2
Paquimetría > 551	71	0.78	0.69 – 0.87	0.50	-12.63 – 13.64

Tabla 4. Diferencia promedio y concordancia entre el tonómetro de Pascal® Vs. ORA corregido según paquimetría.

Bibliografía

1. Osaki TH, Kasahara N, Della Paolera M, Cohen R, Nishiwaki-Dantas MC. Presentation of glaucoma in an urban tertiary care hospital in South America: legal blindness and prevalence. *Int Ophthalmol* 2010;30:361-6.
2. Kim E, Varma R. Glaucoma in Latinos/Hispanics. *Curr Opin Ophthalmol* 2010;21:100-5.
3. Punjabi OS, Kniestedt C, Stamper RL, Lin SC. Dynamic contour tonometry: principle and use. *Clin Exper Ophthalmol* 2006;34:837-40.
4. ElMallah MK, Asrani SG. New ways to measure intraocular pressure. *Curr Opin Ophthalmol* 2008;19:122-6.
5. Kynigopoulos M, Schlote T, Kotecha A, Tzamalís A, Pajic B, Haefliger I. Repeatability of intraocular pressure and corneal biomechanical properties measurements by the ocular response analyser. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde* 2008;225:357-60.
6. Carbonaro F, Andrew T, Mackey DA, Spector TD, Hammond CJ. Comparison of three methods of intraocular pressure measurement and their relation to central corneal thickness. *Eye (Lond)* 2010;24:1165-70.
7. Salvétat ML, Zeppieri M, Tosoni C, Brusini P. Comparisons between Pascal dynamic contour tonometry, the TonoPen, and Goldmann applanation tonometry in patients with glaucoma. *Acta Ophthalmol* 2007;85:272-9.
8. Kageyama M, Hirooka K, Baba T, Shiraga F. Comparison of ICare rebound tonometer with noncontact tonometer in healthy children. *J Glaucoma*. 2011;20:63-6.
9. Heras-Mulero H, Moreno-Montañés J, Sádaba Echarri LM, Mendiluce Martín L. [Comparison of dynamic contour tonometry (Pascal) with pneumotonometry and Goldmann tonometry]. *Arch Soc Esp Oftalmol* 2007;82:337-41.
10. Sullivan-Mee M, Gerhardt G, Halverson KD, Qualls C. Repeatability and reproducibility for intraocular pressure measurement by dynamic contour, ocular response analyzer, and goldmann applanation tonometry. *J Glaucoma* 2009;18:666-73.
11. Mollan SP, Wolffsohn JS, Nessim M, et al. Accuracy of Goldmann, ocular response analyser, Pascal and TonoPen XL tonometry in keratoconic and normal eyes. *Br J Ophthalmol* 2008;92:1661-5.
12. Bayer A, Sahin A, Hurmeric V, Ozge G. Intraocular pressure values obtained by ocular response analyzer, dynamic contour tonometry, and goldmann tonometry in keratonic corneas. *J Glaucoma* 2010;19:540-5.
13. Bayoumi NH, Bessa AS, El Massry AA. Ocular response analyzer and goldmann applanation tonometry: a comparative study of findings. *J Glaucoma*. 2010;19:627-31.
14. Hager A, Loge K, Schroeder B, Füllhas MO, Wiegand W. Effect of central corneal thickness and corneal hysteresis on tonometry as measured by dynamic contour tonometry, ocular response analyzer, and Goldmann tonometry in glaucomatous eyes. *J Glaucoma* 2008;17:361-5.
15. Martínez-de-la-Casa JM, García-Feijoo J, Fernández-Vidal A, Méndez-Hernández C, García-Sánchez J. Ocular response analyzer versus Goldmann applanation tonometry for intraocular pressure measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2006;47:4410-4.
16. Moreno-Montanes J, Maldonado MJ, García N, Mendiluce L, García-Gómez PJ, Seguí-Gómez M. Reproducibility and clinical relevance of the ocular response analyzer in nonoperated eyes: corneal biomechanical and tonometric implications. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49:968-74.
17. Vandewalle E, Vandenbroeck S, Stalmans I, Zeyen T. Comparison of ICare, dynamic contour tonometer, and ocular response analyzer with Goldmann applanation tonometer in patients with glaucoma. *Eur J Ophthalmol*. 2009;19:783-9.
18. Kotecha A, White E, Schlottmann PG, Garway-Heath DF. Intraocular pressure measurement precision with the Goldmann applanation, dynamic contour, and ocular response analyzer tonometers. *Ophthalmology* 2010;117:730-7.
19. Wang AS, Alencar LM, Weinreb RN, et al. Repeatability and Reproducibility of Goldmann Applanation, Dynamic Contour, and Ocular Response Analyzer Tonometry. *J Glaucoma* 2013;22:127-132.
20. 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.
21. Gil M, Bastidas S, Van Heyl L, Castillo A. Comparación de los tonómetros de Goldmann y Pascal® para la medición de la presión intraocular en una población de Bogotá. Hospital de San José 2009 – 2010. *Rev Soc Col Oftalmol* 2013;46: 23-29.