

Biomecánica corneal y glaucoma

Corneal biomechanical properties and glaucoma

Orlys Jones Romero,^I Pedro Alexei Bacardí Zapata,^{II} Yordanis Páez Candelaria,^{II} Lázaro Ibrahím Romero García,^{II} Yolanda Alba Carcasé,^{III} Karima Maricel Gondres Legró^I

^I Policlínico "Frank País García". Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, Cuba.

^{II} Hospital Provincial Clínico Quirúrgico "Saturnino Lora Torres". Santiago de Cuba, Cuba.

^{III} Hospital Clínico Quirúrgico "Juan Bruno Zayas". Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo conocer los avances más novedosos relacionados con el estudio de las características biomecánicas de la córnea y su posible relación en el diagnóstico del glaucoma. Se realizó una búsqueda en la plataforma Infomed, específicamente en la Biblioteca Virtual de Salud, con el objetivo de conocer los avances más novedosos relacionados con el estudio de las características biomecánicas de la córnea y su posible relación en el diagnóstico del glaucoma. La biomecánica corneal es la facultad de resistencia y flexión simultánea de las moléculas de colágeno en las diferentes capas de la córnea. Trata del equilibrio y de la deformación del tejido corneal sometido a cualquier acción exterior. La histéresis corneal, junto con el factor de resistencia corneal, son medidas que pueden ser proporcionadas por el analizador de respuesta ocular. La existencia de un bajo valor de estas dos medidas pudiera considerarse como un factor de riesgo de progresión en el glaucoma.

Palabras clave: biomecánica corneal; histéresis corneal; glaucoma; espesor corneal central.

ABSTRACT

The purpose of this work is to know the more novel advances related with the study of the biomechanic characteristic of the cornea and its possible relationship in the diagnosis of the glaucoma. A search was made in Infomed platform, particularly in the Virtual Library of Health, to find out the most advanced in the study of the corneal biomechanical properties and its possible relation with the diagnose of glaucoma. Corneal biomechanical is the power of the resistance and flexion simultaneity of collagen molecules of the different corneal layer. It is the balance and deformity of the corneal tissue submitted to an external action. Corneal hysteresis and corneal resistance factor are two corneal biomechanical properties measured by the Ocular Response Analyzer. The existence of a low value of these two properties may be considered as progression factors in glaucoma.

Key words: corneal biomechanical properties; corneal hysteresis; glaucoma; central corneal thickness.

INTRODUCCIÓN

El glaucoma es un grupo de enfermedades que tienen en común una neuropatía óptica característica, producida por la pérdida adquirida de fibras nerviosas y, consecuentemente, con pérdida de campo visual asociada, que se produce fundamentalmente por una presión intraocular (PIO) demasiado elevada para ese ojo en cuestión.¹ Es la segunda causa de ceguera en los países occidentales, tras la catarata, y la primera causa de ceguera irreversible en el mundo desarrollado. Se estima un número de afectados en el mundo de 66,8 millones de personas, de los cuales 6,7 millones presentan ceguera bilateral. En EE.UU. se estima que el 12 % de las cegueras legales que se diagnostican anualmente son por causa del glaucoma y, teniendo en cuenta el rápido envejecimiento de la población, se calcula que en ese país el número de pacientes con glaucoma crónico simple se incrementará un 50 % hasta 3,36 millones en el año 2020.^{2,3}

Cuba no está exenta de esta problemática. La OMS plantea que existen 66 900 ciegos y son el glaucoma crónico simple, la retinopatía diabética, el desprendimiento de retina y la hemorragia vítrea las principales causas de ceguera que afectan a la población.⁴ La etiología del glaucoma es difícil de esclarecer, por lo que se piensa que se trata de una neuropatía óptica en la que el nervio óptico se encuentra sumamente sensible a los efectos deletéreos mecánicos de la presión intraocular (PIO); sin embargo, también hay daño estructural de la malla trabecular y del trabéculo-yuxtacanalicular, así como posiblemente un factor isquémico del nervio óptico. En esta enfermedad no hay síntomas relevantes hasta que ocurre el daño visual, a menudo muy tarde para salvar una vida útil; de ahí la importancia que cobra la PIO alta, excavación aumentada de la papila y alteraciones del campo visual. También su variada forma de presentación hace más difícil un resultado satisfactorio, si tenemos en cuenta que la pérdida de visión es irreversible; que el curso normal de la enfermedad es asintomático en sus fases tempranas, difícil de descubrir, y que las opciones terapéuticas son menos atractivas.^{1,5,6}

Muchos son los factores de riesgo que se plantean en la actualidad, pero el más importante y el único sobre el cual se puede actuar es la PIO. Se citan además la edad, la raza y la historia familiar; se plantean factores sistémicos como los vasoespasmos, la cefalea migrañosa y la diabetes; y factores oculares como la miopía. Más recientemente se habla del espesor corneal central (ECC).^{1,4,5,7-9}

El ECC delgado ha sido postulado como uno de los factores predictivos de desarrollo de glaucoma, lo que se asocia a anomalías del colágeno de estroma y a la lámina cribosa, que en ocasiones conduce a estadios más graves de la enfermedad glaucomatosa y a la ceguera. Pero este factor por sí solo ha sido muy controversial por su diferente comportamiento en distintos estudios,^{1,10} lo que lleva a pensar que el ECC por sí solo no presenta una carga causal importante en el desarrollo de la neuropatía glaucomatosa, sino que pudiera estar relacionado con otras características biomecánicas propias de la córnea.

A pesar de estas consideraciones teóricas y de la elevada prevalencia del glaucoma, aún existen brechas en el cuerpo de conocimiento en el marco de la Oftalmología moderna en cuanto al tema, por lo que se decidió realizar una búsqueda a través de la plataforma Infomed, específicamente la Biblioteca Virtual de Salud, con el objetivo de conocer los avances más novedosos relacionados con el estudio de las características biomecánicas de la córnea y su posible relación en el diagnóstico del glaucoma.

CARACTERÍSTICAS BIOMECÁNICAS DE LA CÓRNEA Y SU POSIBLE RELACIÓN CON EL GLAUCOMA

INFLUENCIA DEL ESPESOR CORNEAL CENTRAL EN LA TONOMETRÍA

Al diseñarse el tonómetro de aplanación, *Goldmann* estaba consciente de que los cambios en el ECC podían alterar la medida de la PIO; pero al constatar en sus estudios que existían pocas variaciones sobre 500 micras de espesor en la población que valoró, no consideró que la variación en los valores de tensión fuera significativa.^{11,12} Más tarde, en los años 70, *Ehlers* y otros¹³ determinaron mediante manometría que la tensión de aplanación de *Goldmann* se ajustaba más a la intracamerular real cuando el ECC era de 520 μ , de forma que las desviaciones de este valor de grosor corneal se traducirían en supra o infraestimaciones de la PIO real.

Posteriormente, varios estudios han intentado relacionar el ECC y el glaucoma, y se ha encontrado que los pacientes diagnosticados de glaucoma de ángulo abierto presentaban un espesor corneal central de aproximadamente 550 μ .¹⁴ Los sujetos considerados hipertensos oculares tenían medidas alrededor de 580 μ y los normotensos de 514 μ . Esto implicaría que el 44 % de los pacientes normotensivos podrían reclasificarse como glaucomas de ángulo abierto y que el 35 % de los hipertensos podrían hacerlo como normales.¹⁵

El estudio multicéntrico OHTS (*Ocular Hipertensión Treatment Study*)¹⁶ ya reconoce el ECC como un factor de riesgo en sí mismo, al concluir que pacientes con córneas cuyo espesor central era inferior a 555 μ tienen mayor riesgo de desarrollar glaucoma, que aquellos con un espesor superior a 588 μ . Pero los resultados de los diferentes estudios son dispares. Los primeros estudios de *Ehlers* mostraron que una desviación de 100 μ de ECC equivalía a unos 7 mmHg de diferencia tensional. El metanálisis de *Doughty* y *Zaman*¹⁶ concluía una equivalencia de 2,2 mmHg por cada 100 μ . Más

recientemente *Medeiros* estima una diferencia de 2,8 mmHg por cada 100 micras de diferencia en ECC.¹⁷

Todo esto ha traído consigo un dilema, ya que el saber la equivalencia de presión en aquellos pacientes con un espesor corneal central alejado de la media es un problema que no se ha aclarado hasta el momento.^{15,18} Todo lleva a pensar que debe existir otro factor corneal, diferente al espesor, capaz de modificar la toma tensional, y que logre explicar por qué la influencia del ECC sigue siendo un tema controvertido.¹⁵

Algunos trabajos plantean la posibilidad de que las propiedades biomecánicas corneales de tipo estructural, no valoradas hasta el momento, pudieran ser las responsables de las modificaciones de las tomas tensionales, ya sea por tratarse de patologías diagnosticadas como queratocono, queratoplastia, ectasias adquiridas o distrofias corneales, o por patología no diagnosticada o alteraciones estructurales subclínicas.^{15,18} Por tanto, ya se sospechaba hace tiempo que las propiedades biomecánicas de la córnea podían influir en los resultados de numerosos procedimientos de medición y de cirugías oculares y que podían guardar cierta relación con el diagnóstico y manejo de diferentes enfermedades oculares como el glaucoma.

Hacer la medición de las propiedades biomecánicas del tejido corneal previamente no había sido posible. Solamente se podían medir aspectos geométricos tales como topografía y paquimetría. Hoy en día el mejor conocimiento de las propiedades biomecánicas de la córnea podría ayudar al diagnóstico y al tratamiento de numerosas patologías.¹⁷

HISTÉRESIS CORNEAL

La biomecánica corneal es entonces, "la facultad de resistencia y flexión simultánea de las moléculas de colágeno en las diferentes capas de la córnea". Es la ciencia que trata del equilibrio y de la deformación del tejido corneal sometido a cualquier acción exterior. Explora la función y la estructura de la córnea, y trata de establecer unas bases fisicomatemáticas que definan a esta.¹⁵

La histéresis, parámetro evaluado en la biomecánica corneal, fue descrito por primera vez en el año 1890 por *James Alfred Ewing* y este la definió como la medida de la absorción de energía de las materias viscoelásticas cuando realizan el ciclo de estrés-relajación o carga-descarga. La histéresis corneal (CH) es un indicador de la capacidad de amortiguación de la córnea. Es la capacidad de absorber y disipar energía. Refleja las propiedades viscoelásticas de la córnea e indica su integridad biomecánica.¹⁵

Muchos experimentos han sido realizados con el propósito de encontrar correlaciones fuertes entre CH y algún otro parámetro ocular como: espesor corneal central, topografía corneal, longitud axial, entre otros. Sin embargo, el hecho de que no haya correlación significativa con ninguno de ellos, es una prueba de que se trata de un nuevo parámetro. En principio, se describe como una propiedad biomecánica independiente de la morfología de la córnea, y sus valores no deberían estar influenciados por la curvatura corneal, el astigmatismo, la longitud axial del globo ocular o la agudeza visual. Estudios sugieren que los pacientes con CH bajas (córneas blandas), son probables candidatos a una variedad de enfermedades oculares.¹⁵

ANALIZADOR DE RESPUESTA OCULAR

La CH, junto con el CRF (factor de resistencia corneal) son medidas que pueden ser proporcionada por el analizador de respuesta ocular (ORA). El CRF, derivado de la histéresis corneal, es un indicador de la resistencia global de la córnea y su formulación inicial por la casa comercial parece estar también relacionada con el ECC.^{15,21}

El ORA (Fig. 1), desarrollado por *Reichert* (Depew, New York, EE.UU.), es un tonómetro de no contacto que proporciona la medida de la presión intraocular y de determinadas propiedades biomecánicas de la córnea como la CH y el CRF. Además, da el valor de la PIO equivalente a la obtenida con el GAT (Tonómetro de Goldmann), y utiliza la CH para obtener un valor de la PIO compensada respecto a la córnea (IOPcc), que se supone no está influenciada por propiedades biomecánicas de la córnea o el ECC, ya que en su cálculo se consideran los valores obtenidos en dicha córnea. En el mismo aparato se dispone de un paquímetro ultrasónico de contacto que permite explorar el ECC.^{15,21}



Fig. 1. Analizador de respuesta ocular de Reichert.

Para la obtención de estas medidas, el aparato utiliza un proceso de aplanación bidireccional dinámico, que consta de un impulsor rápido de aire y de un sistema de monitorización electro-óptica de la deformación corneal producida. Durante el proceso, de corta duración (unos 20 milisegundos), se lanza un pulso de aire a la parte central de la córnea que causa su desplazamiento hacia adentro; provoca primero su aplanación y se obtiene una primera medida tensional, para continuar hasta producir la deformación cóncava de esta. Cuando el pulso de aire se interrumpe, la córnea pasa por un segundo estado de aplanación, antes de retornar a su curvatura convexa normal (Fig. 2).^{15,21}

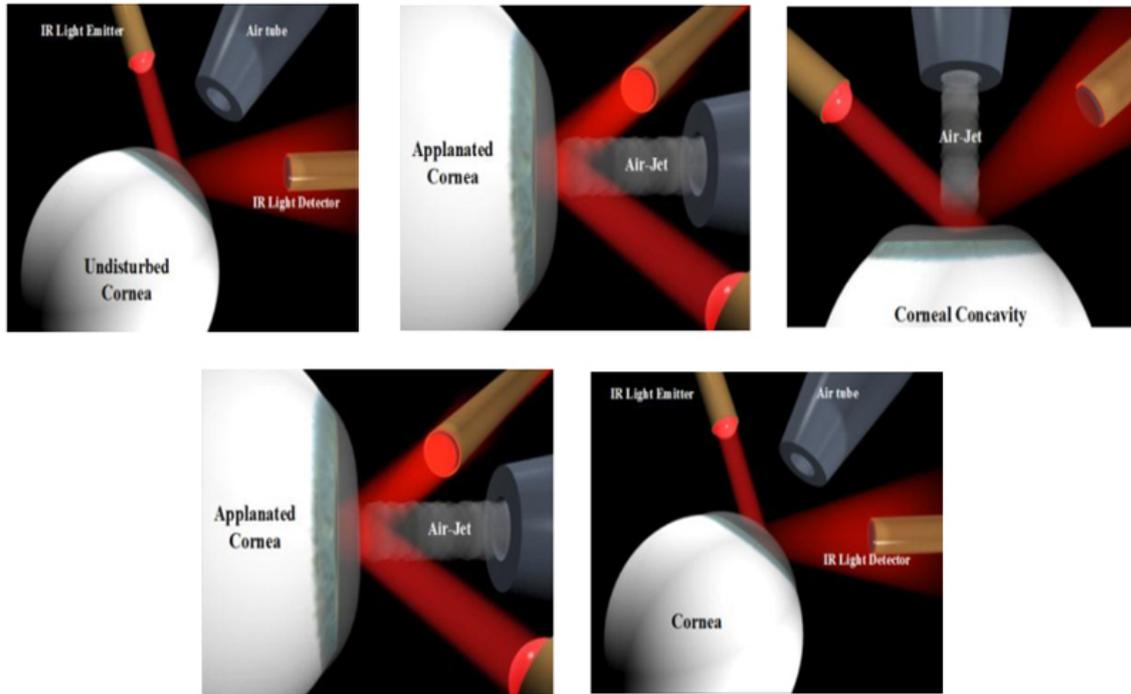


Fig. 2. Funcionamiento de la detección de aplanación por el analizador de respuesta ocular.

Los dos valores de presión en mmHg obtenidos, uno en el momento del primer aplanamiento (Inward o P1) y el otro en el segundo aplanamiento (Outward o P2), corresponden a la PIO según la ley de ImberFick. Ambos valores no coinciden, lo que está relacionado con la naturaleza dinámica del flujo de aire y con las propiedades viscosas de la córnea (Fig. 3). Es de esperarse que estos valores de presión sean exactamente iguales; sin embargo, durante la naturaleza dinámica del impulso de aire, la amortiguación dinámica de la córnea provoca una demora entre el aplanamiento corneal en *inward* y *outward*, que resulta en dos diferentes valores de presión. La diferencia entre estos dos valores de presión es lo que se ha llamado histéresis corneal:²¹ $CH = P1 - P2$. El promedio entre estas dos presiones se considera un valor reproducible a la PIO obtenida con GAT. El valor IOPcc se obtiene mediante la fórmula:²¹ $IOPcc = P2 - K \times P1$, donde P1 y P2 reflejan, respectivamente, la primera y segunda presión de cada evento de aplanamiento y K es una constante cuyo valor es 0,43.²¹

La IOPcc representaría un valor de presión intraocular sin estar influenciado por la resistencia corneal durante el fenómeno de aplanamiento; es decir, sería una PIO independiente de las propiedades corneales. La IOPcc tiene una correlación escasa o nula con la ECC en ojos normales y se mantiene constante tras cirugía LASIK. La IOPcc tiene ventajas con respecto a la GAT: que no es afectada por la paquimetría ni por el grado de rigidez corneal y es más precisa en los pacientes que presentan queratocono, distrofia de Fuchs, o glaucoma de presión normal.²¹

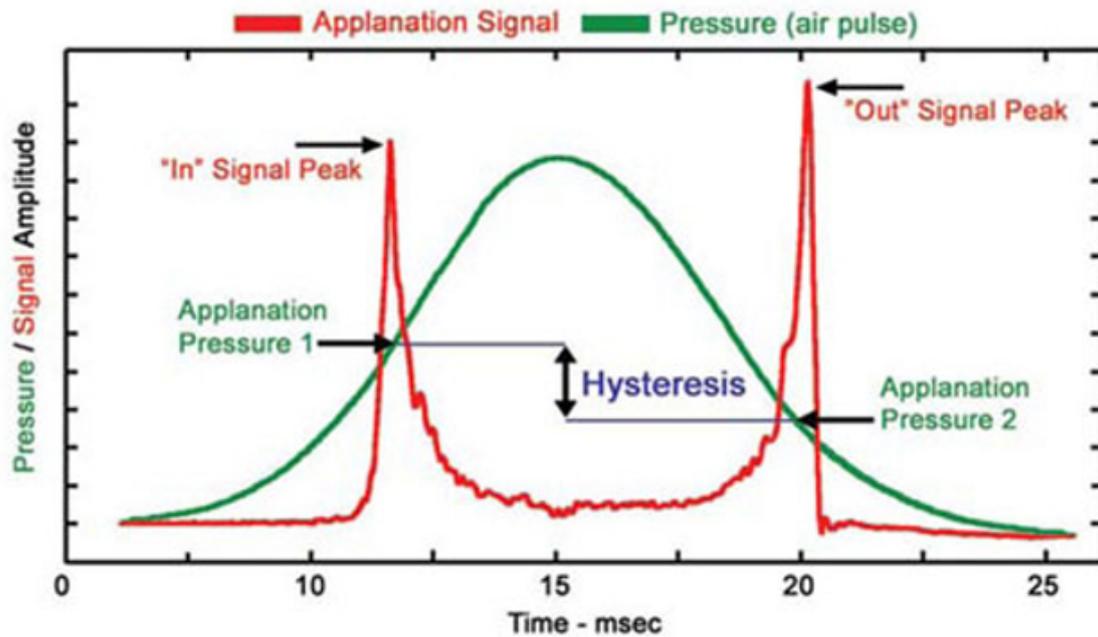


Fig. 3. Interpretación de una gráfica con valores normales.

Por último, el ORA también proporciona la medición del factor de resistencia corneal (CRF), calculado con la siguiente fórmula:²¹ $CRF = P1 - 0,7 \times P2$. Es un indicador que engloba tanto la viscosidad como la elasticidad de los tejidos corneales. Este se correlaciona significativamente con la ECC y la GAT, pero no con la IOPcc. La diferencia entre la CH y CRF radica principalmente en que la CH representa la capacidad de los tejidos corneales de absorber energía cuando se aplica a estos una fuerza; en cambio, el CRF abarca toda la respuesta de la córnea frente a esta fuerza aplicada, incluyendo, por lo tanto, la resistencia elástica. La CH no se correlaciona fuertemente con la PIO; sin embargo, el CRF se relaciona significativamente con esta.²¹

El valor medio de CH en una población con córnea "normal" es de 12,36 mmHg. Una córnea con una CH baja sería teóricamente una córnea con menos capacidad de amortiguar la energía del pulso de aire. Una córnea con una CRF baja indicaría que su rigidez total (o resistencia) es menor. Entonces se plantea una hipótesis todavía sin demostrar: un paciente con ojos normales pero con CH o CRF bajas tendría más riesgo de desarrollar una enfermedad ocular.¹

INFLUENCIA DE LA HISTÉRESIS CORNEAL Y DEL ESPESOR CORNEAL CENTRAL EN EL GLAUCOMA

Ya existen estudios de las propiedades biomecánicas corneales en el paciente glaucomatoso donde se observa una disminución significativa de la histéresis corneal, lo cual fue particularmente evidente en los casos de glaucoma congénito.^{15,21} El hecho de poder disponer de un aparato que aporte un valor de PIO menos influenciado por el ECC y las propiedades biomecánicas corneales (IOPcc), permite valorar posibles casos de glaucoma que pasen desapercibidos por constatare tensiones infravaloradas, y explicar casos de PIO elevada sin lesión glaucomatosa evidente, en los que los valores de IOPcc pueden encontrarse dentro de límites normales.^{15,21}

En este sentido, el CH podría ser un indicador prometedor para predecir la progresión del glaucoma, ya que determina una condición biomecánica especial que se constata en la córnea pero que también podría afectar a otras estructuras oculares, y condicionar una susceptibilidad especial y poca resistencia a sufrir daño glaucomatoso, hecho que sería interesante para investigaciones futuras, por lo que la histéresis corneal, por sí misma, podría ser un factor predisponente o asociado a la patología glaucomatosa, e incluso afectar su pronóstico.^{15,21}

Aunque el espesor corneal disminuido influya en una infraestimación de la PIO por GAT, los pacientes con glaucoma no presentan espesores corneales diferentes a la población normal, y la infraestimación de la PIO por GAT estaría relacionada con otras condiciones biomecánicas corneales como la histéresis.^{15,21}

Algunos trabajos recientes han estudiado la asociación entre el CH y el deterioro del campo visual y del nervio óptico en pacientes glaucomatosos, pero la comprensión de la importancia directa del CH para el glaucoma, y especialmente su relación con el ECC, se encuentra todavía en evolución. Si bien es cierto que el ECC bajo se ha relacionado con el riesgo de progresión de la HTO hacia glaucoma y con la progresión de la pérdida de campo visual glaucomatosa, en algunos estudios, como el de *Congdon* y otros, encuentran una asociación de valores bajos de CH con mayor progresión de campo visual glaucomatoso, independientemente de los valores de ECC.^{15,21}

Se debe considerar entonces que la CH es una estimación directa de un aspecto de la biomecánica ocular medido a la córnea, mientras que ECC representa solo un parámetro que afecta a la biomecánica. *Wells* y otros²² han encontrado una relación entre la histéresis corneal baja y la existencia de una mayor deformación del nervio óptico tras la hiperpresión ocasionada por la succión en pacientes con glaucoma, no así con el ECC. Se puede considerar que el espesor corneal influye en la estimación de la PIO real del pacientes, pero a su vez existen córneas finas pero con estructura normal (como pacientes intervenidos de cirugía refractiva con espesores de 430 micras), córneas finas estructuralmente débiles (queratocono), córneas gruesas estructuralmente fuertes (hipermétropes o algunos hipertensos oculares con paquimetrías altas) y córneas gruesas estructuralmente débiles (en el caso de distrofias endoteliales o rechazo en la queratoplastias).¹⁵

INFLUENCIA DEL GLAUCOMA EN EL ESPESOR CORNEAL CENTRAL Y LA HISTÉRESIS CORNEAL

Con respecto al glaucoma aún existen limitaciones en los estudios, ya que no se han analizado los datos evolutivos de todos los tipos de glaucoma. No obstante, con la experiencia adquirida en el control evolutivo de los pacientes con glaucoma y los datos biomecánicos en pacientes con glaucoma primario de ángulo cerrado, induce a sospechar que existe una influencia bidireccional y contraria de los valores de PIO y de los valores de CH del paciente. Es lógico pensar que una PIO elevada altere el funcionamiento y metabolismo del endotelio y que se traduzca en una mayor hidratación estromal y edema, que a su vez modifique las propiedades biomecánicas de esa córnea; asimismo, que el descenso de la PIO por el tratamiento mejore las condiciones y modifique los valores de CH. Esto es patente en casos de cierre angular, con valores muy elevados de PIO, o con valores de PIO más moderados y endotelio alterado como en las distrofias. De la misma manera se puede sospechar que en el glaucoma, el control de la PIO pueda mejorar las condiciones biomecánicas de esa córnea y mostrar una variación de valores de CH determinados con el ORA. Pero esto debería ser confirmado por algún estudio prospectivo como futura línea de trabajo.¹⁵

Se ha encontrado en algunas investigaciones que los ojos con PIO más alta tienen un CH más bajo y que la manipulación terapéutica de la PIO puede inducir una respuesta inversa en CH. Sun y otros²³ encontraron que el CH fue significativamente menor en ojos con glaucoma crónico de ángulo cerrado en comparación con el ojo contralateral y el grupo control de ojos normales. Por otra parte, en este estudio prospectivo, se encontraron con que la trabeculectomía disminuyó la PIO promedio de 31,5 a 11,5 mmHg y que CH aumentó desde 6,8 hasta 9,2 mm Hg en el mismo período, aunque el CH permaneció más bajo que en el ojo contralateral sin glaucoma crónico de ángulo cerrado. Este estudio refleja la aparente dependencia de CH según la PIO que ya se había observado en algunas patologías, y que es esperable observar que la regresión de una PIO elevada incrementa la media de CH entre este tipo de pacientes.¹⁵ Por tanto, el ORA proporciona una información adicional en el estudio de pacientes con glaucoma, así como un valor de la PIO menos influenciado por las propiedades biomecánicas de la córnea, que ayuda a valorar cada caso aisladamente. También indica unos valores de CH que pueden orientar en el control de los pacientes. La existencia de un bajo valor de CH pudiera considerarse como un factor de riesgo de progresión. Asimismo, en casos de hipertensión ocular, la presencia de valores biomecánicos de CH, CRF y espesor corneal altos, puede indicar bajo riesgo de progresión a glaucoma. Estos casos suelen presentar valores de IOPcc menores.¹⁵

CONCLUSIONES

A pesar de que en un primer momento no existían estudios que avalaran las aplicaciones clínicas que parecía tener esta tecnología, aparte de determinar características corneales hasta ahora no estudiadas *in vivo*, se podría considerar que el ORA podría ser la prueba *gold-standard* para determinar los valores tensionales más exactos en pacientes con glaucoma, ya que permite el cálculo de una presión intraocular compensada, menos influenciada por las propiedades corneales que la obtenida con el tonómetro de aplanamiento de Goldmann. Se obtiene además un nuevo parámetro ocular fuertemente relacionado con la viscoelasticidad corneal denominado histéresis corneal, así como el cálculo del factor de resistencia corneal. Ambos son nuevos descriptores de las características biomecánicas de la córnea. Es por esto que sería interesante definir estas características biomecánicas en córneas normales y en cada grupo patológico. También sería importante valorar de qué forma llegan a modificarse los resultados de los registros tensionales y explorar la posibilidad de este instrumento como detector de patologías oculares. En cuanto al glaucoma, se tendría entonces una herramienta diagnóstica fundamental para estimar el riesgo de desarrollar la enfermedad en pacientes hipertensos oculares, así como la probabilidad de evolucionar a estadio más avanzado. Así se podría confirmar la hipótesis de que exista alguna relación entre la histéresis corneal y el riesgo de progresión del glaucoma.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en el presente artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hernández FJ. Nuevos factores de riesgo para la progresión del glaucoma [Tesis Doctoral]. Valencia: Universidad de Valencia; 2015 [citado 20 de abril de 2017]. Disponible en: <http://roderic.uv.es/handle/10550/49705>
2. European Glaucoma Society (EGS). Terminology and Guidelines for Glaucoma. Publicom editors; 2014.
3. Tham Y, Li X, Wong TY, Quigley HA, Aung T, Cheng CY. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology*. 2014;121:2081.
4. Río M. Prevalencia de ceguera en La Habana [Tesis Doctoral]. La Habana: Instituto Cubano de Oftalmología "Ramón Pando Ferrer"; 2010 [citado 12 de agosto de 2017]. Disponible en: <http://tesis.repo.sld.cu/279/>
5. Weinreb RN, Aung T, Medeiros FA. The pathophysiology and treatment of glaucoma. A review. *JAMA*. 2014;311:1901.
6. Heijl A, Bengtsson B, Oskarsdottir SE. Prevalence and severity of undetected manifest glaucoma: results from the early manifest glaucoma trial screening. *Ophthalmology*. 2013;120(8):1541.
7. Ernst PJ, Schouten Jan S, Beckers HJ, Hendrikse F, Prins MH, Webers CA. An evidence-based review of prognostic factors for glaucomatous visual field progression. *Ophthalmology*. 2013;(120):512-9.
8. Shetgar AC, Mullimani MB. The central corneal Thickness in normal tension glaucoma, primary open angle glaucoma and ocular hipertension. *J Clin Diagn Res*. 2013;(7):1063-7.
9. Gros J. Estudio de la progresión perimétrica en distintos tipos de glaucoma: sistemas diagnósticos y factores de riesgo [Tesis Doctoral]. España: Universidad de Alcalá; 2012 [citado 20 de abril de 2017]. Disponible en: <http://dspace.uah.es/dspace/handle/10017/15102>
10. Topouzis F, Wilson MR, Harris A, Founti P, Yu F, Anastasopoulos E, Pappas T, Koskosas A, Salonikiou A. Risk factors for primary open-angle glaucoma and pseudoexfoliative glaucoma in the Thessaloniki eye Study. *Am J Ophthalmol*. 2011;152:219.
11. Goldmann H. Un nouveau tonometre d'applanation. *Bull Mem Soc Fr Ophtalmol*. 1954;67:474-7.
12. Goldmann H, Schmidt T. Applanation tonometry. *Ophthalmologica*. 1957;134:221-42.
13. Ehlers N, Hansen FK, Sabed H. Biometrics correlations of corneal thickness. *Acta Ophthalmol*. 1975;53:652-9.
14. Grise-Dulac A, Saad A, Abitbol O, Febbraro JL, Azan E, Moulin-Tyrode C, Gatinel D. Assessment of corneal biomechanical properties in normal tension glaucoma and comparison with open-angle glaucoma, ocular hypertension and normal eyes. *J Glaucoma*. 2012;21:486.

15. Ángeles del Buey M. Estudio de la biomecánica corneal: relación entre las propiedades biomecánicas corneales, determinadas mediante el analizador de respuesta ocular (ORA) y la patología ocular [Tesis Doctoral]. España: Universidad de Zaragoza; 2013 [citado 20 de abril de 2017]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/12684/files/TESIS-2013-132.pdf>
16. Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD. The ocular hypertension treatment study: baseline factors that predict the onset of primary open-angle glaucoma. Arch Ophthalmology. 2002;120:714-20.
17. Medeiros FA, Weinreb RN. Evaluation of the influence of corneal biomechanical properties on intraocular pressure measurements using ocular response analyzer. J Glaucoma. 2006;15:364-70.
18. Alías EG, Ferreras A, Polo V, Larrosa JM, Pueyo V, Honrubia FM. Importancia del espesor corneal central en el estudio del hipertenso ocular, sospechoso de glaucoma y glaucomas preperimétricos. Arch Soc Esp Oftalmol. 2007;82(10):615.
19. Von Thun Und Hohenstein-Blaul N, Kunst S, Pfeiffer N, Grus FH. Basic biochemical processes in glaucoma progression. Ophthalmologe. 2015;112:395.
20. Sáenz-Francés F. Estudio de un modelo de segmentación del grosor corneal: capacidad discriminante entre glaucoma primario de ángulo abierto y normalidad. Efecto sobre la tonometría de aplanación de Goldmann y la tonometría de contorno dinámico [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2012 [citado 20 de abril de 2017]. Disponible en: <http://eprints.ucm.es/17310/1/T34066.pdf>
21. Sales M. Influencia de la córnea en la medida de la presión intraocular con distintos sistemas tonométricos [Tesis Doctoral]. Madrid: Universidad de Alcalá de Henares; 2010 [citado 15 de septiembre de 2017]. Disponible en: <http://dspace.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/9022/Tesis%20Doctoral%20MS%202010.pdf>
22. Wells AP, Garway-Heath DF, PoostchiA et al. Corneal hysteresis but not corneal thickness correlates with optic nerve surface compliance in glaucoma patients. Invest Ophthalmol Vis Sci. 2008;49:3262-8.
23. Sun L, Shen M, Wang J, Fang A, Xu A, Fang H, Lu F. Recovery of corneal hysteresis after reduction of intraocular pressure in chronic primary angleclosure glaucoma. Am J Ophthalmol. 2009;147(6):1061-6.

Recibido: 3 de mayo de 2017.
Aprobado: 20 de julio de 2017.

Orlys Jones Romero. Policlínico "Frank País García". Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba, Cuba. Correo electrónico: orlys.jones@medired.scu.sld.cu