



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

ACTUALIZACIÓN Y REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA EN
TONOMETRÍA OCULAR

LITERATURE REVIEW AND UPDATE IN OCULAR
TONOMETRY

Autor

Juan Eusebio Higuera Duque

Directores

Isabel Pinilla Lozano

Juan Ibáñez Alperete

Grado en Óptica y Optometría

FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD ZARAGOZA

Curso 2024-2025

INDICE

RESUMEN/ABSTRACT.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1- Cirugías refractivas y afectación corneal.....	2
1.2- Córneas patológicas.....	2
1.3-Tonómetros.....	2
1.3.1- Evolución Histórica de la Tonometría.....	2
1.3.2-Tipos de tonómetros.....	3
1.3.2.1-Tonómetro de aplanación	3
1.3.2.2-Tonómetro de indentación.....	4
1.3.2.3-Neumotonómetro	4
1.3.2.3.1-De contacto	4
1.3.2.3.2- De no contacto	5
1.3.2.4- Tonómetro de rebote	5
1.3.2.5- Tonómetro transparpebral	5
1.3.2.6- Tonómetro de contorno dinámico	5
1.3.2.7- Tonómetro de seguimiento continuo	6
1.3.2.7.1 -Lentes de contacto inteligentes	6
1.3.2.7.2 -Tonómetros de uso doméstico	7
1.3.2.8- Biomecánica corneal.....	7
1.3.2.8.1- Ocular Response Analyzer.....	7
1.3.2.8.2- Tonometría de Scheimpflug.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
3. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.....	10
4. METODOLOGÍA.....	10
5. DISCUSIÓN.....	18
6. CONCLUSIONES.....	21
7. BIBLIOGRAFÍA.....	22

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
APO	Amplitud del Pulso Ocular
CATS	Superficie del Tonómetro de Aplanación Correctora
CCT	Espesor Corneal Central
CH	Histéresis Corneal
CC	Curvatura Corneal
CORVIS ST	Tecnología Scheimpflug de Visualización Corneal
CRF	Factor de Resistencia Corneal
D	Dioptría
DCT	Tonómetro de Contorno Dinámico
DMP	Degeneración Marginal Pelúcida
DSAEK	Queratoplastia Endotelial Automatizada con Desprendimiento Descemet
EGPS	Estudio Europeo de Prevención del Glaucoma
EGS	Sociedad Europea de Glaucoma
GAT	Tonómetro de Aplanación de Goldmann
IOPcc	Presión Intraocular Compensada por Córnea
IOPg	Presión Intraocular Correlacionada con Goldmann
LASEK	Queratomileusis Subepitelial por Láser
LASIK	Queratomileusis In Situ Asistida con Láser
mmHg	Milímetros de Mercurio
NCT	Tonómetro de No Contacto
OHTS	Estudio de Tratamiento de la Hipertensión Ocular
OMS	Organización Mundial de la Salud
ORA	Analizador de Respuesta Ocular
PIO	Presión Intraocular
PRK	Queratectomía Fotorefractiva
PT	Tonómetro Proton
QC	Queratocono
QLTA	Queratoplastia Lamelar Terapéutica Automatizada
QP	Queratoplastia
QPP	Queratoplastia Penetrante
RC	Radio de Curvatura
SMILE	Extracción de Lenticula Mediante Incisión
ST	Tonómetro de Schiøtz
TC	Tonómetro Convexo Goldmann modificado
TPRK	Queratectomía Fotorrefractiva Transepitelial,

RESUMEN

La tonometría ocular es una técnica clínica utilizada para medir la presión intraocular (PIO), fundamental en el campo de la oftalmología. Esta medición es crucial para el diagnóstico, seguimiento y manejo de enfermedades como el glaucoma, considerada la segunda causa de ceguera irreversible a nivel mundial; no solo para la detección del glaucoma, sino también para otras patologías oculares, como las alteraciones en la córnea, enfermedades sistémicas que afectan la PIO, y el impacto de factores como la edad y el tratamiento farmacológico. A lo largo de las últimas décadas, se han desarrollado diversas técnicas de tonometría, cada una con ventajas y limitaciones específicas. La tonometría de aplanación de Goldman es el método de referencia habitual, pero también se emplean con frecuencia la tonometría de rebote, la tonometría sin contacto y otras técnicas más recientes e innovadoras, instrumentos que tienen en cuenta la biomecánica corneal, capaces de corregir los valores de la PIO, en función de ciertos parámetros correlacionados con las propiedades biomecánicas de la córnea. La exactitud, seguridad, reproducibilidad y la facilidad de acceso del procedimiento son criterios de valoración esenciales.

La presión intraocular normal varía entre 10 y 21 mmHg. Valores superiores o inferiores pueden indicar un riesgo de enfermedad ocular. Se realizará un análisis exhaustivo y actualizado sobre los diferentes métodos de tonometría utilizados en la práctica clínica actual, examinar sus ventajas y limitaciones, discutir la evolución histórica y los avances tecnológicos, analizando sus principios de funcionamiento, precisión y adaptabilidad a diferentes contextos clínicos. Asimismo, se abordará su impacto en la mejora del diagnóstico y seguimiento de la salud ocular. Se busca proporcionar una visión integral de las herramientas disponibles, destacando su importancia en la práctica oftalmológica actual.

ABSTRACT

Ocular tonometry is a clinical technique used to measure intraocular pressure (IOP), a fundamental technique in the field of ophthalmology. This measurement is crucial for the diagnosis, monitoring, and management of diseases such as glaucoma, considered the second leading cause of irreversible blindness worldwide; not only for the detection of glaucoma, but also for other ocular pathologies, such as corneal alterations, systemic diseases that affect IOP, and the impact of factors such as age and drug treatment. Over the past few decades, various tonometry techniques have been developed, each with specific advantages and limitations. Goldman applanation tonometry is the standard reference method, but rebound tonometry, non-contact tonometry, and other more recent and innovative techniques are also frequently used. These instruments take into account corneal biomechanics and are capable of correcting IOP values based on certain parameters correlated with the biomechanical properties of the cornea. The accuracy, safety, reproducibility and ease of access of the procedure are essential endpoints.

Normal intraocular pressure ranges between 10 and 21 mmHg. Higher or lower values may indicate a risk of ocular disease. This paper presents a comprehensive and up-to-date analysis of the different tonometry methods used in current clinical practice, examining their advantages and limitations. It discusses their historical evolution and technological advances, analyzing their operating principles, accuracy, and adaptability to different clinical contexts. It also addresses their impact on improving the diagnosis and monitoring of ocular health. The aim is to provide a comprehensive overview of the available tools, highlighting their importance in current ophthalmologic practice.

1.-INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que el glaucoma ocasiona cerca del 15% de la ceguera global, situándose como la segunda causa de pérdida de visión en el mundo. A diferencia de las cataratas, principal causa de ceguera, que generalmente pueden revertirse con una intervención quirúrgica segura y eficaz, el daño glaucomatoso suele ser irreversible.

La PIO es el principal factor de riesgo y de progresión del glaucoma. Además, es el único modificable mediante tratamiento médico, láser o quirúrgico. En consecuencia, no resulta sorprendente que se

continúe trabajando en la optimización de los métodos tradicionales para la medición de la PIO y, paralelamente, se explore la incorporación de nuevas tecnologías. Ambos esfuerzos persiguen el objetivo de obtener mediciones cada vez más fiables y reproducibles. La morfología corneal (grosor, propiedades biomecánicas, antecedentes quirúrgicos o la existencia de patologías) es el principal factor que puede inducir variaciones en las lecturas del tonómetro. Nuevos parámetros incorporados en algunos dispositivos, como la histéresis corneal (CH), amplitud del pulso ocular (APO) o el uso de fórmulas de corrección, a la hora de medir la PIO, son útiles para tener en cuenta la biomecánica de la córnea y proporcionar valores más cercanos a la realidad. Las cirugías refractivas, cada vez más frecuentes, y las córneas patológicas, provocan cambios en su morfología y, por tanto, afectan los valores de la PIO.

1.1-Cirugías refractivas y afectación corneal

Para la corrección quirúrgica de ametropías leves a moderadas, las técnicas queratorefractivas con láser excimer son las más comunes, destacando LASIK (queratomileusis in situ con láser), PRK (queratectomía fotorrefractiva) y LASEK (queratomileusis subepitelial por láser). Otra técnica innovadora es SMILE (extracción de lentículo mediante una pequeña incisión), que emplea el láser de femtosegundo para remodelar la córnea. En casos de altas ametropías o córneas delgadas, se recurre frecuentemente a técnicas intraoculares, mediante la implantación de lentes. Todas las técnicas queratorefractivas modifican el grosor corneal para producir cambios en la curvatura anterior; las técnicas incisionales producen aplanamiento corneal sin provocar cambios en el grosor (1).

Si se elimina tejido corneal del centro o se agrega en el contorno, se aplanan la curvatura de la córnea y es capaz de corregir la miopía. Al contrario, es decir, eliminar tejido del contorno y añadir al centro produce aumento de la curvatura, capaz de corregir defectos hipermétropes (ley de espesores de Barraquer). Se modifica la morfología corneal, tanto en espesor como en curvatura y, por lo tanto, ejercen influencia en la medida de la PIO; según sea el tonómetro utilizado (1).

1.2-Córneas patológicas

Existen varias patologías corneales que alteran la estructura, el espesor o la biomecánica de la córnea, lo que puede influir en la medición precisa de la PIO:

- Queratocono (QC): adelgazamiento y deformación volviéndose gradualmente cónica
- Edema corneal: aumento de grosor e irregularidad por acumulaciones de líquido
- Córnea postquirúrgica: cambios en grosor e irregularidades
- Leucomas corneales: alteración de espesor
- Ectasias corneales postquirúrgicas: parecido al QC después de cirugía láser
- Córneas con infecciones, como queratitis: inflamación

Todas ellas provocan un cambio en la córnea ya sea en su espesor (normalmente adelgaza), o en su curvatura por inflamaciones, cicatrices quirúrgicas o traumáticas. Las patologías corneales pueden influir subestimando o sobrestimando la PIO según los cambios en el grosor, la biomecánica o las irregularidades de la córnea. El tonómetro de Goldmann (GAT) se diseñó basado en córneas con grosores centrales (CCT) de 500 μm . Posteriormente, mediante manometría se vio que la tensión de aplanación de Goldmann se ajustaba más a la medida realizada por el manómetro en el interior de la cámara ocular cuando el CCT era de 520 μm . Alteraciones de esta medida podría sobre o infraestimar la PIO real (2).

1.3-Tonómetros

1.3.1-Evolución Histórica de la Tonometría

En 1865 von Graefe desarrolló el primer instrumento para medir la PIO; el primer tonómetro preciso fue el de aplanación de Maklakov en 1885. En 1905 Schiotz desarrolla el primer tonómetro realmente útil en la clínica oftalmológica diaria, el tonómetro de indentación, que ha sido el más usado hasta bien

entrado el siglo XX. La revolución para una medición precisa de la PIO se da cuando aparece el GAT en 1950, considerándose el *gold standard* de la medición de la PIO.

Otros como el tonómetro McKay-Marg o su equivalente portátil, el Tono-Pen; neumotonómetros y otros de aplanación (ej: Perkins) utilizan tecnología airpuff. El tonómetro de contorno dinámico (ej: Pascal) es el primer concepto totalmente nuevo en tonometría en más de 100 años. Probablemente sea el más preciso de todos los tonómetros y, a diferencia de sus predecesores, es relativamente independiente de las propiedades biomecánicas de la córnea. Los tonómetros transpalpebrales no requieren anestesia tópica; sin embargo, añaden las propiedades biomecánicas del párpado a la lista de posibles errores (3).

Recientemente, Reichert ha creado un instrumento, el ORA, que mide la respuesta de la córnea a la indentación mediante un pulso de aire rápido, esto permitiría obtener una PIO compensada en función de la biomecánica (4).

El CORVIS ST, al igual que el ORA, es un dispositivo de aplanación dinámico, pero para el análisis utiliza una cámara de Scheimpflug de ultra-alta velocidad que graba el proceso de deformación corneal con un alcance horizontal de 8.5 mm a 4330 imágenes por segundo (5).

El sensor de lentes de contacto SENSIMED Triggerfish® (CLS; Sensimed, Lausana, Suiza) es una lente de contacto blanda, con dos sensores que controlan las fluctuaciones en el diámetro de la unión corneoescleral. No mide directamente la presión en mmHg, sino en milivoltios, y mediante un software los transforma en valores de mmHg. El dispositivo se basa en suponer que los cambios en la curvatura y la circunferencia de la córnea corresponden a cambios en la PIO. Se puede realizar un seguimiento continuo (6).

También es posible realizar medidas de PIO en el hogar, mediante “tonómetros home”; estaría recomendado cuando fuera necesaria la toma frecuente de presión, para analizar la variación de esta a diferentes periodos del día. (ej: iCare HOME)

1.3.2-Tipos de Tonómetros

Los nuevos dispositivos para medir la PIO buscan mayor exactitud y reproducibilidad, pero su precisión se ve afectada por el espesor y la irregularidad corneal, lo que puede llevar a errores de diagnóstico. Ningún tonómetro es completamente independiente de estos factores; el GAT sigue siendo el método de referencia para comparar la precisión de los demás dispositivos. (7).

1.3.2.1- Tonómetro de aplanación

Si quisiéramos realizar una tonometría real deberíamos introducir un manómetro en el interior del ojo. Lo que se hace en realidad es determinar la presión que se hace sobre el ojo y extrapolamos a la medida de la PIO. La GAT se basa en la ley de Imbert-Fick ($W = p \times A$); que determina la presión necesaria para deformar una esfera perfecta de paredes delgadas. Trasladado a la medida de la PIO, (p) es la presión, la fuerza (W) sería la necesaria para aplanar una cierta área (A) de la córnea central (como esfera) (Figura 1).

Estamos asumiendo condiciones que no son reales, como que la córnea tiene un radio de curvatura constante, siempre es esférica, de espesor mínimo, y la misma rigidez en todos los casos; por lo que hay que introducir una serie de factores de corrección como la resistencia de esta a la flexión y la tensión superficial causada por la película lagrimal, quedando la ecuación como ($W + s = p \times A + b$). Goldmann determinó que 3,06 mm de zona de contacto sería la ideal para contrarrestar esos factores.

Para llevar a cabo la medida se añade al paciente fluoresceína y un anestésico. Se coloca el tonómetro sobre una lámpara de hendidura y se acerca el prisma hasta incidir sobre la córnea con una fuerza controlada.

El lector del tonómetro está calibrado para convertir la fuerza aplicada en PIO (8).

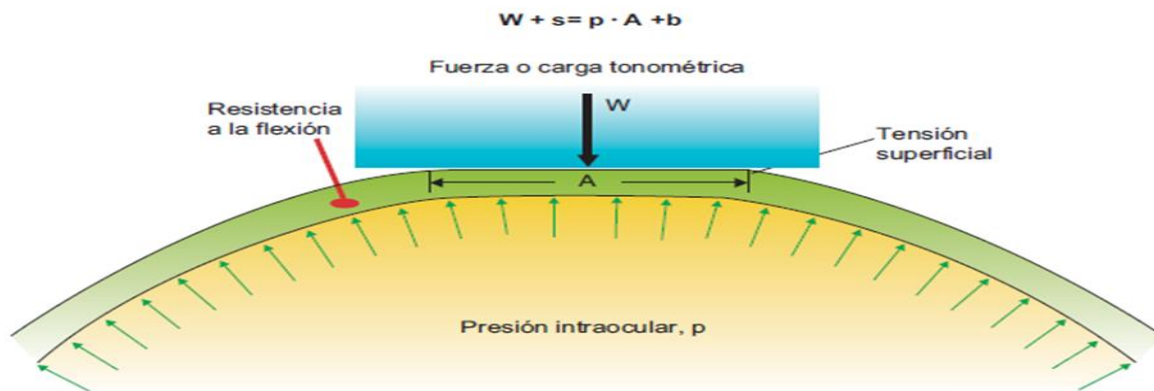


Figura 1: Representación de la ley de Imbert-Fick. Tomado de Del Buey Sayas MÁ y cols 2014 (8).

El tonómetro Perkins es un modelo de aplanación portátil, para pacientes que no pueden moverse a la posición adecuada en la lámpara de hendidura (por ejemplo, aquellos en sillas de ruedas o camillas). Se maneja de igual forma y requiere también el uso de fluoresceína y anestésico tópicos. La discrepancia entre las medidas del tonómetro de Perkins y el GAT es mínima, de 1 mmHg. Debido a su similitud puede considerarse como el *gold standard* para la tonometría portátil. Debido a que se toma la medida con el paciente tumbado, no afecta la compresión del tórax que pueden causar elevaciones transitorias de la PIO como en GAT (paciente sentado), el tonómetro de Perkins puede proporcionar mediciones más confiables en estos casos de PIO falsamente elevada (7).

1.3.2.2- Tonómetro de indentación

La tonometría de indentación se basa en la deformación mecánica del globo ocular mediante una indentación a diferencia de la tonometría de aplanación, que se enfoca principalmente en aplanar la córnea. El tonómetro de Schiötz, un ejemplo clásico de esta técnica mide la profundidad de la indentación que un émbolo de peso conocido produce sobre la córnea. El grado de desplazamiento inducido al aplicar cargas controladas es proporcional a la PIO.

La tonometría de indentación se realiza con el paciente tumbado y, se utiliza excepcionalmente en algunas situaciones clínicas específicas, como en pacientes con queratitis, úlceras corneales, edemas o con enfermedades que afectan la integridad de la superficie ocular, en los que la tonometría de aplanación puede ser difícil de realizar. Es un dispositivo portátil y económico, lo que facilita su uso.

Se coloca el tonómetro de Schiötz sobre la córnea, asegurándose de que la punta del émbolo esté en contacto con la superficie corneal. Se añaden pesos para aumentar la fuerza aplicada y se observa que el disco descienda suavemente.

El valor de la PIO (mmHg) se obtiene convirtiendo la profundidad de la indentación del émbolo en la córnea mediante fórmulas y tablas de calibración. Estas herramientas de conversión se basan en un parámetro que caracteriza las propiedades elásticas promedio del globo ocular: el **coeficiente de rigidez ocular de Friedenwald**, el cual fue determinado empíricamente a partir del promedio de mediciones en ojos sanos (9). En un ojo con rigidez escleral baja puede registrar una PIO falsamente baja; al contrario, en un ojo con aumento de la rigidez escleral, puede obtenerse una PIO más elevada.

1.3.2.3- Neumotonómetro

1.3.2.3.1-De contacto

Fácil de usar y proporciona lecturas de tonometría rápidas y precisas, es una técnica no invasiva e indolora por lo que es utilizada como screening. El neumotonómetro de contacto usa el principio de aplanación. (ej: modelo 30™). Un sensor accionado por una bomba neumática se acerca a la superficie

de la córnea, previamente tratada con anestésico, se ejerce una presión para aplanar la misma y se puede medir la PIO en tiempo real (7).

1.3.2.3.2-De no contacto

Se aplanan la córnea con un chorro de aire, suelen utilizarse varios rangos de presiones; (0 a 30 y de 0 a 60) mmHg. La aplanación se verifica mediante la reflexión de los rayos de luz que salen de la córnea, previamente irradiada con un haz de luz colimada. Un sensor óptico o sistema láser integrado en el dispositivo mide el momento exacto en que la córnea alcanza un grado específico de aplanamiento. Cuando la córnea está plana el haz de luz reflejado es mayor; se anota la PIO que corresponde a esa fuerza y el resultado y se expresa en mm Hg (ej: Canon TX-10) (10). Este dispositivo puede ser utilizado por personal no sanitario. Para su uso correcto, no se precisa la instilación de anestésico ni fluoresceína. Como consecuencia, se evita el riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas por aproximación.

1.3.2.4- Tonómetro de rebote

Se caracteriza por un mecanismo distintivo para medir la PIO de forma rápida y precisa, sin necesidad de anestesia tópica ni gotas de fluoresceína. Adicionalmente, destaca por su facilidad de uso y portabilidad. Este dispositivo resulta particularmente seguro y cómodo para su uso en niños, así como en pacientes que ofrecen poca colaboración durante exploraciones oftalmológicas más invasivas.

El principio de funcionamiento del tonómetro consiste en proyectar una microsonda magnetizada desechable contra la córnea. Esta sonda, diseñada para minimizar cualquier molestia, contacta brevemente con la superficie corneal y luego rebota. La velocidad y la dinámica del rebote dependen de la rigidez de la córnea, que a su vez se relaciona con la PIO. Si la PIO es alta, la sonda rebota más rápidamente debido a la mayor resistencia de la córnea. Si la PIO es baja, la sonda rebota más lentamente porque la córnea está más flexible. El dispositivo mide estas características del rebote y las traduce en una lectura de PIO. Actualmente existe variedad de tonómetros de rebote disponibles para el examen clínico, (ej: Icare HOME e Icare ic100).

Se han desarrollado versiones actualizadas para uso doméstico (HOME), suelen tener un sistema de reconocimiento automático de ojos que identifica el ojo derecho o izquierdo. La facilidad de uso es muy alta, lo que es un factor importante a la hora de utilizar este dispositivo para el autocontrol (11).

1.3.2.5- Tonómetro transpalpebral

La tonometría transpalpebral mide la PIO a través del párpado y la esclerótica (no corneal). Se basa, en medir la aceleración de un vástago, cuando rebota, al caer libremente sobre el párpado.

Realiza exámenes de detección rápidos e indoloros, no precisa anestesia ni contacto con la córnea y por tanto evita el riesgo de infecciones; se puede usar para el control diario por el propio paciente. El uso de estos dispositivos puede ser adecuado en niños, pacientes inmovilizados, con enfermedades infecciosas como conjuntivitis, queratitis, alteraciones de la córnea, no es necesario retirar lentes de contacto ni otro tipo de lentes implantadas, etc. Los modelos matemáticos que utilizan para el cálculo de la PIO tienen en cuenta los espesores del párpado (ej: Diaton) (12).

Una variante de esta tonometría se basa en la estimulación mecánica de la retina para generar un fosfeno por presión. Al ejercer presión sobre la retina, a través del párpado cerrado aparece una de las entopsias más comunes, en forma de brillo habitualmente, los fosfenos (ej: Proview) (13).

1.3.2.6- Tonómetro de contorno dinámico

El tonómetro de contorno dinámico (DCT) o también llamado Pascal, es parecido al GAT, registra la fuerza aplicada y el tiempo necesario para lograr un contacto óptimo con la córnea. La PIO se mide directamente en la superficie externa de la córnea; cuando los contornos de la córnea y de la sonda de medida coinciden, las presiones en los dos lados son teóricamente iguales. La aproximación se realiza a través de una sonda de 7 mm de diámetro y superficie cóncava, que se adapta a ésta (manteniendo el

contorno), lo que minimiza su deformación y curvatura, a diferencia de lo ocurrido en la GAT. La PIO se mide de modo continuo, unas 100 veces por segundo (dinámico). Además de valores de PIO también nos muestra el grado de confiabilidad, calidad de la medición y de la amplitud del pulso ocular. La APO es indicativa del flujo sanguíneo ocular y puede llegar a ser un parámetro importante en el diagnóstico y evolución del glaucoma (14).

El tonómetro de Pascal se acopla, al igual que el GAT, a la lámpara de hendidura para medir la PIO. En una pantalla se muestra la PIO en mm Hg con un rango de medición entre 5 y 200 mmHg. No es necesaria la utilización de fluoresceína. Se trata de un tonómetro reproducible, y aunque no existe unanimidad en la dependencia de los resultados respecto al grosor central corneal si la hay en que el DCT tiende a sobreestimar la PIO respecto a la del GAT.

El inconveniente es que para realizar la medición es necesario un contorno de película lagrimal redondo que no se observa en pacientes con síndrome de ojo seco, astigmatismos elevados o queratoplastia. La información que proporciona en córneas con edema y post-LASIK es bastante precisa e independiente de su radio de curvatura, por lo que su uso se ha extendido en este tipo de intervenciones (15).

1.3.2.7- Tonómetro de seguimiento continuo

La PIO varía de forma frecuente a lo largo del día, por lo que una única lectura realizada en consultas no sería suficiente para obtener un valor exacto; en general, se cree que la PIO máxima para la mayoría de las personas se produce por la mañana.

En la actualidad con los avances recientes en tonometría, la PIO ya se puede medir en el hogar y monitorizar según la frecuencia que sea necesaria. Los dispositivos utilizados son básicamente de dos tipos: “lentes de contacto inteligentes” (ej: Sensimed Triggerfish®) y tonómetros de uso doméstico (ej: Icare® HOME).

1.3.2.7.1-Lentes de contacto inteligentes

A medida que la presión fluctúa durante el día y durante la noche la curvatura de la parte frontal del ojo cambia y por tanto la curva de la lente; un sensor detecta los cambios en la curvatura generando una señal eléctrica que es enviada a un dispositivo inalámbrico, donde dichas señales quedan registradas.

La medición indirecta de la presión se basa en los resultados de un estudio sobre la correlación entre la PIO y la curvatura corneal en humanos; un cambio de la PIO de 1 mmHg provoca un cambio en el radio de curvatura corneal central de aproximadamente 3 μm (sobre un radio típico de 7,8 mm) (16). El principal inconveniente además de su precio elevado está relacionado con la técnica de medición de los biosensores, ya que proporcionan un método indirecto, proporcionan medidas en milivoltios, y hay que convertir en mmHg. Esta transformación de unidades no está lo suficientemente desarrollada todavía.

La medida de la PIO mediante sensores implantados es un área de investigación activa. Aunque se trata de un procedimiento invasivo que requiere intervención quirúrgica, su implantación podría coordinarse con otras cirugías oftalmológicas, como la de cataratas, para optimizar la viabilidad del proceso (Figura 2). La principal ventaja de estos sensores radica en que permiten medir la PIO directamente desde el interior del ojo, eliminando así la influencia de las propiedades corneales (como el grosor o la biomecánica) en la lectura (17).

El enfoque, más desarrollado tecnológicamente, se basa en el implante de un sensor integrado en un chip; los datos se transfieren de forma inalámbrica a través de una antena, que sirve igualmente para su alimentación y recarga remota (18).



Figura 2: Sensor de lentes de contacto Triggerfish® (Sensimed AG).

1.3.2.7.2-Tonómetros de uso doméstico

El iCare Home es un tonómetro portátil de uso doméstico que utiliza la tonometría de rebote. Esta técnica determina la PIO analizando la desaceleración de una sonda magnetizada que impacta suavemente la córnea. El dispositivo realiza seis mediciones consecutivas para proporcionar un resultado de PIO válido. ICare es una alternativa que no requiere anestesia, incluye el modelo iCare Home, que permite a los pacientes medir su PIO de forma autónoma fuera del entorno médico; puede ser especialmente útil para el control de enfermedades como el glaucoma. Estudios recientes sugieren una buena concordancia entre las mediciones de iCare Home y el GAT; no obstante, existen dudas entre los profesionales sanitarios acerca de la fiabilidad de las mediciones realizadas directamente por los pacientes (19).

1.3.2.8- Biomecánica corneal

La medida de la PIO con GAT no tiene en cuenta las enfermedades o cirugías corneales, es poco exacta, depende del operador y tampoco contempla la biomecánica corneal.

La biomecánica corneal se centra en la deformación y equilibrio de la córnea, analizando cómo responde a las diferentes acciones que se le aplican.

Las propiedades biomecánicas son:

- Elasticidad, es un tejido resistente que puede soportar fuerzas sin deformarse excesivamente
- Viscosidad, resistencia a las deformaciones
- Viscoelasticidad, no es un tejido puramente elástico ni puramente viscoso, sino que presenta propiedades de ambos tipos

Los factores que influyen en la biomecánica corneal pueden ser intracorneales como espesor, densidad de las fibras de colágeno, enfermedades o cirugías. También existen factores extracorneales, el más importante es la PIO, pero influyen otros, ambientales (presión atmosférica, humos etc), tensión de los párpados, tensión músculos extraoculares, medicamentos o enfermedades como diabetes.

La biomecánica corneal es el resultado de la interacción entre las características intrínsecas de la córnea y las fuerzas externas que actúan sobre ella. Las propiedades biomecánicas se tienen en cuenta para un cálculo más preciso de la PIO. Actualmente existen en el mercado varios sistemas para la medida de la biomecánica corneal, el ORA y el CORVIS ST.

1.3.2.8.1- Ocular Response Analyzer

El ORA es un dispositivo que revolucionó la forma en que se mide la PIO. El ORA no se limita a medir la PIO, sino que ofrece una evaluación más completa de la biomecánica corneal; mide la histéresis corneal, un parámetro que refleja la resistencia de la córnea a la deformación. Esta medida es fundamental para evaluar el riesgo de progresión del glaucoma y para personalizar el tratamiento.

Nos da también información sobre otros parámetros biomecánicos como el Factor de Resistencia Corneal (CRF), CCT o la PIO equivalente a la tonometría Goldmann (PIOg). Calcula la PIO

Compensada por Córnea (PIOcc), que compensa las variaciones en el grosor y la elasticidad corneal. El ORA usa la denominada tonometría de aplanación bidireccional; utiliza un pulso rápido de aire para aplanar la córnea y un sistema que toma dos medidas; una mientras la córnea se aplanaba y otra mientras regresa a su posición normal. La diferencia entre los dos valores de presión se denomina histéresis corneal, que se relaciona con las propiedades biomecánicas de la córnea (Figura 3).

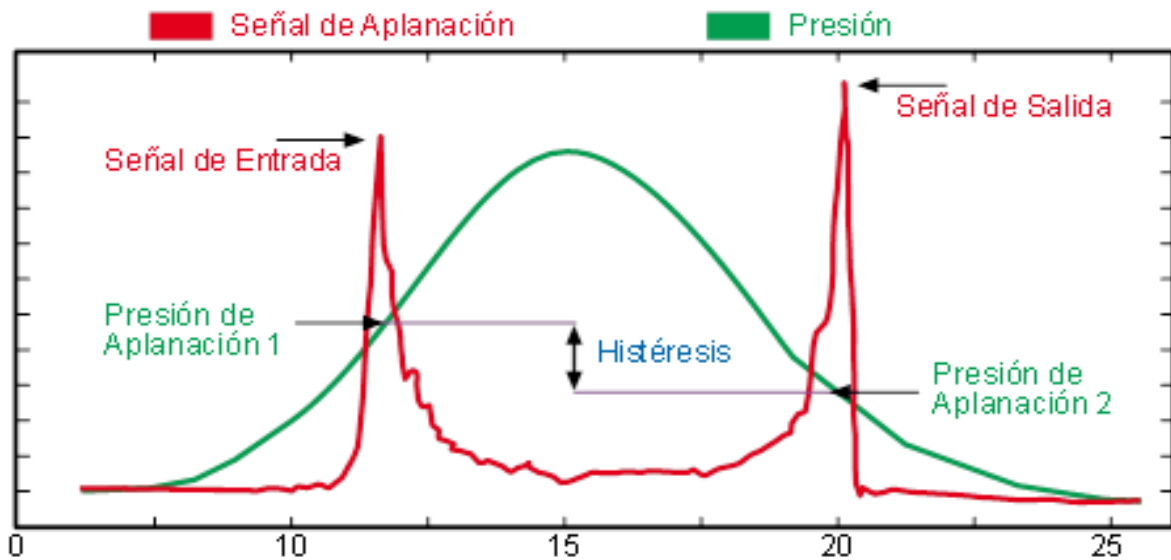


Figura 3: Mediciones del Ocular Response Analyzer. Tomado de thea_superficie_ocular_26.pdf

Los materiales viscoelásticos (a diferencia de los elásticos) no regresan a su estado original de igual forma durante la descarga que durante la carga; la relación no es lineal. Existen enfermedades corneales, como el QC, cirugías refractivas o el preglaucoma que pueden modificar las propiedades mecánicas y ópticas de la córnea; con el ORA podemos evaluarlas antes de la cirugía ocular y ver, por tanto, la respuesta al tratamiento y optimizar los resultados quirúrgicos (5).

1.3.2.8.2-Tonometría de Scheimpflug

El CORVIS ST, al igual que el ORA, es un dispositivo de aplanación dinámico, para el análisis utiliza una cámara de Scheimpflug de ultra-alta velocidad que graba el proceso de deformación corneal con un alcance horizontal de 8,5 mm a 4.330 imágenes por segundo (5). La cámara se activa y comienza a grabar inmediatamente antes de que el pulso de aire se aplique en la córnea, de manera que se monitoriza la actividad corneal antes de su aplanación para su comparación posterior. Nos informa sobre una mayor cantidad de parámetros (más de 25) como la amplitud de deformación (mm), longitud de aplanación (mm) o velocidad de deformación corneal (m/seg), entre muchos otros (Figura 4) (20). El CORVIS ST es similar al ORA, ambos son instrumentos de no contacto y usan sople de aire con dimensiones y perfiles similares. Sin embargo, tienen diferencias entre sí, como que la presión máxima del disparo de aire es constante en el CORVIS ST y en el ORA es variable, además la información de la deformación corneal es mayor en el CORVIS ST.

La presión compensada biomecánicamente es un parámetro corregido mediante el método de elementos finito (5).

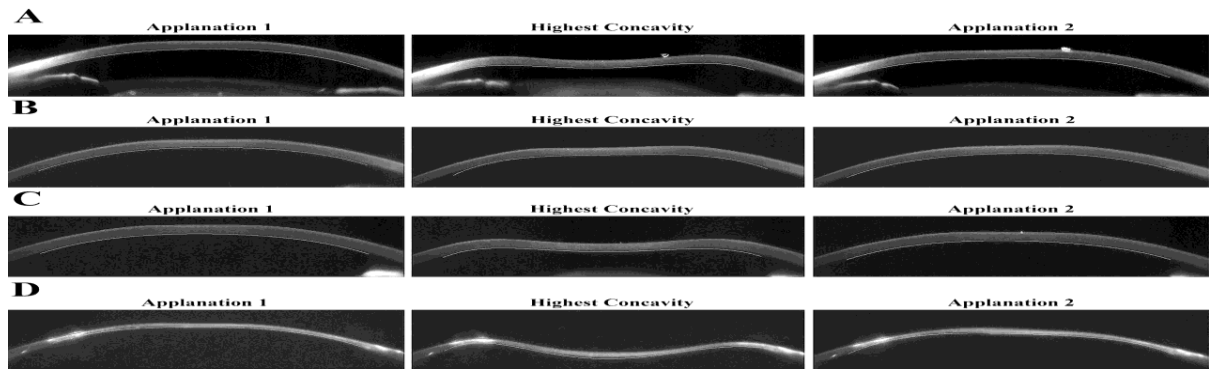


Figura 4: Imágenes de Scheimpflug de córneas durante la deflexión del aire. A: Ojo normal. B: Ojo glaucomatoso. C: Córnea inflamada. D: Córnea queratocónica. Tomado de Smedowski A y cols (48).

En resumen, una vez identificado el motivo por el cual es necesaria la medida de presión, se debe de elegir el tonómetro más adecuado, en cuanto a precisión y facilidad de uso.

La tonometría debe ser objetiva, reproducible, exacta y fácil de usar. La medida de la PIO se influye por el CCT, CC y las propiedades biomecánicas.

Podemos decir que existen principalmente dos tipos de dispositivos; aquellos que ejercen un contacto real y directo sobre la córnea (de contacto) y los que realizan la medida de PIO de forma indirecta sin contacto real (de no contacto). Cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas específicas.

Generalmente existen dos situaciones principales para la utilización de estos dispositivos: para diagnóstico y seguimiento de pacientes y como herramienta de cribado poblacional.

En el primer caso, dispositivos como DCT y ORA y CORVIS ST parecen ser en gran medida independientes de las propiedades biomecánicas de la córnea y pueden ser particularmente útiles en ojos con anomalías corneales y después de una queratoplastia (QP) o cirugía refractiva. A pesar de los avances en la tonometría, la medición con el GAT sigue siendo imprescindible. La mayoría de los estudios y guías clínicas, que revisan la eficacia de los tratamientos, se basan en las mediciones obtenidas con esta técnica.

Salvo el tonómetro de fosfenos, la mayoría de los dispositivos realizan medidas de PIO fiables y, sobre todo, que pueden ser reproducibles (7).

No obstante, sigue siendo imprescindible la investigación para el desarrollo de nuevas tecnologías, y más aun teniendo en cuenta el aumento de trastornos oculares y de personas de avanzada edad, a nivel mundial. En 2020 se presentó un nuevo tonómetro de aplanación experimental, con un ápice convexo para pacientes miopes después de LASIK. Este estudio evalúa la concordancia, entre las mediciones de la PIO tomadas con el GAT y el nuevo tonómetro de Goldmann convexo (TC). Un tonómetro diseñado específicamente para adaptarse a este tipo de córneas podría ofrecer una mejor concordancia con la PIO real en estos ojos.

La conclusión es que este nuevo dispositivo podría ser una alternativa al GAT en este subgrupo de pacientes. La necesidad de herramientas de medición precisas en estos pacientes es cada vez mayor, ya que no están exentos de desarrollar glaucoma o hipertensión ocular (21). Se prevé que esté totalmente operativo en 2025.

2-OBJETIVOS

El objetivo general de esta revisión bibliográfica es analizar y comparar la exactitud de los diferentes métodos de tonometría ocular disponibles en la práctica clínica actual, con un enfoque particular en su rendimiento frente a variaciones en las propiedades biomecánicas de la córnea.

Para alcanzar este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. **Evaluar la precisión** de diversos instrumentos de tonometría mediante la comparación con el GAT, considerado el *gold standard* y uno de los métodos de referencia más utilizados.
2. **Analizar la influencia** de las alteraciones biomecánicas de la córnea (secundarias a patologías, variaciones de grosor o viscoelasticidad, o cirugías refractivas previas) en la fiabilidad de las mediciones de la PIO obtenidas con distintas tecnologías tonométrías.
3. **Identificar y describir** las tecnologías tonométrías más recientes, como el Analizador de Respuesta Ocular (ORA) y la Tecnología de Scheimpflug de Visualización Corneal (CORVIS ST), que incorporan la compensación de las propiedades corneales en la estimación de la PIO.
4. **Sintetizar la evidencia científica** disponible sobre qué instrumentos de tonometría ofrecen mediciones más precisas y reproducibles en ojos con características corneales no estándar o alteradas.

3-JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

La PIO elevada se considera el principal factor de riesgo para el desarrollo de glaucoma, y aumenta de forma rápida a partir de 24 mmHg. Cada 1 mmHg de aumento de la PIO está asociado a un 10% de riesgo de progresión de hipertensión ocular a glaucoma (22).

Según la EGS (*European Glaucoma Society*), la terapia para el glaucoma se centra en disminuir la PIO, estableciendo una PIO diana como límite superior aceptable para el éxito del tratamiento. Esta PIO objetivo debe definirse al inicio del diagnóstico para orientar la estrategia terapéutica y ajustarse en cada revisión de seguimiento, de ahí la importancia de obtener datos exactos de la PIO.

La córnea contribuye aproximadamente con 43 dioptrías (D) de la potencia óptica total del ojo relajado de 60 D. Por lo tanto, pequeños cambios en su estructura pueden provocar grandes variaciones en el estado refractivo del ojo. Tanto la cirugía queratorrefractiva como las ectasias corneales, QC o ectasia tras LASIK, inducen cambios ópticos y mecánicos en la córnea (23).

No existe en la actualidad un tonómetro completamente independiente de la biomecánica corneal. Sin embargo, existen tonómetros que intentan minimizar esta influencia o que proporcionan información adicional para interpretarla correctamente. El desarrollo de nuevos modelos y dispositivos, así como la validación de los existentes, son áreas clave de investigación futura.

Una mejor comprensión de la relación entre la biomecánica corneal y la medición de la PIO podría conducir a:

- Diagnósticos más tempranos y precisos de enfermedades oculares como el glaucoma.
- Personalización del tratamiento en función de las características individuales de cada paciente.
- Desarrollo de nuevos fármacos y dispositivos para el tratamiento de enfermedades oculares

Para evaluar la eficacia de los fármacos reductores de la PIO y los factores predictivos del desarrollo de glaucoma, se han llevado a cabo diferentes estudios; el de tratamiento de la hipertensión ocular (OHTS) o el estudio europeo de prevención del glaucoma (EGPS). Basándose en sus resultados, se ha desarrollado un modelo de predicción del glaucoma que integra ambos estudios. Una calculadora de riesgo ayuda a los profesionales a identificar los pacientes que podrían beneficiarse de una terapia para reducir la PIO.

4-METODOLOGÍA

Estrategia de búsqueda

En una primera búsqueda se ha realizado un recorrido por buscadores de información general para obtener datos que nos permitan conocer aspectos fundamentales sobre los distintos tonómetros que se usen en la actualidad, que sirvan de referencia, a la hora de realizar la revisión bibliográfica posterior.

Se han revisado páginas web de ópticas, clínicas oftalmológicas y centros sanitarios, así como las de los fabricantes actuales, con el fin, de conocer los instrumentos más usados por los facultativos y las últimas novedades; ya sea por el uso de nuevos métodos o como consecuencia de la mejora de los actuales. Se ha realizado una lectura rápida de las características técnicas que publicitan los fabricantes del sector (Keeler, Haag-Streit, Canon, Diaton, Topcon, iCare, Reichert Technologies, Oculus).

A continuación, se ha llevado a cabo la revisión bibliográfica mediante búsqueda avanzada en bases de datos, de acceso libre y especializado en ciencias de la salud, como **PubMed**, y en las más prestigiosas bases de datos bibliográficas y citas, en las que se recogen las referencias de las principales publicaciones científicas; **Web of Science**, **ScienceDirect** y **Scopus**, las cuales permiten revisar textos de una de las editoriales científico-académica más importantes del mundo.

Se completó esta búsqueda con el uso de **Google Académico**, que agrupa las diferentes versiones de un documento bajo un mismo encabezamiento de título, y nos muestra si alguna puede acceder a la versión completa del documento.

Se ha realizado una revisión exhaustiva de la bibliografía acerca de los diferentes tonómetros empleados actualmente para la medición de la PIO.

Se profundizó especialmente en la elección del más adecuado y su grado de exactitud, según las distintas variables que pueden influir en la precisión de la medida obtenida; especialmente las características morfológicas de córneas anormales, consecuencia de patologías o cirugías refractivas.

Con el fin de obtener la mayor cantidad posible de información referente al tema a tratar, en primer lugar, se seleccionaron las palabras clave de búsqueda en español y las mismas en inglés.

Palabras clave

Debido a la variedad de tonómetros actuales se intentó que al menos todos ellos aparecieran en los artículos seleccionados, por lo tanto, estas palabras clave debían incluir todos los tipos de dispositivos: Tonómetro, ocular, PIO, Goldmann, portátil, doméstico, rebote, contorno dinámico, ORA, CORVIS, seguimiento, transpalpebral, neumotonómetro.

Keywords: Tonometer, ocular, IOP, Goldmann, portable, home, rebound, dynamic contour, ORA, CORVIS, monitoring, transpalpebral, pneumotonometer.

Las palabras relacionadas con la afectación de la medida de PIO, en situaciones de córneas patológicas o de cirugías refractivas fueron las siguientes: Biomecánica corneal, córnea patológica, cirugía corneal refractiva, LASIK, PRK, SMILE, queratocono, histéresis corneal, exactitud, medida, comparativa, IA.

Keywords: Corneal biomechanics, pathological cornea, corneal refractive surgery, LASIK, PRK, SMILE, keratoconus, corneal hysteresis, accuracy, measurement, comparative, AI.

Estas palabras clave pueden combinarse con términos generales como revisión sistemática, ensayo clínico, estudio comparativo, validación o tecnología emergente.

Keywords: Systematic review, clinical trial, comparative study, validation or emerging technology.

Con el fin de llegar a la mayor variedad de artículos, que se encuentren relacionados con el tema de estudio, se utilizaron los operadores booleanos AND, OR y NOT; especialmente AND y OR para combinar el mayor número de palabras clave que nos interesen, y garantizar que todas aparezcan en la búsqueda.

Debido a la gran cantidad de material que aparecería sin poner filtros, se acotaron algunos criterios para incluir el artículo en nuestra revisión bibliográfica:

- Textos en español o inglés
- Relativo solamente a humanos
- Periodo desde 2005 a 2025 (búsqueda entre los meses de diciembre 2024 y abril de 2025)
- Las palabras clave tienen que aparecer en el título, resumen o abstract.

- Tener acceso a lectura completa del artículo, se especificó *Full text, Free full text, Full text access, Open access, Open archive*. Se incluyeron también aquellos de acceso a través de suscripción institucional.

Todos los artículos seleccionados han sido revisados individualmente para poder ser incluidos en este estudio.

Búsqueda inicial

Las citas obtenidas mediante la estrategia de búsqueda se exportaron a RefWorks y se eliminarán los duplicados utilizando sus herramientas. En este gestor bibliográfico se crean carpetas, con las referencias de las bases de datos consultadas y subcarpetas en cada una de ellas, diferenciando por patologías corneales, cirugías refractivas, ojos sanos y glaucomatosos. Para las citas en el texto y bibliografía final utilizamos la herramienta de este gestor de “insertar citas”. Se revisa el título y los resúmenes según los criterios y filtros de selección determinados, y se realiza un listado de todos los artículos seleccionados.

Pubmed

La primera búsqueda se realiza en PUBMED utilizando la secuencia siguiente: ((Tonometer) AND (IOP)) AND (ocular); obteniendo 1.253 resultados.

Incluimos los siguientes filtros: idioma, artículos exclusivos en inglés y español; rango de fechas comprendido entre 2005 y 2025; además deben referirse solamente a humanos; y obtuvimos 1.198 coincidencias.

El rango de fechas elegido lo consideramos adecuado ya que incluye el 95% de la información. Se realizan búsquedas sistemáticas utilizando las palabras clave referidas anteriormente o combinaciones de ellas. Se seleccionaron, una vez eliminados duplicados, 245 entradas que, en el título, o resumen tengan alguna información sobre el tema tratado.

Web of Science

Usando la misma secuencia de búsqueda inicial: ((TS=(TONOMETER) AND TS=(IOP)) AND TS=(OCULAR)); se obtienen 603 coincidencias. Incluyendo los mismos filtros se redujeron a 364.

Usando las combinaciones de palabras clave, eliminando duplicados y con los mismos parámetros de inclusión; es decir, artículos que contengan información en el título, o resumen; seleccionamos finalmente 63.

Science Direct

En este caso la secuencia sería: tonometer AND ocular AND IOP; al incluir el rango de fechas 2005-2025 encontramos un total de 2.583 coincidencias. Incorporamos los filtros de idioma y referimos a humanos reduciéndose a 545. Al eliminar duplicados y especificar todos los filtros seleccionamos 219.

Scopus

La secuencia utilizada en esta base de datos es: Tonometer AND IOP; Limited to English; Limited to Spanish; Limited to Human; Limited to All open access; el resultado obtenido fue de 580. Con todos los filtros, y utilizando las palabras clave seleccionamos 244 artículos,

Google Scholar

La búsqueda inicial usó la secuencia: Tonometer and IOP and ocular; con los filtros del idioma en inglés y español, obteniendo 17.800 coincidencias.

Una vez aplicados todos los filtros que hemos usado en las bases de datos anteriores y eliminados duplicados reducimos a un resultado de 47 artículos para su revisión. El resultado de los filtros aplicados en el total de bases de datos quedaría de la siguiente manera (Tabla 1):

Tabla 1. Búsqueda inicial de información

	Pubmed	Web off Science	Science Direct	Scopus	Google Scholar
Búsqueda inicial	1253	603	2583	580	17800
Uso de palabras clave y filtros	245	63	219	244	47

A continuación, se eliminan duplicados en la totalidad de las bases de datos consultadas; además de los artículos referidos a pacientes con ojos sanos o exclusivamente glaucomatosos (Tabla 2).

Tabla 2. Artículos seleccionados para su revisión

	Pubmed	Web off Science	Science Direct	Scopus	Google Scholar
Exclusión de sujetos con ojos sanos o glaucomatosos	74	9	19	43	9

Una vez seleccionados un total de 154 estudios, se procedió a su revisión leyendo el resumen; o íntegro en aquellos casos en los cuales el tema tratado no se identificara con la suficiente claridad.

Se seleccionan definitivamente para incluir en el trabajo 41 artículos, desarrollados en la siguiente tabla; identificando el autor, año y país; tamaño de la muestra; dispositivos usados y sus conclusiones (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados de la revisión bibliográfica.

Autor / año país	Nº sujetos/ ojos Anomalías córneas	Medición PIO	Conclusiones del estudio
Ozbek y cols. (2006) (24) EE. UU.	36 pacientes 29 ojos QC 21 ojos QPP 3 ojos DMP	GAT, TP y DCT	DCT anotó PIO más altas, seguida de GAT y TP. DCT no se vio afectado por el grosor de la córnea y puede ser mejor en ojos con QC.
Clemmensen y cols; (2014) (25) Dinamarca	70 ojos 35 ojos sanos 18 distrofia endotelial Fuchs 17 DSAEK	GAT, ORA y DCT	PIO con ORA fue mayor que GAT en los tres grupos, DCT y GAT solo difieren en los de distrofia. PIOcc sobreestima ambos.
Sbordone y cols; 2022 (26) Italia	213 pacientes 92 ojos sanos 63 ojos con QC 58 ojos PRK	GAT, DCT, ORA y CORVIS ST	Sujetos sanos, GAT y DCT menos afectados por CCT. Pacientes con PRK, GAT y ORA menos influenciados por CCT. En QC los valores de GAT y DCT sin influencia, pero si ORA y CORVIS ST; contradice a otros estudios.
Fu y cols; (2020) (27) China	13 pacientes 13 SMILE hipermétrope	NCT (TX-20, Canon) CORVIS ST y ORA	Antes de la intervención no hubo diferencias, tras la cirugía la PIO _{NCT} , la PIO _g y la PIO _{cc} disminuyeron. PIO _b fue independiente del espesor corneal; es relativamente precisa después de una SMILE hipermetrópica.
Agatay y cols; (2014) (28) Turquía	40 ojos con miopía alta	GAT iCare	Las desviaciones de iCare con respecto a GAT se correlacionaron altamente con los valores de CCT. No se observó una diferencia entre los valores obtenidos con el iCare y el GAT en ojos con miopía alta.

Wisse y cols; (2016) (29) Países Bajos	66 pacientes 130 ojos 36 con QC	Diaton y GAT	La PIO con Diaton no se ven afectada por la biomecánica corneal; pero poca concordancia con GAT pone en duda su uso en QC.
Hemida y cols; (2020) (30) Egipto	20 pacientes miopes 40 ojos sometidos a Femto-LASIK	ORA y GAT	La PIO y los factores biomecánicos corneales se reducen significativamente tras el LASIK. PIOcc se afecta menos que los de la PIOg y el GAT, proporciona la medición más fiable de la PIO tras LASIK.
Ang y cols; (2022) (31) Filipinas	64 pacientes 120 ojos LASIK y PRK	GAT, CATS y CORVIS ST	GAT y la PIOb mejor concordancia; el CATS registró la PIO más alta pre y posoperatoriamente.
Chow y cols; (2020) (32)	SMILE y PRK Rev bibliográfica	ORA, CORVIS ST, GAT, TP y DCT	SMILE y PRK alteran la biomecánica corneal. La PIO de GAT y TP se correlacionaba con el CCT. PIOb y la PIO DCT resultaron ser precisas en ojos sometidos a PRK. En SMILE, CORVIS ST más preciso que otros tonómetros.
Cacho y cols; (2015) (33) España	57 pacientes LASIK para miopía	NCT (Topcon CT60) Perkins y Diaton	La PIO Perkins y Topcon que se mide en el centro de la córnea y, por lo tanto, en la zona de ablación, fueron menores después de la cirugía refractiva (se afectan). Diaton que toma la PIO en la zona superior no se afecta; puede ser útil tras LASIK.
Salvetat y cols; (2015) (34) Italia	101 sujetos control 90 pacientes: 34 QPP ;20 QLTA 19 DSAEK ;17 injerto edematosos	GAT iCare	GAT e iCare concuerdan en los grupos control, QLTA y DSAEK; deficiente en los de PK e injertos edematosos. En córneas normales, el GAT se vio afectado por el CCT; iCare por el CCT y la CC. iCare pareció estar menos influenciado por el edema corneal en comparación con la GAT.
Yeh y cols; (2021) (35) China	27 pacientes 32 ojos con edema corneal después de QPP 43 ojos normales para control	iCare, TP, NCT (CT- 800A de Topcon) y GAT	En córneas normales, el GAT, el NCT e iCare afectados por el CCT y la CC. iCare se vio menos afectado por el edema corneal que el NCT y el TP. Puede ser un dispositivo útil para la medición de la PIO en ojos con edema corneal tras la QPP.
Humayun y cols; (2023) (36) Paquistán	113 ojos 60 LASIK 53 PRK	ORA y GAT	Los valores medios de PIO eran más altos con ORA que con GAT. ORA subestimó menos. Es más probable que ORA proporcione una estimación más realista de la PIO.
Helmy y cols; (2020) (37) Egipto	150 pacientes 300 ojos miopes y astigmatismo. LASIK	GAT con fórmula de corrección	GAT requiere una fórmula de corrección para una evaluación adecuada después de LASIK. $PIO_{real} = 4 + 0,7 (PIO_{preoperatoria}) - 0,3$ (profundidad de la ablación).
Chen y cols (2024) (38) China	35 pacientes 35 ojos sometidos a DSAEK	CORVIS ST GAT y TP AVIA	CCT influye más que la biomecánica corneal al medir la PIO en ojos sometidos a DSAEK. PIOb pareció ser menor que las otras dos; se debe contrastar con más dispositivos.

Özcura y cols; (2017) (39) Turquía	63 paciente 63 ojos con QC	iCare DCT y GAT	El GAT subestima la PIO en córneas delgadas y la sobreestima gruesas. El DCT ha sobreestimado, pero el iCare ha subestimado. El DCT más adecuado ya que no parece depender del CCT ni del RC.
Read y cols; (2011) (40) Australia	20 sujetos con QC 20 sujetos control	DCT y NCT (Canon Tx-F)	La diferencia de PIO DCT y NCT se correlacionó fuertemente con CCT. La PIO con DCT no parecen depender de factores corneales, a diferencia de NCT.
Ohana y cols; (2017) (41) Israel	24 pacientes 30 ojos sometidos a DSAEK.	GAT, iCare pro, TP XL y ST	Las PIO y las diferencias entre dispositivos no dependieron del CCT; en pacientes post-DSAEK mostraron buena concordancia entre el GAT, TP XL o I-care pro. ST presenta grandes variaciones por lo que debe evitarse.
Ajazaj y cols; (2018) (42) Alemania	37 pacientes 74 ojos miopes sometidos a LASIK	NCT (Nidek NT-2000)	La reducción de la PIO tras LASIK es de aproximadamente 1 mm por D. NCT da lecturas más altas que GAT, aunque ambas dependen del CCT. NCT podría ser más preciso que el GAT tras LASIK.
Alzuhairy y cols; 2022 (43) Arabia Saudí	101 pacientes 202 ojos sometidos TPRK	Diaton	El Diaton es útil para medir la PIO en pacientes jóvenes sometidos a cirugías refractivas. Es importante tener en cuenta el CCT, incluso si la medición de la PIO se realiza por vía transescleral.
Wu y cols: (2023) (44) China	59 ojos con distrofia	GAT y CORVIS ST	La PIO por CORVIS ST sobreestima respecto al GAT. La PIO y el CCT medidos por el CORVIS ST deben interpretarse con cautela en ojos con distrofia corneal.
Iglesias y cols; (2022) (45) España	30 ojos (19 LASIK, 11 PRK)	TC GAT y ORA	El nuevo Goldmann TC ofrece estimaciones precisas de la PIO en pacientes post LASIK en relación con la GAT antes de la cirugía. La PIOcc está menos influenciada por las variaciones de CCT.
Clement y cols; (2016) (46) Australia	Revisión bibliográfica corneas no estándar:	GAT, TP, DCT, iCare, ORA	GAT sobreestima la PIO en córneas gruesas y la subestima en córneas delgadas. DCT, iCare y el ORA ofrecen alternativas útiles a la GAT en pacientes con córneas anormales, (LASIK; PRK, QC, ectasias).
Hosny y cols; (2017) (47) Egipto	15 pacientes 30 ojos sometidos a SMILE	GAT y ORA	SMILE provoca reducción de la PIO medida por ORA y GAT. El GAT registró valores inferiores a los de ORA (PIOcc) antes y después de la cirugía. No hay correlación entre la PIO preoperatoria del ORA y el CCT.
Pal y cols; (2013) (48) India	42 pacientes 46 ojos sometidos a DSAEK	DCT y GAT	Las diferencias entre lecturas DCT-GAT y el CCT no fue significativa. Las córneas con DSAEK presentan un grosor artificial y no alteran la PIO medida mediante DCT o GAT.

	36 ojos de control		Tanto la GAT como la DCT son válidos para medir la PIO en ojos con DSAEK.
Smedowski y cols; (2014) (49)	96 pacientes 152 ojos sanos 40 ojos patologías glaucoma, QC y edema	GAT, CORVIS ST e iCare Pro	El GAT y el RT mostraron correlación entre la PIO y el CCT. Al usar las fórmulas de corrección del CCT (fórmula de Ehlers para el GAT y fórmula del fabricante para el iCare), disminuye la correlación, pero siguen casi igual. CORVIS ST mostró valores más altos.
Polonia			
Cheng y cols; (2005) (50)	62 pacientes 123 ojos sometidos a LASIK para miopía	fosfenos, NCT y GAT	Coincidencia entre PIO preoperatoria de NCT, fosfenos y GAT. Tanto GAT como NCT subestiman la posoperatoria. El de fosfenos puede ser un método alternativo en pacientes post-LASIK.
China			
Bilgeç y cols; (2020) (51)	51 pacientes con QC	ORA, iCare pro GAT y TP	La PIOcc más alta; la PIOg arrojó las lecturas más bajas junto con el NCT. La PIO por GAT y TP fue similar. El TP fue el menos afectado seguido de la PIOcc y la GAT. CRF fue decisivo en las medidas.
Turquía			
Fabian y cols; (2011) (52)	51 pacientes 61 ojos sometidos a QPP	GAT, TP XL y ORA	La PIO ORA (PIOcc y PIOg) y TP XL se correlacionaron de manera significativa con GAT. Los valores de PIOcc y PIO TP XL fueron mayores que la PIO GAT. CCT influiría menos que HC y CRF en QPP.
Israel			
Sales-Sanz y cols; (2018) (53)	31 ojos de 31 pacientes LASEK y 108 miopes de control	GAT, ST y DCT	Las lecturas de PIO obtenidas con GAT y DCT, pero no con ST, fueron diferentes entre los grupos LASEK y control; PIO con ST menos afectada por LASEK.
España			
Aristeidou y cols; (2013) (54)	309 pacientes 84 PRK miópica 182 LASIK miopía Y 43 hipermetropía	DCT y GAT	Pro y postoperatoriamente las lecturas de GAT fueron inferiores a las de DCT en todos los grupos. GAT influenciada por CCT tras las cirugías. Los valores PIO de DCT inalterados antes y después.
Grecia			
Mollan y cols; (2008) (55)	39 pacientes 76 ojos QC 118 ojos normales	GAT, DCT, ORA y TP XL	El DCT y el ORA (PIOcc) son adecuados para la medición de la PIO en QC. TP subestima respecto a GAT. Factores como la HC y el CRF podrían ser más importantes que el CCT en las imprecisiones.
Reino Unido			
Böhm y cols; (2008) (56)	75 ojos de 75 pacientes sometidos a facoemulsificación	DCT controlado por PIO intracameral	Se midió la PIO intracameral en un sistema cerrado 15, 20 o 35 mm Hg. DCT mostró una buena concordancia con la PIO intracameral. La CCT tuvo un efecto significativo, pero clínicamente irrelevante, sobre PIO DCT.
Alemania			
Shemesh y cols; (2009) (57)	43 pacientes 45 ojos sometidos a PRK	GAT, TP XL y (TGDc-01)	Mayor concordancia entre GAT (influenciado por CCT) y TP XL en los ojos post-PRK. El TGDc-01 arrojó lecturas de PIO más bajas bien

Israel			por inexactitud o que al evitar la córnea pueda reflejar lecturas de PIO más reales en estos ojos.
Altinkaynak y cols; (2016) (58) Turquía	202 pacientes 202 ojos con QC	GAT, DCT, TP y ORA	No se observó correlación entre la PIO DCT o la PIOcc y el CCT en ojos con QC. Podrían ser las más estables en la medición de la PIO en diferentes estadios de QC.
Jain y cols; (2006) (59) India	18 pacientes con córnea cicatrizada (opacidad corneal)	GAT y PT	La PIO mediante PT varía según la zona afectada y la sana. PT sobreestima al aplicarse a una opacidad corneal leucomatosa probablemente por la dureza asociada con la opacidad. PT y GAT similar en normales.
Yang y cols; (2022) (60) China	49 pacientes 98 ojos SMILE FS- LASIK	NCT, CORVIS ST y Pentacam	La fórmula de corrección de Shah más adecuada para corregir la PIO postoperatoria en SMILE. Las fórmulas de Dresden, Orssengo-Pye y Kohlhaas más adecuadas para corregir PIO FS-LASIK. Estas solo se aplicaron al NTC.
Tziola y cols; (2024) (61) Grecia	25 pacientes 25 ojos sometidos a QPP	GAT, CORVIS ST e iCare	La PIO de GAT no se vio influenciado por el CCT. Buena concordancia entre las lecturas de iCare, CORVIS ST y GAT. Los tres son aplicables en QPP.
Shen y cols; (2016) (62) China	22 ojos con miopía moderada y alta para SMILE	NCT (TX- 20), ORA y CORVIS ST	PIO se subestima después de SMILE mediante PIO-NCT, PIOg y PIOb. PIOcc postoperatoria podría ser preferible para la evaluación de la PIO en la fase temprana después de SMILE.
Salouti y cols; (2023) (63) Irán	56 pacientes 56 ojos para FS- LASIK	ORA y CORVIS ST	En comparación con la ORA-PIOcc, la Corvis-PIOb mostró menor variación tras la FS-LASIK y podría ser mejor al medir la PIO en esta afección.
Rosa y cols; (2008) (64) Italia	105 pacientes 175 ojos PRK para miopía	ST y GAT	Tras la PRK, el GAT subestima la PIO. En cuanto a la ST, la PIO fue mayor que la medida con GAT. Los resultados mostraron una dispersión de datos muy amplia; la ST no puede utilizarse sola.

Tabla 4. Abreviaturas utilizadas en resultados de revisión bibliográfica

Abrev.	Significado	Abrev.	Significado
CATS	Superficie del Tonómetro de Aplanación Correctora	NCT	Tonómetro de No Contacto
CCT	Espesor Corneal Central	ORA	Analizador de Respuesta Ocular
CH	Histéresis Corneal	PIO	Presión Intraocular
CORVIS ST	Tecnología Scheimpflug de Visualización Corneal	PT	Tonómetro Proton
CC	Curvatura Corneal	PRK	Queratectomía Fotorefractiva
CRF	Factor de Resistencia Corneal	QC	Queratocono
DCT	Tonómetro de Contorno Dinámico	QLTA	Queratoplastia Lamelar Terapéutica Automatizada
DMP	Degeneración Marginal Pelúcida	QP	Queratoplastia
DSAEK	Queratoplastia Endotelial Automatizada con Desprendimiento Descemet	QPP	Queratoplastia Penetrante

GAT	Tonómetro de Aplanación de Goldmann	RC	Radio de Curvatura
IOPcc	Presión Intraocular Compensada por Córnea	SMILE	Extracción de Lenticula Mediante Incisión
IOPg	Presión Intraocular Correlacionada con Goldmann	ST	Tonómetro de Schiøtz
LASEK	Queratomileusis Subepitelial por Láser	TC	Tonómetro Convexo Goldmann modificado
LASIK	Queratomileusis In Situ Asistida con Láser	TPRK	Queratectomía Fotorrefractiva Transepitelial,

5. DISCUSIÓN

Tonómetros de no contacto

Los NCT son reconocidos por su comodidad y seguridad. Una ventaja adicional es que no requieren la aplicación de anestésicos, lo que ha contribuido a su amplio uso en gabinetes de óptica y optometría. No obstante, al igual que con otros dispositivos, la exactitud de sus mediciones se ve afectada por las características biomecánicas de la córnea del paciente.

En esta revisión se evaluaron los siguientes NCT: Tonómetro-refractómetro Tonoref II; Canon Tx-F, Topcon CT-800; NCT Oculus; Topcon CT 60 y Nidek NT-2000.

En pacientes sometidos a cirugía refractiva SMILE y PRK las mediciones de PIO con NCT fueron consistentemente menores que los valores preoperatorios. Estos resultados indican que se infraestima la PIO (27,32,62), condicionada por los cambios biomecánicos corneales inducidos por la cirugía, y no únicamente por las variaciones en el CCT.

La cirugía refractiva miópica modifica la estructura corneal, alterando tanto su curvatura como el CCT. Dado que la PIO se mide habitualmente en la zona central, correspondiente al área de ablación, estas modificaciones influyen directamente en la lectura tonométrica. Después de LASIK también los NCT registraron valores de PIO inferiores. Esta subestimación es atribuible, en parte, a la reducción del espesor corneal inherente a dicho procedimiento (33,42,50).

Para mitigar estas discrepancias, diversos autores han propuesto el uso de fórmulas de corrección específicas, como la fórmula de Shah para pacientes sometidos a SMILE, o las denominadas "fórmulas de Dresden" para aquellos intervenidos con LASIK (60).

La PIO medida en córneas afectadas de QC, normalmente más delgadas, también se subestimó; se vieron muy afectadas por el CRF, HC; pero sobre todo por la curvatura (40). En esta revisión bibliográfica, únicamente se encontró un estado corneal donde los NCT sobreestimarán, pacientes con edema tras una QPP (35).

En córneas con QC, que suelen ser más delgadas y presentar una biomecánica alterada, los NCT también tendieron a subestimar la PIO. Esta subestimación parece estar influenciada significativamente por el CRF, HC y, de manera predominante, por la CC (40). En contraste, la única situación identificada en esta revisión bibliográfica donde los NCT sobreestimaron consistentemente la PIO fue en pacientes con edema corneal desarrollado tras una QPP (35).

Tonómetros de rebote

Los tonómetros de rebote (como iCare) comparten con los NCT la ventaja de proporcionar una medición rápida y no invasiva de la PIO.

iCare se ha empleado en la medición de la PIO en ojos con alta miopía. Si bien sus resultados muestran concordancia con los GAT, las lecturas parecen estar influenciadas por el CCT, lo que aconseja cautela en su interpretación en estos pacientes (28).

En pacientes intervenidos de DSAEK, procedimiento que típicamente provoca un aumento del CCT, este aumento no pareció ejercer una influencia significativa en las mediciones del iCare (41, 46).

También mostro correlación aceptable en pacientes sometidos a QLTA, comparados con el GAT y frente a un grupo control (46).

En los estudios de pacientes sometidos a QPP se presentan resultados contradictorios. Algunas investigaciones indican una subestimación significativa de la PIO por parte del iCare en comparación con el GAT (46), mientras que otros autores reportan una correlación aceptable, si bien reconocen que las lecturas pueden verse afectadas por la presencia de suturas en el injerto corneal (61).

En presencia de edema corneal, iCare pareció estar menos influenciado en comparación con el GAT (34-35).

La medición de la PIO en pacientes con QC resulta especialmente compleja debido a la influencia de múltiples factores, incluyendo CRF y CH, lo que puede comprometer la precisión del método en estos casos (51). Se ha observado que las lecturas del iCare en estas córneas se ven afectadas por el CCT y la CC, tendiendo a subestimar la PIO en comparación con el GAT (39). Otros factores como elasticidad corneal o la presencia de edema también pueden alterar las mediciones y, aunque corrige los datos con fórmulas propias, la mejora es insignificante por lo que no es aconsejable en estas corneas (49).

Tonopen

El TP es un tonómetro electrónico portátil basado en el principio de MacKay-Marg, aplanando una menor área corneal que el GAT, lo que teóricamente reduce la diferencia con la PIO real (38).

En QC sus valores son similares al GAT, aunque elevados y afectados por el CCT (24), pero su menor contacto podría ser ventajoso (51). Para otros, CH y CRF influyen más que el CCT (55). Algunos estudios desaconsejan su uso en QC por no discriminar entre estadios de la enfermedad (58).

En ojos sometidos a QPP las lecturas se ven afectadas por el CCT (24); aunque otros estudios muestran que estaría más influenciado por la CH y CRF (52). Un nuevo dispositivo, TP XL tiene buena correlación con GAT en ojos normales; no así tras la intervención de QPP (35).

La PIO tras una intervención de PRK y SMILE se ve influenciada por el CCT, pero es más precisa que la GAT (32) y, aunque el área de aplanación más pequeña parece la adecuada, sobreestima la PIO en córneas irregulares (57).

En pacientes sometidos a DSAEK sabemos que aumenta la rigidez y el grosor de la córnea, TP AVIA y XL podrían ser útiles para la medición de la PIO, aunque su validez y precisión total no estén completamente garantizadas, al igual que GAT (38, 41). TP funciona según principios de GAT, y sujeto a los mismos errores (46).

Tonómetros transpalpebrales

Diaton es uno de los más empleados, su ventaja principal reside en no depender de la morfología de la córnea, con todo, se muestran influenciados por la elasticidad y forma del párpado. En PIO altas, condiciones patológicas avanzadas, como QC en etapas muy graves o tras cirugía ocular, puede no ser tan fiable.

En pacientes con QC no se observa buena correlación con GAT; los resultados no son fiables (29). Al tomar la presión en la zona superior del párpado puede ser útil tras LASIK; de todas formas, subestima en ojos con PIO elevada (33). Otros autores, sin embargo, han concluido que el de fosfenos puede ser un método alternativo en pacientes post-LASIK (50).

Aun cuando las medidas se realizan por vía transescleral, también hay que tener en cuenta el CCT; si bien puede ser un método eficaz para pacientes sometidos a TPRK (43).

Otro tonómetro revisado ha sido el TGDC-01, para pacientes sometidos a QPP, arrojando lecturas bajas por inexacto o por realizar la medida por vía transescleral.

Tonómetro de Schiotz

Existen pocos estudios que comparen y valoren el ST; su uso es muy reducido. Uno de ellos muestra que, en pacientes sometidos a DSAEK presenta grandes variaciones en comparación con otros tonómetros, por lo que debería evitarse (41).

Sin embargo, tras la cirugía LASEK parece verse menos afectadas que los demás instrumentos evaluados, ya que estos, al contrario que ST, se ven influenciados por la rigidez corneal tras la operación (53).

En cuanto a los valores tras PRK, se observa que el GAT subestima tras la cirugía, y aunque sus valores son más altos en ST, existe mucha dispersión entre los resultados; por lo que tampoco sería el adecuado, y habría que combinar este método con otros (64).

Tonómetro de contorno dinámico

El DCT tiene mayor capacidad para corregir variaciones en la elasticidad y grosor de la córnea, es particularmente útil en pacientes con córneas no estándar. En casos de córneas extremadamente irregulares o patológicas (córneas postquirúrgicas o fases muy avanzadas de QC), la precisión del tonómetro de Pascal es más reducida.

Boehm y cols. (2008) valoraron la PIO intracameral, en un sistema cerrado con varias presiones, y observaron la buena concordancia con la PIO obtenida por DCT; es decir se aproxima a la real. La CCT tuvo un efecto clínicamente insignificante (56).

En córneas con QC las lecturas se ven poco afectadas por el CCT (24,26,39,40,58); también se han podido tomar lecturas correctas en la zona central y periféricas de la córnea adaptándose bien a distintas curvaturas (40). Sin embargo, y debido, a esta independencia de medidas de la PIO en pacientes con QC, la gravedad de este no se puede determinar por DCT.

Otros estudios, en pacientes con PRK miópica, observaron, que las lecturas sí se vieron influenciadas por la CC, por lo que se necesitaría otro tipo de instrumento (26).

Los valores de la PIO coinciden, antes y después de PRK y LASIK, miope o hipermetrope, y no se ven alterados tampoco por el CCT (32,54). A diferencia de GAT (aplanación estática), la córnea sufre una aplanación dinámica que estaría menos influenciada por las alteraciones tras las cirugías; este dispositivo sería recomendable en estos sujetos (46).

En pacientes con distrofia endotelial de Fuchs y DSAEK, DCT parece medir correctamente la PIO (25,48). No obstante, tras LASEK, existe diferencia en la rigidez ocular con los ojos control y se relaciona con CCT, por lo tanto, no es aconsejable para este tipo de pacientes (53).

ORA y CORVIS ST

El ORA y CORVIS ST tienen la ventaja adicional de proporcionar datos sobre las propiedades biomecánicas de la córnea, que pueden ser útiles en la evaluación de la salud ocular. No requieren contacto directo y son recomendables en pacientes con córneas alteradas. Las medidas de PIO que nos aportan son PIOg, PIOcc, para ORA y PIOb para CORVIS ST

En pacientes con distrofia endotelial de Fuchs o sometidos a DSAEK, la histéresis corneal y CRF se reducen; la PIOcc medida con ORA parece sobreestimar la lectura (25). Al contrario, PIOb fue menor, subestimó la lectura, se afectó más por la rigidez de la córnea que por el CCT (38).

En sujetos intervenidos con PRK miópica, ORA no se ve influenciado por el CCT o la CC, al igual que ocurre con GAT; por el contrario, CORVIS ST está afectado por ambos (26). En pacientes con QC, ambos se modifican por la curvatura de la córnea de manera inversa; a su vez, CORVIS ST mostró influencia de manera directa con el CCT. En esta investigación, GAT no mostró correlación con ninguno de ellos (26).

Otras publicaciones muestran que para QC no es recomendable CORVIS ST; pero es superior al GAT (49,51). Sin embargo, en estos estudios, no se observó una asociación significativa entre la PIOcc y el CCT en ojos con QC, por tanto, ORA sería válido en estas patologías (55,58).

En ojos sometidos a SMILE hipermetrope, la PIOb es bastante precisa e independiente del CCT (27,32). La PIOcc tampoco estaría influenciada por el CCT después de la cirugía, aunque en ambos la PIO disminuyen tras la intervención (47).

No obstante, otros autores aseguran que tanto ORA como CORVIS ST tienden a subestimar las lecturas postoperatorias; sobre todo CORVIS ST, tanto en SMILE como en FS-LASIK, desaconsejando su uso (60,62). De todas formas, en SMILE sería mejor valorar la PIOcc y en FS-LASIK la PIOb (62-63).

Otros estudios, sin embargo, contradicen lo anterior, y aunque subestimaron las lecturas después de la cirugía LASIK, tanto la PIOcc como la PIOb lo hicieron en menor medida que el GAT y, por tanto, ambos serían más recomendables (30,31,36).

En pacientes tras las cirugías PRK y QPP se obtienen los mismos resultados; los dos dispositivos darían resultados válidos tras estas cirugías (31,36,45,52,61).

Tonómetro de seguimiento continuo

No se han encontrado referencias que muestren la versatilidad de estos dispositivos en la medida de la PIO y su afectación en córneas patológicas. Se está investigando con sensores implantados, aunque es un proceso invasivo y sería aconsejable solamente cuando hubiera que realizar algún tipo de cirugía, por ejemplo, de cataratas. Estos dispositivos presentan la ventaja de medir la PIO dentro del ojo, independientemente del grosor de la córnea (16-17).

La utilización de dispositivos portátiles como el iCare tiene que ser con precauciones (19). Otra línea de investigación son prototipos que puedan acoplarse al teléfono móvil, donde se usan algoritmos e inteligencia artificial para las lecturas, aunque aún están en fase de desarrollo.

6. CONCLUSIONES

1. Aun siendo la PIO el principal factor de neuropatía óptica glaucomatosa, y en la práctica clínica el único que podemos modificar (tratamiento médico, láser o quirúrgico), no existe un tonómetro universal, para una evaluación precisa de su toma. Es recomendable, por lo tanto, la combinación de diferentes métodos de medición.

En la actualidad contamos con numerosos dispositivos para medir o estimar la PIO en diferentes situaciones, siendo el GAT el *gold standard*. Sin embargo, no está exenta de riesgos y dificultades, motivados por el contacto del instrumento, película lagrimal, estado corneal del paciente, así como la transmisión de enfermedades. Además, debe calibrarse con frecuencia siguiendo las instrucciones del fabricante. Existe, de esta manera, una variabilidad intra e interobservador, propiciados por una técnica incorrecta, respiración entrecortada o mala colaboración por parte del paciente que pueden generar falsas mediciones.

2. La influencia de la biomecánica corneal, y el desarrollo de nuevos equipos, posibilitan una medición de la PIO con mayor exactitud y fiabilidad, al verse menos condicionados por determinadas características intrínsecas del paciente, generando unas mediciones más reproducibles

3. Para un seguimiento fiable de la PIO es fundamental utilizar siempre el mismo tonómetro, en cada visita del paciente, lo que garantiza que las mediciones sean comparables a lo largo del tiempo.

4. El CCT influye en la precisión de muchos tonómetros, subestimando la PIO en córneas delgadas. Sin embargo, no se recomienda usar algoritmos de corrección de la PIO basados únicamente en el CCT por falta de validación. Otros factores biomecánicos de la córnea, como la rigidez, la viscoelasticidad y la histéresis, también juegan un papel importante.

5. En aquellos sujetos con córneas no estándar o que se prevea cierta gravedad, se aconseja, aún con las limitaciones en cuanto a su costo, y una mayor complejidad en su manejo, que se disponga de al menos una medida de la PIO con DCT, ORA o CORVIS ST.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. René Moreno N, Miguel Srur A, Carlos Nieme B. Cirugía refractiva: indicaciones, técnicas y resultados. *Rev Médica CLC* 2010;21(6):901–10.
2. Jones Romero O, Bacardí Zapata PA, Páez Candelaria Y, Romero García LI, Alba Carcasé Y, Gondres Legró KM. Biomecánica corneal y glaucoma. *Rev Cuba Oftalmol* 2017;30(3):1–11.
3. Stamper RL. A history of IOP and its measurement. *Optom Vis Sci* 2011;88(1):16–28
4. Kaushik S, Pandav SS. Ocular Response Analyzer. *J Curr Glaucoma Pract* 2012;6(1):17–9.
5. Ramirez-Miranda A, Mangwani-Mordani S, Arteaga-Rivera JY, Ambrosio RJ, Navas A, Graue-Hernandez EO, et al. Importance and use of corneal biomechanics and its diagnostic utility. *Cir Cir* 2023;91(6):848–57.
6. Hubanova R, Aptel F, Chiquet C, Mottet B, Romanet J. Effect of overnight wear of the Triggerfish® sensor on corneal thickness measured by Visante® anterior segment optical coherence tomography. *Acta Ophthalmol* 2014;92(2):119–23.
7. De Moraes CGV, Prata TS, Liebmann J, Ritch R. Modalities of tonometry and their accuracy with respect to corneal thickness and irregularities. *J Optom* 2008;1(2):43–9.
8. Del Buey Sayas MÁ. Biomecánica y arquitectura corneal: Monograf SECOIR. En: Sayas B, Peris Martínez C, eds. Elsevier España; 2014. 91-7
9. Moiseeva IN, Stein AA, Lyubimov GA. Estimating the elastic properties of the eye from differential tonometry by the Schiøtz tonometer: Analysis of the measurement procedure on the basis of a two-component mathematical model. *Biophysics* 2016;61(6):1011–18.
10. Sánchez-Tocino H, Bringas-Calvo R, Iglesias-Cortiñas D. Estudio comparativo entre el neumotonómetro de no contacto Canon TX-10 y el tonómetro de Goldmann. *Arc Soc Esp Oftalmol* 2005;80(11):643–9.
11. Nakakura S. Icare® rebound tonometers: review of their characteristics and ease of use. *Clin Ophthalmol* 2018;12:1245–53.
12. Chakraborty AK, Majumder M, Sen S. Comparison of transpalpebral tonometer with Goldmann applanation tonometer. *Taiwan J Ophthalmol* 2014;4(3):110–15.
13. Alvarez-Celorio MD, Piedra-Salas S, Romero R, Villa A, García-Huerta M, Gil-Carrasco F. Comparación clínica entre la presión intraocular medida con tonómetro de Goldman y tonómetro transpalpebral. *Rev Mex Oftalmol* 2008;82(1):5–8.
14. Colás-Tomás T, Prieto-Del Cura M, Villafruela-Güemes I, Clariana-Martín A, Valdivia-Pérez A. 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. *Arc Soc Esp Oftalmol* 2012;87(12):401–6.
15. Castells FR. Tonometría: técnicas novedosas y consideraciones actuales. *Rev Cub Tec Sal.* 2014;5(1):1-14.
16. Leonardi M, Leuenberger P, Bertrand D, Bertsch A, Renaud P. First steps toward noninvasive intraocular pressure monitoring with a sensing contact lens. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2004;45(9):3113–7.
17. Sanchez I, Martin R. Advances in diagnostic applications for monitoring intraocular pressure in Glaucoma: A review. *J Optom* 2019;12(4):211–21.
18. Piso D, Veiga-Crespo P, Vecino E. Modern monitoring intraocular pressure sensing devices based on application specific integrated circuits. *J Biomater Nanobiotechnol* 2012;03(02):301–9.
19. Quérat L, Chen E. iCare® Home vs Goldmann applanation tonometry: Agreement of methods and comparison of inter-observer variation at a tertiary eye centre. *Eur J Ophthalmol.* 2023;33(1):312–8.
20. Lanza M, Iaccarino S, Bifani M. In vivo human corneal deformation analysis with a Scheimpflug camera, a critical review. *J Biophotonics* 2016;9(5):464–77.

21. Iglesias M, Yebra F, Kudsieh B, Laiseca A, Santos C, Nadal J, et al. New applanation tonometer for myopic patients after laser refractive surgery. *Sci Rep* 2020;10(1):7053.
22. Encinas-Zevallos S. Glaucoma primario de ángulo abierto. *Rev Med Diagnóstico (FIHU)* 2023;62(1):438
23. Mysore N, Krueger R. Advances in refractive surgery: May 2013 to June 2014. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2015;4(2):112–20.
24. Ozbek Z, Cohen EJ, Hammersmith KM, Rapuano CJ. Dynamic Contour Tonometry: a new way to assess intraocular pressure in ectatic corneas. *Cornea* 2006;25(8):890-4.
25. Clemmensen K, Hjortdal J. Intraocular pressure and corneal biomechanics in Fuchs endothelial dystrophy and after posterior lamellar keratoplasty. *Acta Ophthalmol* 2014;92(4):350–4.
26. Sbordone S, Ragucci A, Iaccarino G, Scognamiglio G, Leone A, Gironi Carnevale UA, et al. Comparison of IOP obtained in different kinds of eyes with contact and no contact tonometers. *Oman J Ophthalmol* 2022;15(3):315-20.
27. Fu D, Li M, Knorz MC, Wei S, Shang J, Zhou X. Intraocular pressure changes and corneal biomechanics after hyperopic small incision lenticule extraction. *BMC Ophthalmol* 2020;20(1):129.
28. Cagatay HH, Ekinci M, Yazar Z, Gokce G, Ceylan E. Comparison of iCare rebound tonometer and Goldmann applanation tonometer in high myopia. *Scientific World Journal* 2014;2014:869460.
29. Wisse RP, Peeters N, Imhof SM, van der Lelij A. Comparison of Diaton transpalpebral tonometer with applanation tonometry in keratoconus. *Int J Ophthalmol* 2016;9(3):395–8.
30. Hemida AY, Said OM, Abdel-Meguid AAE, Iqbal M, Badawi AE. Changes in corneal biomechanics and intraocular pressure following Femto-LASIK using Goldman applanation tonometry and ocular response analyzer. *Int J Ophthalmol* 2020;13(5):782–7.
31. Ang RET, Bargas NVR, Martinez GHA, Sosuan GMN, Nabor-Umali MI. Comparison of Three Tonometers in Measuring Intraocular Pressure in Eyes That Underwent Myopic Laser in situ Keratomileusis and Photorefractive Keratectomy. *Clin Ophthalmol* 2022;16:1623–37.
32. Chow SC, Yeung BYM. A review on different tonometers for intraocular pressure measurement after photorefractive keratectomy or small incision lenticule extraction. *Clin Ophthalmol* 2020;14:3305–23.
33. Cacho I, Sanchez-Naves J, Batres L, Pintor J, Carracedo G. Comparison of intraocular pressure before and after Laser In Situ Keratomileusis refractive surgery measured with Perkins tonometry, noncontact tonometry, and transpalpebral tonometry. *J Ophthalmol* 2015;2015:683895.
34. Salvetat ML, Zeppieri M, Miani F, Tosoni C, Parisi L, Brusini P. Comparison of iCare tonometer and Goldmann applanation tonometry in normal corneas and in eyes with automated lamellar and penetrating keratoplasty. *Eye (Lond)* 2011;25(5):642–50.
35. Yeh S, Chen K, Kuang T, Liu CJ, Chen M. Comparison of the iCare, Tono-Pen, non-contact airpuff, and Goldmann applanation tonometers in eyes with corneal edema after penetrating keratoplasty. *J Chin Med Assoc* 2021;84(3):320–5.
36. Humayun S, Bangash YW, Ishaq M, Shah AA. Intraocular pressure changes in myopic patients undergoing laser in-situ keratomileusis and photorefractive keratectomy. *J Coll Physicians Surg Pak* 2023;33(10):1148–52.
37. Helmy H, Hashem O. Intraocular pressure calculation in myopic patients after laser-assisted in situ keratomileusis *Clin Ophthalmol* 2020;14:509–16.
38. Chen H, Wu S, Tian L, Li Y, Hong J, Wang Y, et al. Intraocular pressure measurement and association with corneal biomechanics in patients underwent Descemet's stripping with endothelial keratoplasty: a comparative study. *Front Med* 2024;11:1384694.
39. Özcura F, Yıldırım N, Tambova E, Şahin A. Evaluation of Goldmann applanation tonometry, rebound tonometry and dynamic contour tonometry in keratoconus. *J Optom* 2017;10(2):117–22.
40. Read SA, Collins MJ. Intraocular pressure in keratoconus. *Acta Ophthalmol* 2011;89(4):358–64.

41. Ohana O, Varssano D, Shemesh G. Comparison of intraocular pressure measurements using Goldmann tonometer, I-care pro, Tonopen XL, and Schiøtz tonometer in patients after Descemet stripping endothelial keratoplasty. *Indian J Ophthalmol* 2017;65(7):579–83.
42. Ajazaj V, Kačaniku G, Asani M, Shabani A, Dida E. Intraocular pressure after corneal refractive surgery. *Med Arch ACM (Sarajevo, Bosnia and Herzegovina)* 2018;72(5):341–3.
43. Alzuhairy S. Trans palpebral intraocular pressure measurement by Diaton tonometer and central corneal thickness in eyes before and after transepithelial photorefractive keratectomy of Saudi patients. *East Afr J Ophthalmol* 2022;29(3):127–31.
44. Wu M, Han J, Wang X, Shao T, Wang Y. The alterations of corneal biomechanics in adult patients with corneal dystrophy. *Eye (Basingstoke)* 2023;37(3):492–500.
45. Iglesias M, Kudsieh B, Laiseca A, Santos C, Nadal J, Barraquer R, et al. Intraocular pressure after myopic laser refractive surgery measured with a new Goldmann convex prism: correlations with GAT and ORA. *BMC Ophthalmol* 2022;22(1):79.
46. Clement CI, Parker DGA, Goldberg I. Intra-Ocular pressure measurement in a patient with a thin, thick or abnormal cornea. *Open Ophthalmol J* 2016;10:35-43.
47. Hosny M, Aboalazayem F, Shiwy HE, Salem M. Comparison of different intraocular pressure measurement techniques in normal eyes and post small incision lenticule extraction. *Clin Ophthalmol* 2017;11:1309–14.
48. Pal D, Sengupta J. Comparison of Goldmann tonometry and dynamic contour tonometry in normal and Descemet stripping endothelial keratoplasty eyes. *Asia Pac J Ophthalmol (Phila)* 2013;2(3):159–64.
49. Smedowski A, Weglarz B, Tarnawska D, Kaarniranta K, Wylegala E. Comparison of three intraocular pressure measurement methods including biomechanical properties of the cornea. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014;55(2):666–73.
50. Cheng ACK, Leung DY, Cheung EYY, Fan DSP, Law RWK, Lam DSC. Intraocular pressure measurement in patients with previous LASIK surgery using pressure phosphene tonometer. *Clin Exp Ophthalmol* 2005;33(2):153–7.
51. Bilgeç MD, Atalay E, Sözer Ö, Gürsoy H, Bilgin M, Yıldırım N. The influence of corneal geometrical and biomechanical properties on tonometry readings in keratoconic eyes. *Int Ophthalmol* 2020;40(4):849–57.
52. Fabian ID, Barequet IS, Skaat A, Rechtman E, Goldenfeld M, Roberts CJ, et al. Intraocular pressure measurements and biomechanical properties of the cornea in eyes after penetrating keratoplasty. *Am J Ophthalmol* 2011;151(5):774–81.
53. Sales-Sanz M, Arranz-Marquez E, Arruabarrena C, Teus MA. Influence of LASEK on Schiøtz, Goldmann and dynamic contour Tonometry. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2018;256(1):173–9.
54. Aristeidou AP, Labiris G, Katsanos A, Fanariotis M, Foudoulakis NC, Kozobolis VP. Comparison between Pascal dynamic contour tonometer and Goldmann applanation tonometer after different types of refractive surgery. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2011;249(5):767–73.
55. Mollan SP, Wolffsohn JS, Nessim M, Laiquzzaman M, Sivakumar S, Hartley S, et al. Accuracy of Goldmann, ocular response analyser, Pascal and TonoPen XL tonometry in keratoconic and normal eyes. *Br J Ophthalmol* 2008;92(12):1661–65.
56. Boehm AG, Weber A, Pillunat LE, Koch R, Spoerl E. Dynamic contour tonometry in comparison to intracameral IOP measurements. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2008;49(6):2472–7.
57. Shemesh G, Waisbourd M, Varssano D, Michaeli A, Lazar M, Kurtz S. Measurements of intraocular pressure by Goldmann tonometry, Tonopen XL, and the transpalpebral tonometer, TGDc-01, after penetrating keratoplasty: a comparative study. *Cornea* 2009;28(7):724–7.
58. Altinkaynak H, Kocasarac C, Dundar H, Sayin N, Kara N, Bozkurt E, et al. Which tonometry in eyes with keratoconus? *Eye (Lond)* 2016;30(3):431–7.

59. Jain AK, Sukhija J, Gupta A. ProTon tonometer determination of intraocular pressure in patients with scarred corneas. *Indian J Ophthalmol* 2006;54(2):95–8.
60. Yang Z, Miao N, Wang L, Ma K. Comparison of different correction formulas and measurement methods for the accurate determination of intraocular pressure after SMILE and FS-LASIK surgery. *BMC Ophthalmol* 2022;22(1):404.
61. Tziola T, Tzamalís A, Koronis S, Garitsis P, Tsinopoulos I, Ziakas N. Comparison of intraocular pressure measurements using three different methods (Goldmann applanation tonometry (GAT), Corvis ST, and iCare) following penetrating keratoplasty. *J Clin Med* 2024;13(23):7046.
62. Shen Y, Su X, Liu X, Miao H, Fang X, Zhou X. Changes in intraocular pressure values measured with noncontact tonometer (NCT), ocular response analyzer (ORA) and corvis scheimpflug technology tonometer (CST) in the early phase after small incision lenticule extraction (SMILE). *BMC Ophthalmol* 2016;16(1):205
63. Salouti R, Razeghinejad R, Eslami G, Zare M, Salouti K, Ghoreyshi M, et al. Agreement of ocular response analyzer cornea compensated IOP with corvis ST biomechanical IOP following Femtosecond Laser-assisted LASIK. *Eye (Lond)* 2023;37(2):263–6.
64. Rosa N, Lanza M, Cennamo G, Capasso L, Iaccarino G, Borrelli M, et al. Accuracy of Schiøtz tonometry in measuring the intraocular pressure after corneal refractive surgery. *J Optom* 2008;1(2):59–64.

TABLAS Y FIGURAS.

Figura 1: Representación de la ley de Imbert-Fick.

Figura 2: Sensor de lentes de contacto Triggerfish® (Sensimed AG).

Figura 3: Mediciones del Ocular Response Analyzer

Figura 4: Imágenes de Scheimpflug de córneas durante la deflexión del aire. **A:** Ojo normal. **B:** Ojo glaucomatoso. **C:** Córnea inflamada. **D:** Córnea queratócónica

Tabla 1. Búsqueda inicial de información. Elaboración propia

Tabla 2. Artículos seleccionados para su revisión. Elaboración propia

Tabla 3. Resultados de la revisión bibliográfica. Elaboración propia

Tabla 4. Abreviaturas utilizadas en resultados de revisión bibliográfica. Elaboración propia