

Valores de normalidad en parámetros oculares en niños caucásicos españoles*

Normal Values for Ocular Parameters in Spanish Caucasian Children

INMACULADA BUENO GIMENO**

ANDRÉS GENÉ SAMPEDRO**

ENRIQUE ESPAÑA GREGORI***

RESUMEN

Objetivo: cuantificar los parámetros biométricos oculares, las propiedades biomecánicas corneales, la configuración anatómica del nervio óptico y la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) en un grupo de niños, mediante técnicas no invasivas. **Material y métodos:** se realizó un estudio transversal, descriptivo y no aleatorio en 293 niños sanos caucásicos con edades entre 6 y 17 años. **Resultados:** se encontró una correlación estadísticamente significativa entre la longitud axial (LA) y la histéresis corneal (CH) ($p < 0,001$). También se encontró disminución de la CH con el incremento de la miopía y el aumento de esta con el incremento de la hipermetropía ($p < 0,001$). En el segmento posterior, se evidenció correlación positiva entre el espesor medio de la CFNR y la CH ($p = 0,01$). Asimismo, se apreció disminución del espesor medio de la CFNR con el incremento de la LA ($p < 0,001$) y de la miopía ($p < 0,0001$). **Conclusiones:** la resistencia mecánica del segmento anterior del ojo está comprometida en miopes en edades tempranas y en miopías elevadas, independientemente de la edad. Valores más bajos de CH, además de una reducción en la capacidad de amortiguación viscoelástica corneal, indican la existencia de un nervio óptico más fácilmente deformable, acompañado de un adelgazamiento de la CFNR, sobre todo en niños miopes. Este estudio permite dar unos valores de normalidad de dichos parámetros y correlacionarlos con los errores refractivos.

Palabras clave: biomecánica corneal, error refractivo, capa de fibras nerviosas de la retina, nervio óptico, niños.

* Esta investigación forma parte de los proyectos de la Red Epidemiológica Iberoamericana en Salud Visual y Ocular (REISVO), acción del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Cyted).

** Optometrista, MSc, PhD(c), Departamento de Óptica, Universidad de Valencia, España.

*** Médico. Departamento de Cirugía, Universidad de Valencia, España.

Cómo citar este artículo: Bueno Gimeno, I., Gené Sampedro, A. y España Gregori, E. (2015). Valores de normalidad en parámetros oculares en niños caucásicos españoles. *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 13(1), 137-152.

ABSTRACT

Objective: To quantify the ocular biometric parameters, the corneal biomechanical properties, the anatomical configuration of the optic nerve and the retinal nerve fiber layer (RNFL) in a group of children through non-invasive techniques. **Material and methods:** A cross-sectional, descriptive and non-randomized study was conducted in 293 healthy Caucasian children between the ages of 6 and 17. The subjects were divided according to refractive error. **Results:** A statistically significant correlation was found between axial length (AL) and corneal hysteresis (CH) ($p < 0.001$). CH decrease was also found with increasing myopia, and CH increase with increasing hypermetropia ($p < 0.001$). In the posterior segment, a positive correlation was found between the average thickness of the RNFL and the CH ($p = 0.01$). Likewise, a decrease in the average thickness of the RNFL was observed with the increased AL ($p < 0.001$) and myopia ($p < 0.0001$). **Conclusions:** The mechanical strength of the anterior segment of the eye is affected in myopic subjects at early ages and in severe myopia, regardless of age. Lower CH values, in addition to a reduction in the corneal viscoelastic damping capacity, indicate the existence of a more easily deformable optic nerve, together with a thinning of the RNFL, especially in myopic children. This study provides normal values of these parameters and makes it possible to correlate them with refractive errors.

Keywords: corneal biomechanics, refractive error, retinal nerve fiber layer, optic nerve, children.

INTRODUCCIÓN

El Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (Cyted) es un programa intergubernamental internacional de cooperación científica y tecnológica en el ámbito iberoamericano, incluido entre los Programas de Cooperación de las Cumbres Iberoamericanas de Jefes de Estado y de Gobierno, cuyo objetivo es fomentar la cooperación en investigación e innovación para el desarrollo armónico y sostenible en esta región. En el campo visual se ha puesto en marcha el programa Cyted, denominado Red Epidemiológica Iberoamericana en Salud Visual y Ocular (REISVO), que desarrolla su actividad de cooperación en el área temática científico-tecnológica de salud.

REISVO, financiada por el Cyted, promueve la investigación en salud visual y ocular, y uno de sus principales objetivos es la exposición de la problemática de la salud visual en Iberoamérica, con la obtención de datos confiables. Ello es fundamental para conocer las necesidades de la población y entender cuál es la normalidad de los parámetros oculares en la población sana, para luego poder conocer cuáles son los datos que se salen de la normalidad.

La valoración de los parámetros anatómicos oculares ha sido objeto de estudio durante muchos años (Zadnik *et al.*, 2004; Carkeet *et al.*, 2004), pero siempre ha estado limitada por la tecnología existente. Actualmente, podemos valorar dichos parámetros mediante métodos no invasivos, con gran rapidez y sin necesidad de utilizar fármacos, hecho que cobra aún mayor importancia cuando se trata de una población pediátrica.

Así, con la ayuda de métodos no invasivos y sin la utilización de fármacos, en este trabajo se pretenden evaluar los parámetros biométricos oculares, las propiedades biomecánicas corneales, la configuración anatómica del nervio óptico y la capa de fibras nerviosas de la retina (CFNR) en un grupo de niños sanos caucásicos españoles. Ello nos permitirá dar unos valores de normalidad en los parámetros, para correlacionarlos con los errores refractivos, debido a que no existen bases de datos normalizadas en sujetos menores de 18 años.

PARÁMETROS OCULARES

La medida de los parámetros oculares ha sido posible gracias a los avances tecnológicos: primero se midió la curvatura corneal con el querátometro; posteriormente, la potencia del cristalino con el oftalmofacómetro, y más tarde, mediante rayos X,

la longitud axial. Con la introducción de los ultrasonidos (US), se pudieron medir con mayor exactitud los componentes oculares, como la longitud axial, la profundidad de la cámara anterior, el espesor del cristalino y la longitud de la cámara vítrea (Grosvenor, 2004; Menezo y España, 2006).

La técnica utilizada para la determinación de la longitud axial se ha denominado *biometría*, y actualmente existen dos formas de calcularla: una acústica, mediante US, y otra óptica, basada en métodos de interferometría óptica. Los US (Menezo y España, 2006) son ondas acústicas que tienen una frecuencia superior a los 20 kHz y, por tanto, no son perceptibles por el oído humano. Los que se usan en oftalmología están entre los 8 y 10 MHz.

Mediante la biometría ultrasónica puede medirse la longitud axial, la profundidad de la cámara anterior, el espesor del cristalino y la longitud de la cámara vítrea, al igual que obtener los valores promedio y las desviaciones estándar de cada uno de estos parámetros oculares, y así poder correlacionarlos con los errores refractivos. Se requiere contacto con el ojo, por lo que es necesaria la instilación de un anestésico tópico para su realización.

LONGITUD AXIAL Y RADIO DE CURVATURA CORNEA

La longitud axial (LA) y el radio de curvatura corneal (RC) son parámetros oculares básicos para la valoración de los defectos refractivos. A medida que el ojo crece con la edad, la LA aumenta y la potencia corneal disminuye, hasta alcanzar un valor medio de 43,00 D, es decir, las dos terceras partes de la potencia dióptrica total del ojo (Viqueira *et al.*, 2003).

Así, en función de la relación LA-RC, Grosvenor (1988) relató que es posible predecir si el niño puede llegar a ser miope durante la etapa escolar. Por su parte, Goss y Jackson (1992) verificaron que la relación LA-RC elevada es un factor de riesgo para el desarrollo de la miopía. Posteriormente, Yerba-Pimentel *et al.* (2004) llegaron a conclusio-

nes similares, pero en estudiantes universitarios, ya que encontraron que una ratio LA-RC superior a 3,00 podría considerarse un factor de riesgo para el desarrollo de miopía en ojos que previamente eran emétopes.

Profundidad de cámara anterior, espesor del cristalino y profundidad de la cámara vítrea

Además del radio de curvatura corneal anterior (RC) y la LA, los parámetros oculares que pueden influir en el error refractivo son la profundidad de la cámara anterior (PCA), el espesor del cristalino (EC) y la profundidad de la cámara vítrea (PCV) (Yebra-Pimantel *et al.*, 2008).

A pesar de la gran cantidad de datos que existe sobre la relación entre los parámetros biométricos oculares y errores refractivos, los conocimientos sobre el desarrollo de dichos parámetros es incompleto, debido a las limitaciones existentes en cuanto a la tecnología utilizada en la evaluación de estos. Mutti *et al.* (1988) evaluaron el desarrollo del cristalino en niños entre 6 y 14 años, tanto hipermétropes y miopes como emétopes; más tarde, estos mismos autores (Zadnik *et al.*, 2004) valoraron el desarrollo de los componentes oculares específicamente en niños emétopes (OLSM). En sus conclusiones describen un patrón normal de crecimiento del ojo en emétopes, ya que encontraron que el ojo se alarga y el cristalino se aplatana, adelgaza y pierde poder óptico. Respecto a la potencia de la córnea, apreciaron pocos cambios, al igual que en el error refractivo en niños que se quedaron emétopes entre los 6 y 14 años.

Por otro lado, Garner *et al.* (2006) calcularon las diferencias biométricas para predecir los errores refractivos en niños tibetanos, con edades comprendidas entre 6 y 18 años. Los autores observaron que con la edad, en los niños miopes se produjo un adelgazamiento mayor del cristalino, un aplastamiento mayor del radio de la cara anterior del cristalino y una cámara vítrea más profunda que en los no miopes.

Espesor corneal central

El espesor corneal central (ECC) es indicativo de la composición estructural, la hidratación y el estado metabólico de la córnea, y afecta a las medidas de la presión intraocular (PIO). En córneas gruesas se sobreestima la medida de la PIO, y en córneas delgadas se infravalora, por lo que hay una correlación significativa entre el ECC y los niveles de PIO (Stodmeiser, 1998; Doughty y Zaman, 2000). El ECC puede medirse clínicamente y refleja el grado de hidratación del estroma corneal; su medida normal varía entre 470 y 570 μm en el centro y aumenta de forma irregular hacia la periferia, hasta alcanzar entre 660 y 670 μm (Menezo y España, 2006). Parece ser independiente de la edad, el sexo y las dimensiones biométricas del globo ocular, pero existen diferencias interraciales. Los afroamericanos son los que tienen córneas más delgadas (Ehlers *et al.*, 1975).

Sin embargo, la relación entre el ECC y el error refractivo es objeto de controversia, pues para poblaciones miopes, Chang *et al.* (2001) encontraron que las córneas fueron más delgadas en ojos más miopes en 216 adultos jóvenes, con un promedio de error refractivo de $-4,17$ D; Fam *et al.* (2006) encontraron también que el ECC no se correlacionó con el grado de miopía en un estudio de 714 chinos de Singapur, con un error de refracción medio de $-5,30$ D. En adultos normales, se demostró una correlación significativa entre ECC y refracción en 3021 Japoneses (Suzuki *et al.*, 2005). Contrariamente, Zhang *et al.* (2008) Cho, Lam (1999) y Tong *et al.* (2004) no lograron demostrar una correlación significativa entre el ECC y la refracción en 4439 chinos, 151 habitantes de Hong Kong y 652 escolares de Singapur, con edades comprendidas entre 9 y 11 años, respectivamente.

NUEVOS INSTRUMENTOS DE NO CONTACTO EN LA VALORACIÓN ANATÓMICA Y BIOMECÁNICA

Debido al desarrollo de la tecnología durante las últimas décadas, sobre todo en el campo de la of-

talmología, en la actualidad podemos medir con mayor precisión y mediante técnicas no invasivas la biomecánica corneal y los parámetros oculares; además, podemos obtener imágenes *in vivo*, de alta resolución, tanto del segmento anterior como posterior del ojo. Estas técnicas de medida cobran mayor interés si se trata de una población infantil. Por otro lado, consideramos importante valorar las propiedades biomecánicas corneales, debido al papel que desempeña el segmento anterior en el proceso de emetropización.

Interferometría de coherencia parcial (biometría óptica)

Gracias a los avances en la tecnología láser, se ha desarrollado una instrumentación que utiliza la interferometría para medir la longitud axial (Hitzenberger, 1991). Una de estas técnicas es la interferometría coherente parcial, o interferometría óptica, que tiene un mayor nivel de precisión que el US (Drexler *et al.*, 1998). El sistema óptico de interferometría mide, sin contacto, la distancia desde el vértice corneal hasta la capa del epitelio pigmentario de la retina, con una fiabilidad de $\pm 0,02$ mm, o mejor.

Esta tecnología ha sido incorporada en un instrumento comercialmente llamado IOL Master, fabricado por Zeiss Humphrey Systems, Dublín, California (Sheng *et al.*, 2004), que determina de forma consecutiva la longitud axial del ojo, los radios de curvatura de la córnea, la profundidad de la cámara anterior y, opcionalmente, la distancia “blanco a blanco” (WTW), es decir, la que se corresponde con la que tiene el ojo desde el limbo corneal temporal hasta el limbo nasal. Las mediciones se efectúan sin contacto con el ojo, lo que es sumamente confortable para el paciente y cobra aún más importancia si se trata de pacientes en edad pediátrica (Carkeet *et al.*, 2004).

Tanto la interferometría de coherencia parcial (IOL Master) como la biometría por US fueron diseñados para dar información sobre el cálculo de la potencia del lente intraocular (LIO) antes

de la cirugía de catarata. Además, su uso para la obtención de datos en niños es una aplicación secundaria y, consecuentemente, hay poca información sobre la repetibilidad de las medidas axiales con IOL Master en este grupo de sujetos. Carkeet *et al.* (2004) evaluaron la repetibilidad de las medidas axiales con IOL Master en 179 niños chinos (edad media: $10,6 \pm 0,8$ años) y compararon estas medidas con las hechas con biometría convencional por US; concluyeron que el IOL Master dio mejor repetibilidad que la biometría por US en las medidas de la longitud axial y profundidad de la cámara anterior.

Debido a la gran correlación entre los dos métodos y la excelente repetibilidad del IOL Master, los autores consideran que la interferometría de coherencia parcial es la más usada por IOL Master, por lo cual debe ser valorada como la técnica estándar para la medida de los parámetros oculares en niños, porque es no invasiva, ofrece alta precisión y es fácil de usar.

Analizador de respuesta ocular

Gracias a la introducción del analizador de respuesta ocular (ORA) (Reichert Instrumentos Oftálmicos, Depew, Nueva York) ha sido posible evaluar las propiedades biomecánicas corneales. Según Luce (2005), el ORA proporciona dos medidas de presión: una relacionada con la presión de Goldmann y otra compensada con las propiedades corneales. Además facilita dos parámetros de las propiedades de la córnea, la histéresis corneal (CH) y el factor de resistencia corneal (CRF).

El ORA es un neumotonómetro similar al tonómetro de aire estándar, de no contacto, que utiliza un impulso rápido de aire, y con un avanzado sistema electroóptico registra dos mediciones de presión por aplanación (Luce, 2005). La histéresis corneal (Ortiz *et al.*, 2007) es una medida de la distensibilidad corneal, es decir, de la capacidad del tejido de absorber y disipar la energía, resultado de las propiedades viscoelásticas de la córnea. Otro parámetro relacionado con las propiedades corneales es

el factor de resistencia corneal (CRF) (Ortiz *et al.*, 2007), que es la medida de la rigidez total de la córnea y significa que esta está tardando más de lo esperado para recuperar su forma original que si fuese perfectamente elástica.

En la literatura hay limitación en cuanto a los factores que pueden afectar tanto a la histéresis corneal como al factor de resistencia corneal, particularmente en niños. En este sentido, Lim *et al.* (2008a, 2008b) refieren que no hay resultados publicados sobre la posible correlación entre la CH y el error refractivo o la LA, y entienden que la relación de esta última con la miopía está asociada con cambios estructurales de la córnea; por ello, evaluaron los parámetros biomecánicos corneales con el ORA en niños de Singapur y su posible correlación con errores refractivos y medidas biométricas en 271 sujetos cuya media de edad fue de $13,97 \pm 0,89$.

Los investigadores encontraron valores de CH y CRF ligeramente más altos que en estudios hechos en adultos, pero refieren que CH y CRF no están correlacionados con errores refractivos o la LA, al igual que las córneas más planas están asociadas con valores más bajos de CH y CRF. Contrariamente, Song *et al.* (2008) encontraron una relación significativa entre valores más bajos de histéresis corneal y longitudes axiales mayores en 2024 ojos de 1233 niños chinos, cuya media de edad fue de $14,7 \pm 0,8$ años.

La media de la histéresis corneal según estos resultados con niños chinos ($10,7 \pm 1,5$ mmHg) fue significativamente más baja que resultados anteriores dados por Kirwan *et al.* (2006) en 42 niños irlandeses no glaucomatosos con edades comprendidas entre 4 y 18 años (media $12,3 \pm 1,3$ mmHg), cuyo objetivo era valorar la histéresis corneal en niños con ojos normales y en niños con glaucoma congénito y evaluar la PIO medida con el ORA. En sus conclusiones, estos autores refieren que los niños tienen la histéresis corneal similar a la de los adultos, ya que no se encontró correlación entre la histéresis corneal y la edad;

así, se obtiene un valor medio muy similar al hallado en estudios aplicados en adultos, ya que no se conocen datos anteriores sobre la medida de la histéresis corneal en niños. Estos resultados indican que las propiedades biomecánicas de la córnea no varían notablemente con la edad. Los niños con glaucoma congénito, y en particular aquellos con estrías de Haab, según estos autores, tienen la histéresis corneal bastante más reducida.

Según Shen *et al.* (2008), no hay resultados publicados que determinen si la progresión de la miopía induce cambios en las propiedades biomecánicas de la córnea, incluyendo la viscosidad, elasticidad, hidratación, rigidez u otros factores; por ello, midieron las propiedades biomecánicas de la córnea en un grupo de pacientes con miopía elevada (EE < -9,00 D) y compararon los resultados con un grupo de sujetos sanos (EE de 0,00 a -3,00 D). Encontraron valores significativamente más bajos de CH en pacientes con miopía elevada que en el grupo de sujetos con baja miopía; sin embargo, el CRF fue similar en ambos grupos. Estos resultados indican que algunos factores de las propiedades biomecánicas de la córnea pueden estar afectados en pacientes con miopía elevada.

Una revisión de la literatura actual indica que las propiedades biomecánicas de la córnea tienen influencia muy importante en la exactitud de las medidas de la PIO. Así, medidas como la histéresis corneal pueden proporcionar información sobre la integridad estructural de la cabeza del nervio óptico, por lo que sería conveniente en futuros estudios determinar el papel de la biomecánica corneal como predictor del glaucoma (Kotecha, 2007).

Tomografía de coherencia óptica de segmento posterior

La tomografía de coherencia óptica (OCT) es una moderna técnica diagnóstica por imagen que permite examinar la retina *in vivo* de forma no invasiva, con alta resolución y mediante cortes de tipo histológico. Se obtienen imágenes y análisis del espesor macular, de la capa de fibras nervio-

sas y del nervio óptico; además, proporciona una medida cuantitativa, objetiva y reproducible del grosor de la capa de fibras nerviosas retinianas, directamente obtenidas de una imagen seccional de la retina (Jaffe y Caprioli, 2004).

El funcionamiento de OCT está basado en el principio de interferometría de Michelson (Jaffe y Caprioli, 2004): una luz infrarroja de baja coherencia, acoplada a una fibra óptica, viaja a través de un rayo en forma de hendidura. Lo hace, por un lado, directamente a través de los medios oculares y, por otro, hacia un espejo de referencia. La luz que pasa a través del ojo es reflejada por las estructuras que conforman las diferentes capas de la retina. La distancia entre el haz de hendidura y el espejo de referencia es continuamente variada. Cuando la distancia entre la fuente de luz y el tejido retiniano es igual que la distancia entre la luz y el espejo de referencia, la luz reflejada desde el tejido retiniano y el espejo de referencia interactúan para producir un patrón de interferencia. Este patrón de interferencia es detectado y procesado como señal, de forma análoga a la obtenida en una ultrasonografía en modo A, al usar la luz como fuente de energía en lugar de sonido. La imagen formada será un compendio de las señales *A scan* recibidas y ordenadas.

La imagen obtenida mediante OCT (Jaffe y Caprioli, 2004) puede representarse en escala de grises (a mayor reflectividad, mayor intensidad en la escala de gris) o en escalas de colores:

- 1) Alta reflectividad: rojo-blanco.
- 2) Baja reflectividad: negro-azul.
- 3) Reflectividad intermedia: verde.

Uno de los problemas que se planteaba al interpretar los valores de normalidad del espesor de la CFNR era determinar si estos valores eran normales o patológicos; así, en 2003 el Stratus OCT™ incorporó una base de datos normalizada para determinar los límites del espesor en de la CFNR,

en una muestra de pacientes sanos, a partir de 18 años (Patella, 2003).

Los valores con los que se diseñó la base de datos normalizada que incorporó Stratus OCT™ no revelaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto al género o a que se mida el ojo izquierdo o derecho. Tampoco se tuvo en cuenta la refracción como variable por considerar para determinar los valores de normalidad, a pesar de que existen estudios que demuestran una asociación entre el defecto refractivo y en concreto la miopía y la prevalencia de glaucoma primario de ángulo abierto, hipertensión ocular y glaucoma de tensión normal (Cantor *et al.*, 2001).

Tomografía de coherencia óptica de segmento anterior

La tomografía de coherencia óptica está basada en la interferometría de baja coherencia; pero en los tomógrafos de segmento anterior, la longitud de onda utilizada es de 1310 nm, a diferencia de los de segmento posterior, que es de 820 nm (Wang *et al.*, 2004), y la resolución axial y transversal es de 18 y 60 μm , respectivamente. Por cuanto utiliza radiación lumínica, la rapidez de la captura es tal que evita errores debidos al movimiento ocular, y el elevado número de cortes tomográficos tomados (hasta 2000 por captura) consigue una mayor nitidez y resolución de la imagen.

El resultado de la toma es un corte transversal del polo anterior, donde se pueden apreciar las diferentes estructuras de este con distinta intensidad según el grado de reflectancia de los tejidos explorados. Asimismo, se puede observar con alta reflectancia la córnea, la película lagrimal central, la esclera y parte del iris, y con reflectancia media-baja se aprecian la córnea periférica, los procesos ciliares y el cristalino (Visante OCT, 2007).

El instrumento que utiliza la tomografía de coherencia óptica de segmento anterior es el llamado Visante™ OCT (2007), que es fácil de usar y no requiere contacto con la córnea, por lo que es una

opción muy ventajosa para el estudio del segmento anterior en niños. Mediante el tomógrafo de segmento anterior Visante™ OCT (2007) puede evaluarse el ángulo iridocorneal mediante una marca que permite ajustar a dicha zona un ícono angular de medición. De este modo, pueden realizarse medidas de dos ángulos iridocorneales por cada sección tomográfica, y al tener en cuenta que pueden obtenerse cuatro secciones del polo anterior (0° - 180° , 45° - 225° , 90° - 270° , 135° - 315°), simultáneamente permite evaluar los ángulos en ocho zonas distintas de una sola vez, de forma rápida y sencilla. También mide la profundidad de cámara anterior, la distancia entre el endotelio corneal y la parte más convexa de la cara anterior del cristalino; y con la misma función, puede medirse la distancia entre ángulos, el blanco-blanco, el diámetro de iris visible y el grosor corneal.

Otra de las utilidades del tomógrafo de segmento anterior es la valoración de la paquimetría corneal, lo cual se consigue capturando dieciséis secciones radiales de la córnea simultáneamente (Visante OCT, 2007). A su vez, otra de las aplicaciones del Visante OCT es la medida del espesor corneal central, ya que debido a la rápida adquisición de las imágenes, permite reducir los efectos del movimiento de los ojos y garantiza un mapa paquimétrico exacto y fiable.

Zhao *et al.* (2007) compararon el espesor corneal central, medido con Visante OCT, con el que se obtiene con paquimetría ultrasónica, en adultos entre 40 y 80 años. Encontraron que las medidas obtenidas con ambos métodos fueron altamente correlacionadas; sin embargo, las lecturas dadas por Visante OCT fueron menores que las medidas adquiridas por paquimetría ultrasónica. Mohamed *et al.* (2007) determinaron la repetibilidad y reproducibilidad del Visante OCT. Evaluaron 27 ojos sanos (12 hombres y 17 mujeres, rango de edad 18-71 años) y 20 ojos de 10 sujetos diagnosticados de queratocono (7 hombres y 3 mujeres, rango de edad 20-42 años). Utilizaron el protocolo de mapa paquimétrico (*pachymetry map*) y obtuvieron un alto grado de repetibilidad y reproducibilidad en

las medidas obtenidas del espesor corneal central y periférico en sujetos sanos y en ojos con queratocono.

OBJETIVOS

Cuantificar los parámetros anatómicos oculares (longitud axial, espesor corneal, curvatura corneal, profundidad de cámara anterior, espesor de la capa de fibras nerviosas de la retina y configuración papilar), mediante técnicas no invasivas que permitan determinar la influencia que sobre ellos pueden tener los valores que aporta el estudio de la biomecánica corneal, y relacionar todos estos parámetros con la aparición de ametropías en el grupo de edad de 6 a 17 años.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio transversal, descriptivo y no aleatorio en 293 ojos de 293 niños sanos (135 niños y 158 niñas), con edades comprendidas entre 6-17 años, divididos en los siguientes grupos:

- 1) Grupo de control de 99 emétopes (45 niños y 54 niñas).
- 2) Grupo de 100 miopes (36 niños y 64 niñas).
- 3) Grupo de 94 hipermétropes (54 niños y 40 niñas).

También se dividieron los sujetos en tres grupos de estudio, basados en la edad:

- 1) Grupo de 122 niños de 6 a 10 años (58 niños y 64 niñas).
- 2) Grupo de 101 niños de 11 a 13 años (45 niños y 56 niñas).
- 3) Grupo de 70 niños de 14 a 17 años (32 niños y 38 niñas).

El diseño del estudio se realizó siguiendo las directrices de la Declaración de Helsinki (Asamblea Médica Mundial, 1964) y fue aprobado por el comité ético de la Fundación Oftalmológica del Mediterráneo. A todos los padres, tutores o representantes legales de los pacientes se les solicitó permiso para ser incluidos en el estudio, mediante un consentimiento informado en el que se explicaban las pruebas por realizar. Todos firmaron el consentimiento informado.

Criterios de inclusión. Menores de 18 años, caucásicos, con agudeza visual con corrección óptica (si la precisa) de $\geq 0,8$, de ambos sexos y buena colaboración.

Criterios de exclusión. Personas de 18 años o mayores, no caucásicos, con cualquier historia de patología ocular o cirugía intraocular previa, usuarios de lentes de contacto, con medicación oftalmológica actual, mala colaboración y cilindro mayor de 2,00 D.

La exploración con IOL Master (Carl Zeiss, Meditec, versión 5.2.1) se realizó siguiendo las instrucciones del fabricante. Los parámetros evaluados mediante IOLMaster fueron:

- 1) Medida de la longitud axial (LA).
- 2) Medida de la potencia dióptrica corneal (km).
- 3) Medida de la profundidad de la cámara anterior (PCA).

Con el analizador de respuesta ocular (versión 1.10) se valoraron los siguientes parámetros:

- 1) Histéresis corneal (CH).
- 2) Factor de resistencia corneal (CRF).
- 3) Presión intraocular corneocompensada (IOPcc).
- 4) Presión intraocular equivalente a Goldmann (IOPg).

Los parámetros de OCT evaluados fueron:

- 1) Espesor medio de la CFNR.
- 2) Espesor medio de cada uno de los cuadrantes de la CFNR:
 - Superior (46-135°).
 - Nasal (136-225°).
 - Inferior (226-315°).
 - Temporal (316-45°).
- 3) Análisis de los parámetros del nervio óptico:
 - Área del anillo (*rim area*).
 - Área del disco (*disc area*).
 - Media de la relación C/D (*average C/D ratio*).
 - Relación vertical C/D (*vertical C/D ratio*).
 - Volumen de la excavación (*cup volume*).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El cálculo y el análisis estadístico, así como las representaciones gráficas, han sido realizados mediante el programa estadístico SPSS (versión 19.00) para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL). Los cálculos realizados y los análisis estadísticos aplicados se han hecho para todos los datos obtenidos y para cada uno de los grupos formados.

Se realizó el cálculo del valor medio, la desviación estándar y el rango para cada una de las variables medidas. Para comprobar que los datos de la muestra seguían una distribución normal, se aplicó el análisis de Kolmogorov-Smirnov. Todos los parámetros evaluados siguieron una distribución normal, por lo que en todos los casos fueron aplicadas

pruebas paramétricas. Una vez fue demostrado que las variables analizadas seguían una distribución normal, se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson y este se consideró estadísticamente significativo para un valor de p inferior a 0,05. Adicionalmente, se aplicó la prueba T de Student para muestras independientes, a fin de valorar la existencia de diferencias significativas entre ambos sexos, en todos los parámetros evaluados, así como entre ambos ojos.

El análisis de varianza entre grupos (Anova) se utilizó para determinar las posibles diferencias entre los parámetros evaluados (biomecánica corneal, capa de fibras nerviosas de la retina y parámetros del nervio óptico), en función de la edad y el error refractivo. Para identificar la existencia de diferencias significativas entre las medias de los distintos grupos, se utilizó la prueba de contrastes para comparar medias *post hoc*, a través de la prueba de la diferencia honestamente significativa de Tukey (HSD Tukey).

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestra la relación de los parámetros empleados en el estudio, el equipo de medida utilizado, las unidades de medida y las abreviaturas usadas en las tablas de resultados.

TABLA 1. Relación de los parámetros empleados en el estudio, equipo de medida utilizado y abreviatura correspondiente

| PARÁMETRO | UNIDAD | EQUIPO | ABREVIATURA |
|--|--------|-------------|-------------------|
| Longitud axial | mm | IOL Master | LA |
| Profundidad de cámara anterior | mm | Visante OCT | PCA |
| Potencia dióptrica corneal (media K1 y K2) | D | IOL Master | Km |
| Presión intraocular corneocompensada | mmHg | ORA | PIO _{cc} |
| Presión intraocular equivalente Goldmann | mmHg | ORA | PIO _g |
| Factor de resistencia corneal | mmHg | ORA | CRF |
| Histéresis corneal | mmHg | ORA | CH |
| Espesor corneal central | μm | Visante OCT | ECC |

Continúa

| PARÁMETRO | UNIDAD | EQUIPO | ABREVIATURA |
|--|-----------------|---------------|--------------------------|
| Espesor medio de la CFNR | µm | Cirrus HD-OCT | CFNR |
| Espesor CFNR superior (46-135°) | µm | Cirrus HD-OCT | CFNR superior |
| Espesor CFNR nasal (136-225°) | µm | Cirrus HD-OCT | CFNR nasal |
| Espesor CFNR inferior (226-315°) | µm | Cirrus HD-OCT | CFNR inferior |
| Espesor CFNR temporal (316-46°) | µm | Cirrus HD-OCT | CFNR temporal |
| Área del anillo | mm ² | Cirrus HD-OCT | Área del anillo |
| Área del disco | mm ² | Cirrus HD-OCT | Área del disco |
| Media de la relación excavación/papila (C/D) | | Cirrus HD-OCT | Media de la relación C/D |
| Relación vertical excavación/papila (C/D) | | Cirrus HD-OCT | Relación vertical C/D |
| Volumen de la excavación | mm ³ | Cirrus HD-OCT | Volumen de la excavación |

Fuente: elaboración propia.

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre ambos sexos, en ninguno de los parámetros evaluados ($p > 0,05$ para todos los parámetros). Tampoco se hallaron diferencias estadísticamente importantes entre el ojo derecho y el ojo izquierdo, en ninguno de los parámetros evaluados ($p > 0,05$ para todos los parámetros), por lo que en el análisis estadístico solo se incluyó el ojo derecho de cada sujeto. En la tabla 2 se muestran los valores promedio, la desviación estándar y el rango de todos los parámetros evaluados en el grupo de niños emétopes.

TABLA 2. Valores promedio, desviación estándar y rango de todos los parámetros evaluados en emétopes (OD)

| PARÁMETRO | MEDIA | DE | MÍNIMO | MÁXIMO |
|------------------------------|--------|-------|--------|--------|
| Edad (años) | 11,28 | 2,97 | 5,83 | 17,83 |
| Longitud axial (mm) | 23,12 | 0,79 | 21,29 | 25,58 |
| PCA (mm) | 3,13 | 0,24 | 2,31 | 3,92 |
| Km (D) | 43,63 | 1,57 | 39,20 | 48,57 |
| PIOcc (mmHg) | 14,71 | 3,22 | 8,10 | 26,90 |
| PIOg (mmHg) | 16,74 | 3,40 | 8,80 | 27,90 |
| CRF (mmHg) | 12,63 | 1,91 | 7,00 | 16,30 |
| CH (mmHg) | 12,56 | 1,68 | 7,60 | 16,40 |
| Espesor corneal central (µm) | 543,85 | 35,65 | 430,00 | 620,00 |
| Espesor medio de CFNR (µm) | 100,39 | 11,31 | 82,00 | 131,00 |

| PARÁMETRO | MEDIA | DE | MÍNIMO | MÁXIMO |
|---|--------|-------|--------|--------|
| CFNR superior (µm) | 123,53 | 23,81 | 61,00 | 146,00 |
| CFNR nasal (µm) | 72,12 | 16,76 | 56,00 | 110,00 |
| CFNR inferior (µm) | 130,11 | 21,33 | 96,00 | 148,00 |
| CFNR temporal (µm) | 74,51 | 17,78 | 48,00 | 150,00 |
| Área del anillo (mm ²) | 1,67 | 0,34 | 1,13 | 3,28 |
| Área del disco (mm ²) | 2,08 | 0,46 | 1,34 | 3,60 |
| Media de la relación C/D | 0,38 | 0,17 | 0,06 | 0,66 |
| Relación vertical C/D | 0,38 | 0,17 | 0,05 | 0,62 |
| Volumen de la excavación (mm ³) | 0,02 | 0,14 | 0,00 | 0,29 |

Nota: datos recogidos de población entre 6-17 años (n = 99).

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3 se muestran los valores promedio, la desviación estándar y el rango máximo y mínimo de todos los parámetros evaluados en el total de sujetos (emétopes, miopes e hipermetropes).

TABLA 3. Valores promedio, desviación estándar y rango correspondientes al OD de todos los parámetros evaluados en el total de sujetos

| PARÁMETRO | MEDIA | DE | MÍNIMO | MÁXIMO |
|---|--------|-------|--------|--------|
| Edad (años) | 10,84 | 3,05 | 5,83 | 17,62 |
| Rx (D) | +0,14 | 3,41 | -8,75 | +8,25 |
| Longitud axial (mm) | 23,12 | 1,49 | 20,24 | 27,24 |
| PCA (mm) | 3,12 | 0,33 | 2,25 | 3,92 |
| Km (D) | 43,70 | 1,43 | 39,20 | 48,57 |
| PIOcc (mmHg) | 15,19 | 3,42 | 7,80 | 21,90 |
| PIOg (mmHg) | 16,75 | 3,49 | 8,80 | 20,80 |
| CRF (mmHg) | 12,30 | 1,89 | 7,00 | 18,40 |
| CH (mmHg) | 12,12 | 1,71 | 7,30 | 17,30 |
| Espesor corneal central (µm) | 542,68 | 37,20 | 430,00 | 670,00 |
| Espesor medio de CFNR (µm) | 99,46 | 11,21 | 82,00 | 131,00 |
| Espesor superior de CFNR (µm) | 123,63 | 22,76 | 90,00 | 180,00 |
| Espesor nasal de CFNR (µm) | 70,19 | 15,06 | 58,00 | 115,00 |
| Espesor inferior de CFNR (µm) | 125,74 | 23,00 | 98,00 | 158,00 |
| Espesor temporal de CFNR (µm) | 72,72 | 16,33 | 50,00 | 122,00 |
| Área del anillo (mm ²) | 1,67 | 0,35 | 1,07 | 3,56 |
| Área del disco (mm ²) | 2,02 | 0,41 | 1,66 | 3,67 |
| Media de la relación C/D | 0,34 | 0,18 | 0,06 | 0,70 |
| Relación vertical C/D | 0,34 | 0,19 | 0,05 | 0,58 |
| Volumen de la excavación (mm ³) | 0,08 | 0,13 | 0,001 | 0,24 |

Nota: datos recogidos de población entre 6-17 años (n = 293).

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 4 están reflejadas las medias \pm DE de todos los parámetros evaluados en el total de sujetos divididos según la ametropía: emétopes, miopes e hipermetropes. La columna de la derecha muestra el valor de p realizado mediante el análisis de varianza Anova (comparación entre emétopes, miopes e hipermetropes).

En la tabla 5 se muestran los valores promedio y su desviación estándar de todos los parámetros que se utilizaron para el análisis estadístico de los sujetos evaluados, divididos en función de la edad: de 6 a 10, de 11 a 13 y de 14 a 17 años. La columna de la derecha muestra el valor de p realizado mediante el análisis de varianza Anova (comparación entre los tres grupos de edad).

TABLA 4. Valores promedio y desviación estándar del OD de todos los parámetros evaluados en el análisis estadístico

| PARÁMETRO | EMÉTOPES (N = 99) | MIOPES (N = 100) | HIPERMÉTOPES (N=94) | VALOR DE P (ANOVA) |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| | MEDIA \pm DE | MEDIA \pm DE | MEDIA \pm DE | |
| Edad (años) | 11,28 \pm 2,97 | 12,15 \pm 2,76 | 9,08 \pm 2,57 | < 0,0001* |
| Rx (D) | 0,12 \pm 0,35 | -3,34 \pm 2,33 | 3,99 \pm 1,82 | < 0,0001* |
| Longitud axial (mm) | 23,12 \pm 0,79 | 24,52 \pm 1,09 | 21,64 \pm 0,89 | < 0,0001* |
| PCA (mm) | 3,13 \pm 0,24 | 3,36 \pm 0,22 | 2,86 \pm 0,31 | < 0,0001* |
| Km (D) | 43,63 \pm 1,57 | 44,03 \pm 1,17 | 43,41 \pm 1,47 | 0,009* |
| PIOcc (mmHg) | 14,71 \pm 3,22 | 15,75 \pm 3,52 | 15,11 \pm 3,47 | 0,10 |
| PIOg (mmHg) | 16,74 \pm 3,40 | 16,79 \pm 3,67 | 16,73 \pm 3,43 | 0,92 |
| CRF (mmHg) | 12,63 \pm 1,91 | 11,93 \pm 1,85 | 12,32 \pm 1,89 | 0,03* |
| CH (mmHg) | 12,56 \pm 1,68 | 11,55 \pm 1,45 | 12,25 \pm 1,84 | < 0,0001* |
| Espesor corneal central (μ m) | 543,84 \pm 35,65 | 543,02 \pm 45,37 | 541,11 \pm 28,45 | 0,87 |
| Espesor medio CFNR (μ m) | 100,39 \pm 11,31 | 95,20 \pm 10,04 | 103,02 \pm 10,91 | < 0,0001* |
| Área del anillo (mm ²) | 1,66 \pm 0,34 | 1,58 \pm 0,28 | 1,77 \pm 0,39 | 0,001* |
| Área del disco (mm ²) | 2,08 \pm 0,46 | 1,85 \pm 0,34 | 2,13 \pm 0,39 | < 0,0001* |
| Media de la relación C/D | 0,38 \pm 0,17 | 0,32 \pm 0,19 | 0,30 \pm 0,18 | 0,005* |

*Significancia estadística (Anova).

Fuente: elaboración propia.

TABLA 5. Valores promedio y desviación estándar del OD de todos los parámetros evaluados en el análisis estadístico

| PARÁMETRO | 6-10 AÑOS (N = 122) | 11-13 AÑOS (N = 101) | 14-17 AÑOS (N = 70) | VALOR DE P (ANOVA) |
|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | MEDIA \pm DE | MEDIA \pm DE | MEDIA \pm DE | |
| Edad (años) | 7,99 \pm 1,31 | 11,37 \pm 0,87 | 15,13 \pm 1,39 | < 0,0001* |
| Rx (D) | 1,78 \pm 3,34 | -0,74 \pm 2,92 | -1,46 \pm 2,96 | < 0,0001* |
| Longitud axial (mm) | 22,29 \pm 1,27 | 23,60 \pm 1,35 | 23,90 \pm 1,34 | < 0,0001* |
| PCA (mm) | 2,97 \pm 0,32 | 3,21 \pm 0,30 | 3,26 \pm 0,25 | < 0,0001* |
| Km (D) | 43,56 \pm 1,29 | 43,76 \pm 1,64 | 43,87 \pm 1,29 | 0,31 |
| PIOcc (mmHg) | 15,23 \pm 3,39 | 15,76 \pm 3,72 | 14,30 \pm 2,82 | 0,02* |
| PIOg (mmHg) | 16,95 \pm 3,63 | 17,48 \pm 3,55 | 15,33 \pm 2,67 | < 0,0001* |
| CRF (mmHg) | 12,48 \pm 1,92 | 12,60 \pm 1,89 | 11,54 \pm 1,69 | 0,001* |

Continúa

| PARÁMETRO | 6-10 AÑOS (N = 122) | 11-13 AÑOS (N = 101) | 14-17 AÑOS (N = 70) | VALOR DE P (ANOVA) |
|------------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | MEDIA ± DE | MEDIA ± DE | MEDIA ± DE | |
| CH (mmHg) | 12,32 ± 1,65 | 12,14 ± 1,82 | 11,74 ± 1,60 | 0,07 |
| Espesor corneal central (µm) | 547,39 ± 36,51 | 547,78 ± 39,62 | 527,20 ± 30,46 | < 0,0001* |
| Espesor medio CFNR (µm) | 101,54 ± 10,69 | 97,56 ± 11,04 | 98,58 ± 11,88 | 0,02* |
| Área del anillo (mm ²) | 1,69 ± 0,35 | 1,68 ± 0,36 | 1,62 ± 0,33 | 0,33 |
| Área del disco (mm ²) | 2,06 ± 0,41 | 1,99 ± 0,44 | 2,00 ± 0,36 | 0,45 |
| Media de la relación C/D | 0,33 ± 0,19 | 0,33 ± 0,17 | 0,37 ± 0,18 | 0,30 |

*Significancia estadística (Anova). Se encontró una correlación estadísticamente significativa entre la LA y la CH ($r = -0,23$; $p < 0,0001$) (figura 1), por lo que hallaremos valores menores de CH en ojos más largos.

Fuente: elaboración propia.

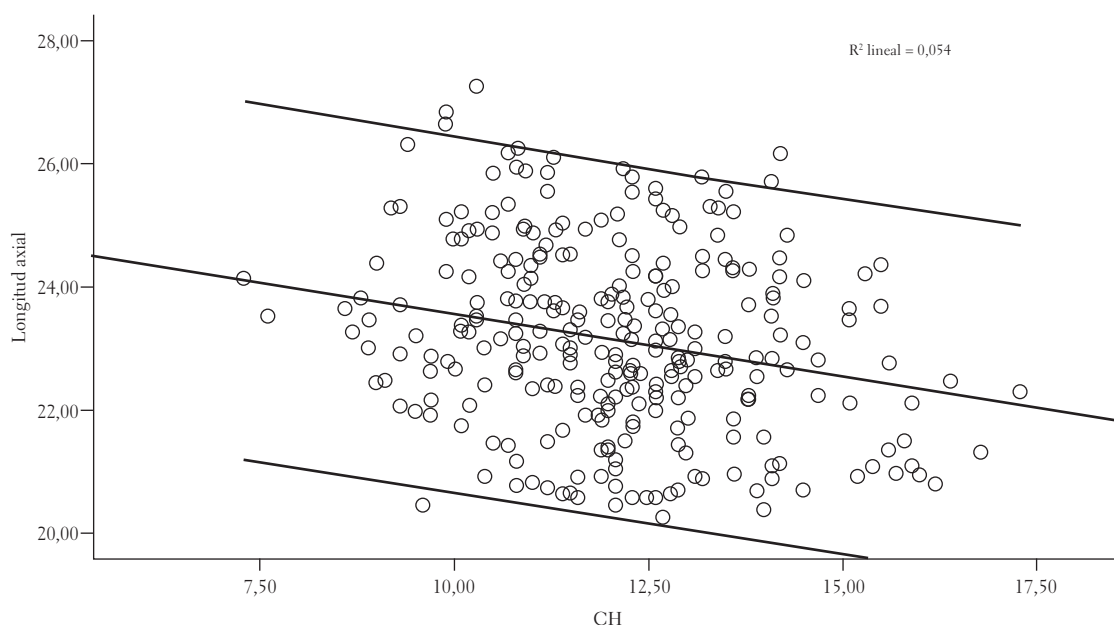


FIGURA 1. Correlación entre CH (mmHg) y LA (mm)

Fuente: elaboración propia.

También se encontró disminución de la CH con el incremento de la miopía y aumento de esta con el incremento de la hipermetropía ($p < 0,001$). En el segmento posterior, encontramos correlación positiva entre el espesor medio de la CFNR y la CH ($r = 0,14$, $p = 0,01$) (figura 2).

Asimismo, se apreció disminución del espesor medio de la CFNR con el incremento de la LA ($r = -0,37$; $p < 0,0001$) y de la miopía ($r = -0,37$; $p < 0,0001$).

DISCUSIÓN

En el presente trabajo se han mostrado unos valores de normalidad tanto de las propiedades biomecánicas corneales dadas por el ORA como de los parámetros del nervio óptico y CFNR en un grupo de niños sanos de 6 a 17 años. También se han revelado los valores de normalidad correspondientes a cada grupo de niños, en función de la ametropía y en función de la edad, ya que no existe una base de datos normalizada para los parámetros evaluados en menores de 18 años.

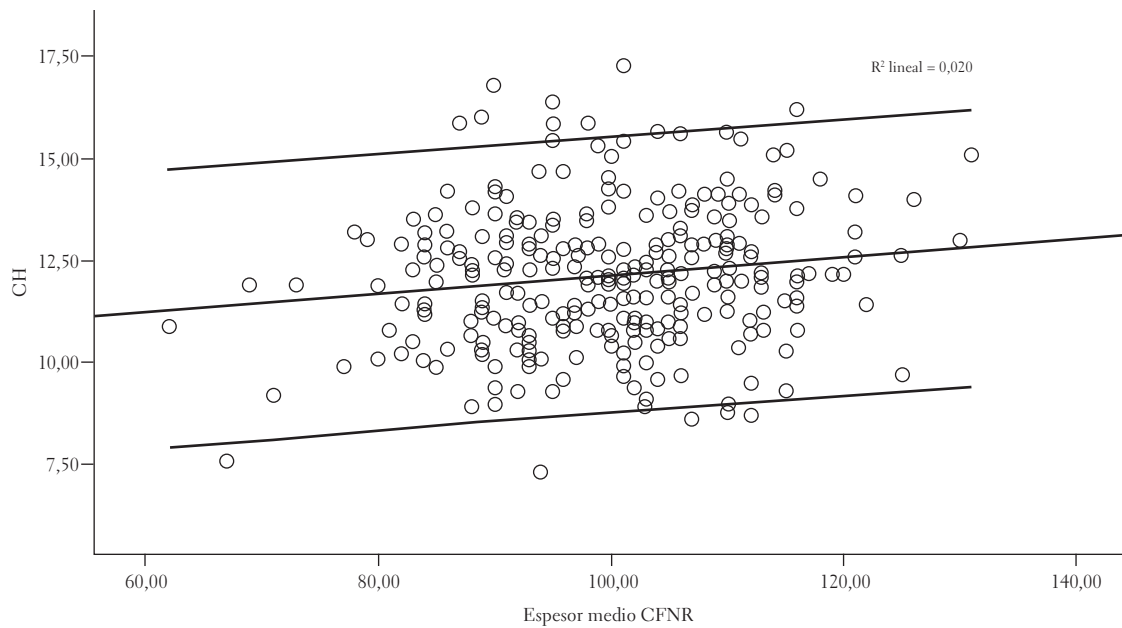


FIGURA 2. Correlación entre CFNR (μm) y CH (mmHg)

Fuente: elaboración propia.

Además se ha comprobado la relación entre la biomecánica corneal y los errores refractivos, con lo cual se ha encontrado una reducción de CH y CRF con el incremento de la longitud axial. Estos resultados son coincidentes con los de Song *et al.* (2008), investigadores que evaluaron la biomecánica corneal en 2024 ojos de 1153 niños chinos, con una media de edad de $14,7 \pm 0,8$ años. Estos autores encontraron una reducción significativa de la CH con el incremento de la LA. Por lo tanto, mientras que en los miopes disminuye la CH con el incremento del error refractivo, en hipermétropes ocurre lo contrario, pues según los resultados obtenidos, se encontraron valores más altos de la CH con el aumento de la miopía.

Según trabajos publicados, existe una relación entre la LA y la biomecánica corneal; por el contrario, esta relación no se cumple con el error refractivo (Carbonaro *et al.*, 2008; Song *et al.*, 2008), quizá porque el error refractivo no siempre está relacionado con la longitud axial. En el presente trabajo, en el total de sujetos evaluados, sí se encontró relación significativa entre la LA y la CH, y también entre la CH y el error refractivo.

En función de los resultados publicados, la longitud axial (también relacionada con patologías oculares, como el desprendimiento de retina y el glaucoma) podría desempeñar un papel más importante en la predicción de la biomecánica corneal que en el error refractivo. Estas afirmaciones también sugieren que valores bajos de CH estarían relacionados con una cubierta corneoescleral que tiene mayor predisposición al crecimiento axial (Song *et al.*, 2008). Por consiguiente, no está claro si una reducción de la CH se produce antes, o bien, es una consecuencia del crecimiento axial. Para intentar resolver esto, se necesitarían estudios longitudinales que controlen el crecimiento de la miopía y la biomecánica corneal.

Según los resultados obtenidos en este trabajo, encontramos reducción del espesor medio de la CFNR con valores más bajos de CH. En función de los demás parámetros del polo posterior evaluados, los valores más bajos de CH se relacionaron con valores más altos de la media de la relación C/D. Chang *et al.* (2013) refieren que estas relaciones entre la biomecánica corneal y los parámetros del nervio óptico y el espesor de la CFNR pueden

estar unidas al riesgo de padecer glaucoma en sujetos miopes.

Con estas afirmaciones, y en función de los resultados obtenidos, consideramos que en esta edad, cuando los cambios producidos son muy importantes, sería clave la evaluación de la biomecánica corneal en niños miopes. Lim *et al.* (2008a, 2008b) no encontraron correlaciones similares en niños con discos ópticos oblicuos o normales. Tampoco se encontró correlación entre el CRF y los parámetros evaluados del segmento posterior.

En función de los resultados obtenidos en cuanto a la relación de las propiedades biomecánicas corneales y los parámetros del nervio óptico y la capa de fibras nerviosas de la retina, es posible pensar que la biomecánica corneal puede reflejar cambios en el desarrollo del segmento posterior. Esta especulación apoyaría la hipótesis de que un valor bajo de CH podría indicar no solo una reducción en la capacidad de amortiguación viscoelástica de la córnea, sino también un nervio óptico más deformable (Prata *et al.*, 2012) y una capa de fibras nerviosas de la retina más delgada, como hemos visto en el presente estudio, sobre todo en niños miopes. Por lo tanto, pensamos que las propiedades biomecánicas corneales podrían estar alteradas en miopes, y que valores bajos de estas podrían indicarnos la existencia de un globo ocular más vulnerable.

CONCLUSIONES

Con el crecimiento del ojo, en los niños se producen cambios significativos en la longitud axial y en el estado refractivo. En la atención sanitaria visual optométrica, el examen y cuidado visual en niños y adolescentes requiere disponer de datos normativos, en relación con dichos cambios anatómicos y fisiológicos que suceden con el desarrollo, en función de orientar el manejo y la práctica clínicos. A modo de resumen puede indicarse:

- 1) La resistencia mecánica del segmento anterior del ojo está comprometida en miopes ya desde edades tempranas, y aún más en miopías elevadas, independientemente de la edad.
- 2) La medida de los valores de las propiedades biomecánicas corneales (CH y CRF) nos puede dar información de la resistencia a la deformación de todo el globo ocular, entendida esta como riesgo de desarrollo de ametropías (miopía).
- 3) Las propiedades biomecánicas corneales se relacionan con el desarrollo del segmento posterior. Valores más bajos de histéresis corneal no solo son indicativos de una reducción en la capacidad de amortiguación viscoelástica de la córnea, sino que también señalan la existencia de un nervio óptico más fácilmente deformable, acompañado de un adelgazamiento de la capa de fibras nerviosas de la retina, sobre todo en niños miopes.

REISVO promueve la investigación en salud visual y ocular con la obtención de datos confiables. En este estudio se muestra la normalidad de los parámetros oculares en una población sana infantil española. Al conocer los datos que se salen de la normalidad, es posible desarrollar estrategias de control y prevención de problemas en salud visual y ocular.

REFERENCIAS

- Asamblea Médica Mundial (1964). Declaración de Helsinki de la AMM. Principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Recuperado de <http://www.wma.net/es/30publications/10policies/b3/>
- Cantor, L. *et al.* (2001). Open-angle glaucoma. En *Basic and clinical Science course. Glaucoma* (pp. 10-72). San Francisco: The Foundation of the American Academy of Ophthalmology.
- Carbonaro, F., Andrew, T., Mackey, D. A., Spector, T. D. y Hammond, C. J. (2008). The heritability of corneal hysteresis and ocular pulse amplitude: a twin study. *Ophthalmology*, 115, 1545-1549.

- Carkeet, A., Saw, S.-M., Gazzard, G., Tang, W. y Tan, D. T. (2004). Repeatability of IOL Master Biometry in Children. *Optom. Vis. Sci.*, 81, 829-834.
- Chang, P. y Chang, S. W. (2013). Corneal biomechanics, optic disc morphology and macular ganglion cell complex in myopia. *J. Glaucoma*, 22(5), 358-362. Doi: 10.1097/IJG.0b013e3182447a17
- Chang, S. W., Tsai, I. L., Hu, F. R., Lin, L. L. y Shih, Y. F. (2001). The cornea in young myopic adults. *Br. J. Ophthalmol.*, 85, 961-970.
- Cho, P. y Lam, C. (1999). Factors affecting the central corneal thickness of Hong Kong Chinese. *Curr. Eye Re.*, 18, 368-374.
- Doughty, M. J. y Zaman, M. L. (2000). Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and metaanalysis approach. *Surv. Ophthalmol.*, 44, 367-408.
- Drexler, W., Findl, O., Menapace, R., Rainer, G., Vass, C., Hitzenberger, C. K. y Fercher, A. F. (1998). Partial coherence interferometry: a novel approach to biometry in cataract surgery. *Am. J. Ophthalmol.*, 126, 524-534.
- Ehlers, N., Bramsen, T. y Sperling, S. (1975). Applanation tonometry and central corneal thickness. *Acta Ophthalmol.*, 53, 34-43.
- Fam, H. B., How, A. C., Baskaran, M., Lim, K. Y., Chan, Y. H. y Aung, T. (2006). Central corneal thickness and its relationship to myopia in Chinese adults. *Br. J. Ophthalmol.*, 90, 1451-1453.
- Garner, L. F., Stewart, A. W., Owens, H., Kinnear, R. F. y Frith, M. J. (2006). The Nepal Longitudinal Study: biometric characteristics of developing eyes. *Optom. Vis. Sci.*, 83, 274-280.
- Goss, D. A. y Jackson, T. W. (1992). Ocular dioptric components prior to youth onset of myopia. *Optom. Vis. Sci.*, 69, 110.
- Grosvenor, T. (1988). High axial length/corneal radius ratio as a risk factor in the development of myopia. *Optom. Vis. Sci.*, 65, 689-696.
- Grosvenor, T. P. (2004). *Optometría de atención primaria* (4.ª ed.). Boston: Butterworth-Heinemann.
- Hitzenberger, C. K. (1991). Optical measurement of the axial eye length by laser Doppler interferometry. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 32, 616-624.
- Jaffe, G. J. y Caprioli, J. (2004). Optical coherent tomography to detect and manage retinal disease and glaucoma. *Am. J. Ophthalmol.*, 137, 156-169.
- Kirwan, C., O'Keefe, M. y Lanigan, B. (2006). Corneal hysteresis and intraocular pressure measurement in children using the Reichert Ocular Response Analyzer. *Am. J. Ophthalmol.*, 142, 990-992.
- Kotecha, A. (2007). What biomechanical properties of the cornea are relevant for the clinician? *Surv. Ophthalmol.*, 52, S109-S114.
- Lim, L., Gazzard, G., Chan, Y.-H., Fong, A., Kotecha, A., Sim, E.-L., Tan, D., Tong, L. y Saw, S.-M. (2008a). Cornea biomechanical characteristics and their correlates with refractive error in singaporean children. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 49, 3852-3857.
- Lim, L., Gazzard, G., Chan, Y. H., Fong, A., Kotecha, A., Sim, E. L., Tan, D., Tong, L. y Saw, S. M. (2008b). Corneal biomechanics, thickness and optic disc morphology in children with optic disc tilt. *Br. J. Ophthalmol.*, 92, 1461-1466.
- Luce, D. A. (2005). Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. *J. Cataract. Refract. Surg.*, 31, 156-162.
- Menezo, J. L. y España, E. (2006). *Técnicas exploratorias en oftalmología*. Barcelona: Espaxs.
- Mohamed, S., Lee, G. K., Rao, S. K., Wong, A. L., Cheng, A. C., Li, E. Y., Chi, S. C. y Lam, D. S. (2007). Repeatability and reproducibility of pachymetric mapping with visante anterior segment-optical coherence tomography. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 48, 5499-5504.
- Mutti, D. O., Frane, S., Lin, W. K., Sholtz, R. I. y Zadnik, K. (1998). Cross-sectional changes in crystalline lens curvature and power in infants. *Optom. Vis. Sci.*, 75, 70.
- Ortiz, D., Piñero, D., Shabayek, M. H., Arnalich-Montiel, F. y Alio, J. L. (2007). Corneal biomechanical properties in normal, post-laser in situ keratomileusis, and keratoconic eyes. *J. Cataract. Refract. Surg.*, 33, 1371-1375.
- Patella, V. M. (2003). *Establishment of normative reference values for retinal nerve fiber layer thickness measurements*. Dublín: Carl Zeiss Meditec.
- Prata, T. S., Lima, V. C., Guedes, L. M., Biteli, L. G., Teixeira, S. H., Moraes, C. G. de, Ritch, R. y Paranhos, A. Jr. (2012). Association between corneal biomechanical properties and optic nerve head morphology in newly diagnosed glaucoma patients. *Clinical and Experimental Ophthalmology*, 40, 682-688.
- Shen, M., Fan, F., Xue, A., Wang, J., Zhou, X. y Lu, F. (2008). Biomechanical properties of the cornea in high myopia. *Vision Research*, 48, 2167-2171.
- Sheng, H., Bottjer, C. A. y Bullimore, M. A. (2004). Ocular component measurement using the Zeiss IOL Master. *Optom. Vis. Sci.*, 81, 27-34.
- Song, Y., Congdon, N., Li, L., Zhou, Z., Choi, K., Lam, D. S., Pang, C. P., Xie, Z., Liu, X., Sharma, A., Chen, W. y Zhang, M. (2008). Corneal hysteresis and axial length among Chinese secondary school children: the Xichang Pediatric Refractive Error Study (X-PRES), report No. 4. *Am. J. Ophthalmol.*, 145, 819-826.
- Stodmeiser, R. (1998). Applanation tonometry and correction according to corneal thickness. *Acta Ophthalmol. Scand.*, 76, 319-24.

- Suzuki, S., Suzuki, Y., Iwase, A. y Araie, M. (2005). Corneal thickness in an ophthalmologically normal Japanese population. *Ophthalmology*, 112, 1327-1336.
- Tong, L., Saw, S. M., Siak, J. K., Gazzard, G. y Tan, D. (2004). Corneal thickness determination and correlates in Singaporean schoolchildren. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 45, 4004-4009.
- Viqueira, V., Martínez Verdú, F. M. y Fez, M. D. de (2003). *Óptica fisiológica: modelo paraxial y compensación óptica del ojo*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Visante OCT (2007). *User manual: model 1000*: Carl Zeiss Meditec.
- Wang, J., Thomas, J., Cox, I. y Rollins, A. (2004). Non-contact measurements of central corneal epithelial and flap thickness after laser in situ keratomileusis. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, 45, 1812-1816.
- Yebra-Pimantel, E., González-Méijome, J. M., García-Resúa, C. y Giráldez-Fernández, M. J. (2008). Relación entre los componentes ópticos oculares e implicaciones en el proceso de emetropización. *Arch. Soc. Esp. Oftalmol.*, 83, 307-316.
- Yebra-Pimentel, E., Giráldez, M. J., Glez.-Méijome, J. M., Cerviño, A., García-Resúa, C. y Parafita, M. A. (2004). Variación de la ratio longitud axial/radio corneal (LA/RC) con el estado refractivo ocular. Relación con los componentes oculares. *Arch. Soc. Esp. Oftalmol.*, 79, 317-324.
- Zadnik, K., Mutti, D. O., Mitchell, G. L., Jones, L. A., Burr, D. y Moeschberger, M. L. (2004). Normal eye growth in emmetropic schoolchildren. *Optom. Vis. Sci.*, 81, 819-828.
- Zhang, H., Xu, L., Chen, C. y Jonas, J. B. (2008). Central corneal thickness in adult Chinese: association with ocular and general parameters. The Beijing Eye Study. *Graefes. Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.*, 246, 587-92.
- Zhao, P. S., Wong, T. Y., Wong, W.-L., Saw, S.-M. y Aung, T. (2007). Comparison of central corneal thickness measurements by visante anterior segment optical coherence tomography with ultrasound pachymetry. *Am. J. Ophthalmol.*, 143, 1047-1049.

Recibido: 14 de septiembre del 2014

Aprobado: 11 de noviembre del 2014

CORRESPONDENCIA

Andrés Gené Sampedro

Andres.Gene@uv.es